

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН**

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ,  
ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ**  
*(памяти выдающегося ученого-лесоведа,  
академика РАН А.С. Исаева)*

**Доклады VII Всероссийской конференции  
(с международным участием)**

**(Москва, 22-24 апреля 2019 г.)**

**Москва 2019**

УДК 630.587+502.3:679.78+681.3.069

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ:** Доклады VII Всероссийской конференции (Москва, 22-24 апреля 2019 г.) – М.: ЦЭПЛ РАН, 2019 г. 178 с.

Редакционная коллегия:

*к.т.н. Д. В. Ершов (отв. редактор), к.б.н. С. П. Эйдлина, к.т.н. Н. В. Королева, к.г.н. С. В. Князева, Е. А. Гаврилюк (дизайн обложки)*

В сборнике представлено более восьмидесяти докладов, в которых рассмотрены вопросы оценки современного состояния научно-технических методов в области лесоведения и лесного хозяйства, применение новых оригинальных подходов и технологий комплексного анализа спутниковых данных и материалов наземного обследования. Большое внимание в докладах конференции уделено разработкам проектов на базе веб-приложений, информационно-аналитических систем, автоматизированных сервисов мониторинга изменений лесной растительности. Представлены результаты перспективных исследований по методам обработки и применению космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения, детальных аэроснимков с беспилотных летательных аппаратов.

Сборник предназначен для ученых, лесных экологов, геоботаников, географов, почвоведов, работников лесного хозяйства, и всех, кого интересуют проблемы изучения лесов с применением дистанционных методов и ГИС-технологий.

**Aerospace methods AND GIS–TECHNOLOGIES in forestry, FOREST Management AND ECOLOGY:** Proceedings of the VII All-Russian Conference, Moscow, Russia, April 22-24, 2019. – М. CEPF RAS, 2016 – 178 p.

Editorial Board:

*Dr. Dmitry V. Ershov (Managing Editor), Dr. Svetlana P. Eidlina, Dr. Natalia V. Koroleva, Dr. Svetlana V. Knyazeva, E.A. Gavriljuk*

Proceedings contain more than 80 reports presented to the Conference which deals with the assessment of the current state of scientific and technical methods in the field of forestry and forest management, the use of new original approaches and technologies for integrated analysis of satellite information and ground survey data. Serious attention in the reports of the conference is paid to the development of projects based on web applications, information and analytical systems, automated services for monitoring changes in forest vegetation. The results of advanced research on the methods of processing and application of space images of ultra-high spatial resolution, detailed aerial images from unmanned aircraft vehicles are presented.

ISBN 978\_5\_9905012\_6\_3

ISBN 978-5-9905012-6-3



9 785990 501263

## Предисловие

Стремительное развитие аэрокосмических средств зондирования поверхности Земли, а также доступность этих данных оказывает огромное воздействие на необходимость совершенствования методов изучения лесов и других наземных экосистем. Пользователям требуются не только исходные дистанционные данные, но и сезонные композитные изображения (весна, лето, осень) на большие территории, а также методы их тематической обработки. В исследованиях биоразнообразия лесов используются материалы съемок беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), наземные выборочные геоботанические и таксационные описания. Вопросы комплексной обработки разновременных и разносезонных спутниковых данных, аэрофотосъемки и наземной информации являются актуальной задачей для поиска информативных индикаторов для оценки экосистемных функций лесов, картографирования биотопов, выявления редких видов сообществ на разных пространственных уровнях.

Активно разрабатываются проекты на базе веб-приложений, геоинформационных платформ и информационно-аналитических систем, а также облачных сервисов хранения и обработки информации. Появляются автоматизированные сервисы мониторинга изменений в лесной растительности по космическим снимкам высокого и сверхвысокого разрешения. Примерами являются различные научные и коммерческие сервисы, реализуемые в России. С 2013 года в Институте космических исследований функционирует созвездие информационных сервисов анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов ВЕГА-PRO, созданных на базе ВЕГА-Science. На государственном и региональном уровнях разрабатываются новые геопорталы и информационные системы с данными о лесах. На региональном уровне начали создаваться ГИС, функционирующие на базе отечественных геоплатформ.

Поэтому очень важен обмен опытом и знаниями между специалистами в области применения данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий и учеными-лесоведами, экологами, биологами и работниками лесного хозяйства. Это позволит понять и определить современный вектор развития и перспективность использования спутниковых и наземных данных, методов их анализа не только для решения фундаментальных исследовательских, но и прикладных задач мониторинга, изучения состояния, динамики, оценки ресурсного потенциала и экосистемных функций лесов.

На основе резолюции VI конференции 2016 года было принято решение расширить круг обсуждаемых проблем в рамках тематики конференции. Основные направления VII конференции:

- современные и перспективные средства и методы дистанционного зондирования лесного покрова;
- методы комплексной обработки данных ДЗЗ различного пространственного, спектрального и временного разрешения для изучения лесов;
- дистанционные и геоинформационные методы для оценки ресурсного потенциала, нарушений (пожары, вырубки, усыхания и другие) и лесовосстановления, биологического разнообразия и экосистемных функций леса;
- web-технологии и геопорталы для изучения лесов;
- современные методы и технологии дистанционного обучения (обработка данных ДЗЗ и использование ГИС в интересах лесного хозяйства и экологии).

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОВ. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 614.841.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Н.В. БАРАНОВСКИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Лесные пожары наносят экологический, экономический и социальный ущерб. Утверждается, что прогнозирование лесной пожарной опасности является наиболее перспективным методом предупреждения лесных пожаров. Рассматривается методология прогностического моделирования лесной пожарной опасности на основе физически содержательных математических моделей и вероятностных критериев. Предлагается использовать технологии дистанционного зондирования и геоинформационных систем.

Прогностическое моделирование лесной пожарной опасности является новым научным направлением, в рамках которого интегрируются достижения теории, эксперимента, натуральных наблюдений и практики. Научное направление является междисциплинарным, в рамках которого объединяются детерминированные математические модели сушки, пиролиза и зажигания лесных горючих материалов, и вероятностные критерии оценки лесной пожарной опасности с учетом антропогенной нагрузки и грозовой активности, метеорологических и лесорастительных условий (Кузнецов и Барановский, 2009). Построение математических моделей происходит с помощью основных положений химической физики, механики реагирующих сред и общей теории тепломассопереноса. Верификация математических моделей проводится с помощью результатов экспериментов и натуральных наблюдений. В крупномасштабных задачах используются технологии дистанционного зондирования Земли из космоса и геопространственного анализа. Технологической базой информационно-вычислительных систем является компьютерная техника, в том числе параллельной архитектуры (Baranovskiy, 2017). Результаты данного научного направления имеют практическое значение, что подтверждается рядом Свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ (оформлены в Роспатенте) и актов об использовании и внедрении результатов сторонними исследователями и разработчиками. Настоящая область исследования получила становление в течение последних двадцати лет и оформилось в самостоятельное научное направление в последние пять лет. В рамках научного направления получены результаты, которые получали и получают поддержку различных программ и фондов, в том числе, Российского фонда фундаментальных исследований, ряда федеральных целевых программ и Посольства Франции в России. Результаты, полученные в рамках нового научного направления, также внедрены в учебный процесс (Барановский, 2013). Часть результатов получена в сотрудничестве с представите-

лями различных организаций Российской Федерации, Украины, Беларуси, Франции, Кыргызстана, Королевства Лесото.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Барановский Н.В.* Спутниковые технологии в прогнозе лесной пожарной опасности // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 9. С. 30 – 38.

*Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2009. 301 С.

*Baranovskiy N.V.* Forest fire danger assessment using SPMD-model of computation for massive parallel system // International Review on Modelling and Simulations. 2017. Vol. 10. P. 193 – 201.

### MODELING AND FORECAST OF FOREST FIRE DANGER

N.V. BARANOVSKIY

NATIONAL RESEARCH TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

Forest fires cause environmental, economic and social damage. It is argued that the prediction of forest fire danger is the most promising method for the prevention of forest fires. The methodology of prognostic modeling of forest fire danger is considered on the basis of physically based mathematical models and probabilistic criteria. It is proposed to use the technology of remote sensing and geographic information systems.

УДК 504.064:662

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ГИС В ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ

М.А. БОЛСУНОВСКИЙ

КОМПАНИЯ «СОВЗОНД»

В докладе приводится краткий обзор современных технологий аэрокосмического мониторинга и геоинформационных технологий в лесной отрасли. Представлена разработанная технология регулярного аэрокосмического лесного мониторинга, с интегрированием данных космической и авиационной съемки.

Рациональное использование лесных ресурсов, управление лесным хозяйством, требуют наличия полной и достоверной информации обо всех природных и техногенных процессах на территории региона. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что такую полноту информации могут обеспечить аэрокосмическая съемка и геоинформационные технологии в сочетании с традиционно используемыми источниками информации.

В лесном хозяйстве данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) активно используются при инвентаризации лесов с целью определения качественных и количественных характеристик лесных массивов, для оценки ущерба, нанесенного лесным массивам пожарами, болезнями леса, загрязнением воздуха, незаконными вырубками.

Документы по проведению лесоустройства в лесном фонде России предусматривают применение космических снимков при решении широкого круга задач, особенно при устройстве малоосвоенных лесов северных и восточных регионов России. За последние годы суще-

ственно возросли как технические возможности съемочной аппаратуры, так и возможности дешифрирования в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Использование данных ДЗЗ для инвентаризации лесов позволяет решать следующие важные задачи:

- определение площадей участков лесов;
- определение породного состава лесов;
- подразделение лесов по типам с дальнейшим уточнением породного состава, в том числе с применением текстурно-радиометрического дешифрирования;
- ранжирование лесов на категории по возрасту, запасу древесины, высоте древостоя, биологической продуктивности;
- определение высоты лесных массивов путем автоматизированной совместной обработки цифровых моделей местности, созданных по стереопарам космических снимков и объективным данным о рельефе местности, а также путем интерферометрической обработки радарных снимков;
- актуализация таксационной базы данных.

Увеличение количества спутников, ведущих регулярную космическую съемку с высоким и сверхвысоким пространственным разрешением, позволяет следить за изменениями состояния лесов с высокой степенью регулярности. Сочетание частоты съемки, разрешения и охвата больших территорий является принципиально новым этапом в ДЗЗ, и такая съемка может успешно применяться для широкого круга задач, в том числе и для организации лесоустройства с ежегодным внесением изменений в данные государственного учета лесов и для решения многих других задач.

В случае необходимости детальной съемки локальных участков лесов целесообразно использовать наряду с материалами космической съемки данные авиационной съемки и воздушного лазерного сканирования (с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов) для получения снимков с разрешением до 5 см.

Большую роль играют технологии обработки данных и их анализа. Причем на первый план выходит скорость обработки и анализа данных. Необходим максимальный уровень автоматизации всех видов обработки и анализа данных, включая создание ортомозаик, выявление изменений, создания и обновления карт. Сейчас максимальный уровень автоматизации из всех видов обработки достигнут для выполнения ортотрансформирования данных, создания ортофотопланов. Для выявления изменений автоматизированы часть процессов и применяются мультимасштабные подходы для анализа данных.

В компании «Совзонд» разработана технология регулярного аэрокосмического лесного мониторинга, с интегрированием данных космической и авиационной съемки. Применение

методов ДДЗ позволяет радикально уменьшить стоимость лесочетных работ, обеспечивая комплексное обследование обширных территорий, зачастую недоступных по тем или иным причинам для традиционных методов.

## **MODERN TECHNOLOGIES OF AEROSPACE MONITORING AND GIS IN THE FORESTRY SECTOR**

M.A. BOLSUNOVSKY

SOVZOND COMPANY

The report provides a brief overview of modern aerospace monitoring and geo-information technologies in the forest industry. The developed technology of regular aerospace forest monitoring, with the integration of space and aerial survey data, is presented.

УДК 630\*181:581.524 (528:88)

## **СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ. ПАМЯТИ АКАДЕМИКА А.С. ИСАЕВА ПОСВЯЩАЕТСЯ**

Д.В. ЕРШОВ<sup>1</sup>, Н.В. ЛУКИНА<sup>1</sup>, С.А. БАРТАЛЕВ<sup>2</sup>, Е.А. ЛУПЯН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

<sup>2</sup>ФГБУН ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

В докладе представлен обзор научных направлений и результатов исследований дистанционного мониторинга биоразнообразия, состояния и динамики лесных экосистем, которые поддерживал и возглавлял академик РАН Александр Сергеевич Исаев в период своей работы в ЦЭПЛ РАН.

Академик А.С. Исаев известен научному сообществу, как выдающейся лесовод и энтомолог. Но вместе с тем он был всегда активным сторонником дистанционного мониторинга лесных экосистем. Со дня создания ЦЭПЛ РАН Александр Сергеевич определил, что одним из ключевых направлений Центра должны быть исследования для разработки современных методов картографирования лесных и других наземных экосистем, выявления нарушений в лесах от пожаров и насекомых вредителей, а также мониторинга лесопользования и лесовосстановления с помощью данных спутниковых систем различного пространственного разрешения.

В 90-е годы XX столетия были сделаны первые шаги по разработке геоинформационной системы и методов спутникового мониторинга лесных пожаров России. В рамках российских и зарубежных научно-исследовательских проектов были исследованы возможности различных спутниковых систем для мониторинга лесов (Барталев и др., 1995); разработаны и апробированы методы оценки масштабов нарушений лесов с помощью изображений высокого пространственного разрешения SPOT-2 в результате массового размножения сибирского

шелкопряда в лесах Красноярского края (Исаев и др., 1997). В тот же период продемонстрирована возможность детальной оценки размеров эмиссии углерода в результате лесных пожаров, базирующихся на комбинации допожарных лесотаксационных данных о запасах лесных горючих материалов и оценок повреждений лесов пожарами с помощью разновременных спутниковых изображений и материалов аэрофотосъемки (Isaev et al., 2002).

Академик А.С. Исаев активно работал над вопросами картографирования лесных и других наземных экосистем Северной Евразии современными спутниковыми данными. Ключевым моментом в истории развития дистанционного направления ЦЭПЛ РАН являлся проект GLC-2000, заложивший научную основу в современные технологии глобального и континентального динамического картографирования лесных экосистем (Bartalev et al., 2003; Барталев и др., 2011). Созданная карта до сих пор активно используется многими исследователями, а количество ссылок на публикацию превысил полторы сотни. Сейчас разработанные методы и подходы воссозданы учеными ИКИ РАН и ЦЭПЛ РАН в виде технологий, обеспечивающих ежегодное (периодичное) картографирование растительного покрова как всей территории России (Барталев и др., 2012), так и отдельных крупных регионов (Ершов и др., 2015). Результаты обработки спутниковых данных интегрированы в действующую систему дистанционного мониторинга лесных пожаров России (Лупян и др., 2015), а также реализованы в научно-исследовательских проектах и программах Центра (Исаев и др., 2012; Ершов, Лукина, 2013).

Таким образом, академик Александр Сергеевич Исаев на долгие годы вперед определил основной вектор развития научной школы ЦЭПЛ РАН в области разработки современных методов дистанционного картографирования и мониторинга лесных и других наземных экосистем, оценки их биологического разнообразия на разных пространственных уровнях.

## ЛИТЕРАТУРА

*Барталев С.А., Жирин В.М., Ершов Д.В.* Сравнительный анализ данных спутниковых систем "Космос-1939", SPOT, Landsat TM при изучении бореальных лесов. - Исследование Земли из космоса, №1, 1995, с. 101-114.

*Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С.* Оценка дефолиации лесов по многоспектральным спутниковым изображениям методом декомпозиции спектральных смесей // Исследование Земли из космоса. 1999. № 4. С. 76-86.

*Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А.* Развитие методологии спутникового картографирования лесных экосистем Северной Евразии // «Разнообразие и динамика лесных экосистем России» М. 2012. Книга №1. Из-во КМК. С. 261-286.

*Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А.* Основные задачи и перспективы создания системы глобального спутникового мониторинга лесов // Лесоведение. 2011. № 6. С. 3-15.

*Ершов Д.В., Лукина Н.В.* Основные принципы построения информационной системы дистанционного мониторинга биологического разнообразия лесов России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 46-60.

*Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Карпухина Д.А., Ковганко К.А.* // Новая карта растительности центральной части Европейской России по спутниковым данным высокой детальности. Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 5. С. 639.



Исаев А.С., Барталев С.А., Черкашин В.П., Еришов Д.В. Оценка повреждений темнохвойных лесов Красноярского края с использованием данных спутника SPOT и геоинформационной системы. - Материалы тезисов докладов международной конференции IGBP Siberian Transect Workshop, Институт им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, 1997

Исаев А.С., Лямцев Н.И., Еришов Д.В. Контроль численности лесных насекомых в системе лесознтомологического мониторинга // «Разнообразии и динамика лесных экосистем России» М. 2012. Книга №1. Из-во КМК. С. 383-421

Лулян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Буцнев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П. и др. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 222-250.

Bartalev S.A., Belward A.S., Ershov D.V., Isaev A.S. A New Spot4-Vegetation Derived Land Cover Map of Northern Eurasia. // International Journal of Remote Sensing. 2003. Т. 24. № 9. С. 1977-1982.

Isaev A.S., Korovin G.N., Ershov D.V., Bartalev S.A., Janetos A., Kasischke E.S., Shugart H.H., French N.H.F., Orlick B.E., Murphy T.L. Using Remote Sensing to Assess Russian Forest Fire Carbon Emission // Climatic Change. 2002. Т. 55. № 1-2. С. 235-249.

## **SATELLITE MONITORING OF BIODIVERSITY AND DYNAMICS OF FOREST ECOSYSTEMS OF NORTH EURASIA. IN MEMORY OF ACADEMICIAN ALEXANDER S. ISAEV**

D.V. ERSHOV<sup>1</sup>, N.V. LUKINA<sup>1</sup>, S.A. BARTALEV<sup>2</sup>, E.A. LUPIAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CENTER OF FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY, RAS

<sup>2</sup> SPACE RESEARCH INSTITUTE, RAS

We present an overview of the research directions and results of remote biodiversity monitoring studies, the condition and dynamics of forest ecosystems, which were supported and headed by Academician of the Russian Academy of Sciences Alexander S. Isaev during his work at the Center Ecology and Forest Productivity, RAS.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИЙСКИХ ДАННЫХ ДЗЗ И СОВРЕМЕННЫХ WEB ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ**

С.В. ИВАНОВ<sup>1</sup>, О.В. КУШНЫРЬ<sup>1</sup>, А.С. РЫБКИН<sup>1</sup>, В.Б. СЕРЕБРЯКОВ<sup>1</sup>,  
В.М. СИДОРЕНКОВ<sup>3</sup>, К.В. ВАХРУШЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ», МОСКВА, РОССИЯ,  
[NTSOMZ@NTSOMZ.RU](mailto:NTSOMZ@NTSOMZ.RU)

<sup>2</sup>АССОЦИАЦИЯ «СОЮЗ ЛЕСОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ»;  
РЕСПУБЛИКА УДМУРТИЯ, РОССИЯ, [SOYUZLES-UR@YANDEX.RU](mailto:SOYUZLES-UR@YANDEX.RU)

<sup>3</sup>ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХО-  
ЗЯЙСТВА (ВНИИЛМ), Г. ПУШКИНО, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, [LESVN@YANDEX.RU](mailto:LESVN@YANDEX.RU)

В докладе представлены возможности использования российской орбитальной группировки КА ДЗЗ в интересах лесного хозяйства. На основе дешифрирования спутниковых данных с российских космических аппаратов ДЗЗ разработаны методы оценки транспортной доступности лесных ресурсов, лесотаксационных показателей, актуализации лесостроительной информации. Представлены сервисы по формированию отчетов по использованию лесов и геоинтеграционная платформа «Геотрон», которая может составить основу реализации региональных систем управления лесным хозяйством.

Информационные ресурсы современной российской орбитальной группировки КА ДЗЗ, позволяют решать широкий круг социально-экономических задач, в том числе задачи лесного хозяйства.

Наибольший интерес для анализа и контроля лесохозяйственных мероприятий представляют данные высокого пространственного разрешения. В настоящее время их получение возможно с использованием КА «Канопус-В» (ПСС, МСС) и «Ресурс-П» (Геотон). Такие материалы съемки могут поставляться с частотой, определяемой условиями баллистического прогноза полета КА и метеоусловиями (облачность, осадки), до одного раза в 3-5 дней.

Для решения задач мониторинга чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера могут использоваться данные среднего и низкого разрешения с КА «Метеор-М» являющиеся информацией открытого доступа и высокой периодичности.

КА «Метеор-М» (КМСС) и «Ресурс-П» (ШМСА) позволяют получать данные среднего разрешения, используемые преимущественно для решения задач регионального мониторинга. Эти данные применяют для оперативной оценки ситуации на региональном уровне и имеют значение для решения задач природно-ресурсного характера.

В настоящее время ведомственные информационные системы, учитывающих ведение лесного реестра, оборота древесины не имеют географической основы, что практически исключает возможность пространственного анализа данных.

Учитывая современные требования и развитие информационных технологий в области пространственного представления и анализа информации, дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли открывает широкий спектр возможностей по их применению в организации планирования и ведения лесохозяйственной деятельности на территорию субъекта. Основной спектр решаемых задач с использованием геоинформационного анализа связан с организацией систем лесного хозяйства путем оценки транспортной доступности лесов, их продуктивности, качества и потенциала используемого ресурса в зависимости от целевого назначения лесов.

В связи с этим в докладе представлена интеграционная система, сочетающая возможности отображения пространственных данных, в том числе актуальной спутниковой съемки, данных о лесохозяйственной деятельности и их геоинформационный анализ. В совокупности это решение позволит реализовать систему, которая будет отображать актуальную информацию о состоянии лесов. Совокупность решаемых задач обеспечивает оперативное принятие решений при осуществлении лесохозяйственной деятельности.

Система позволит обеспечить доступ к тематической информации без необходимости использования специальных программных продуктов, из любой точки подключения к сети Интернет, и позволит работать с данными в удобной технологической среде, интегрирован-

ной с различными ресурсами геопространственной информации, в том числе региональными и ведомственными.

Использование системы позволит органам исполнительной власти сформировать геоинформационный ресурс и получить аналитический инструмент для оценки ситуации и принятия решений по оптимизации ведения лесного хозяйства.

## **INCREASING THE EFFECTIVENESS OF FOREST MANAGEMENT WITH USE OF RUSSIAN REMOTE SENSING DATA AND MODERN WEB APPLICATIONS.**

S.V. IVANOV<sup>1</sup>, O.V. KUSHNYR<sup>1</sup>, A.S. RYBKIN<sup>1</sup>, V.B. SEREBRYAKOV<sup>1</sup>, V. M. SIDORENKOV<sup>3</sup>,  
K.V. VAKHRUSHEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NTS OMZ, RUSSIAN SPACE SYSTEMS JSC, MOSCOW, RUSSIA, [KUSHNYR@NTSOMZ.RU](mailto:KUSHNYR@NTSOMZ.RU)

<sup>2</sup> ASSOCIATION «FOREST OWNERS OF UDMURT REPUBLIC», UDMURT REPUBLIC, RUSSIA,  
[SOYUZLES-UR@YANDEX.RU](mailto:SOYUZLES-UR@YANDEX.RU)

<sup>3</sup> FEDERAL STATE-FUNDED INSTITUTION «ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF SILVICULTURE AND MECHANIZATION OF FORESTRY (AARISMF)», PUSHKINO, MOSCOW OBLAST<sup>2</sup>, RUSSIA,  
[LESVN@YANDEX.RU](mailto:LESVN@YANDEX.RU)

The paper describes possible use cases of Russian remote sensing satellite data in forest management. Interpreted space imagery is used as a base information source when applying newly developed methods to determine such characteristics as infrastructure availability, taxation parameters and updating forest surveying information. The paper also presents applications for automated reporting on forest management according to Russian national standards. Combining the applications with geographic integration platform “Geotron” allows creating a base for regional forestry management system.

УДК 630\*161:614.842

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ, КАК СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ**

Р.В. КОТЕЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, Е.А. ЛУПЯН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЛИАЛ ФБУ ВНИИЛМ «ЦЕНТР ЛЕСНОЙ ПИРОЛОГИИ» (Г. КРАСНОЯРСК)

<sup>2</sup>ФГБУН РАН ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Г. МОСКВА)

Защита лесов от пожаров является ключевым компонентом сохранения лесов. Значительное повышение эффективности организации работы по лесным пожарам, может быть достигнуто за счет создания системы поддержки принятия управленческих решений на базе ИСДМ-Рослесхоз

Одним из ключевых компонентов сохранения лесов является охрана лесов от пожаров. Все большую значимость принимает вопрос эффективности использования имеющихся средств и, в частности, о качестве принимаемых управленческих решений на всех уровнях. В рамках заявленной темы остановимся на одном из аспектов проблемы - организации тушения крупных лесных пожаров (Котельников и др., 2017).

По итогам первого этапа исследований выявлялись факторы, снижающие эффективность тушения: разнородность структуры подразделений и видов технических средств,

участвующих в тушении; недостаточный уровень информированности руководителя тушения; недостаточный уровень понимания ситуации и поставленных задач руководителями групп; низкий уровень коммуникации между подразделениями и отдельными специалистами; неудовлетворительный уровень взаимодействия между формированиями разной ведомственной принадлежности.

Для повышения эффективности необходимо обеспечить оперативный и удобный доступ к текущей информации как о самом лесном пожаре, так и о ресурсах пожаротушения. Во-вторых, важен прогноз развития ситуации. Это касается не только прогноза динамики распространения и развития лесного пожара. Вполне возможно реализовать прогноз движения и состояния технических ресурсов (на сколько хватит топлива, на сколько дней есть продукты у лесных пожарных и т.д.).

Наличие информации, указанной выше (фактически цифровой среды), позволит решать ряд аналитических и прогнозных задач в области охраны лесов от пожаров.

Обобщив и структурировав сказанное можно сформулировать следующий ключевой функционал будущей системы поддержки принятия при организации тушения крупных лесных пожаров: дифференцируемый доступ максимального числа участников тушения к информации, связанной с организацией работ; обеспечение информационного взаимодействия; автоматизация процессов расчета показателей.

С середины нулевых годов нашего века существует и успешно развивается Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (Лупян и др. 2015; Хвостиков и др., 2016). Сбор, обработка и тематическое дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли из космоса – главная, но не единственная задача системы. Наличие картографического ГИС-интерфейса и web-доступ к разнородной комплексной информации (ДЗЗ, метеоданные, данные региональных лесопожарных служб, тематическая картография и т.д.) позволило системе стать платформой для решения целого ряда комплексных задач, а, в перспективе, и для управленческих задач, указанных выше. Реализован в ИСДМ-Рослесхоз и алгоритм прогноза распространения и развития лесного пожара. Таким образом, существующая в ИСДМ-Рослесхоз аппаратная и программная инфраструктура идеально подходит для формирования на ее базе системы поддержки принятия управленческих решений в области охраны лесов от пожаров. Важным аргументом в эту пользу может стать и то, что благодаря принятой нормативной правовой базе ИСДМ-Рослесхоз фактически интегрирована в систему охраны лесов от пожаров Российской Федерации.

Таким образом, существенного повышения эффективности организации работ по тушению лесных пожаров, можно добиться за счет создание системы поддержки принятия управленческих решений на базе ИСДМ-Рослесхоз.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Котельников Р.В., Кориунов Н.А., Гиряев Н.М.* Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров: основные приоритеты развития информационного обеспечения. // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. - С. 18-24.

*Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Котельников Р.В., и др.* Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 222-250.

*Хвостиков С.А., Барталев С.А., Лупян Е.А.* Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 145-156.

### PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ISDM-ROSLESKHOZ AS A SYSTEM SUPPORT DECISION-MAKING IN THE FIELD OF PROTECTION OF FORESTS FROM FIRES

KOTELNIKOV R.V.<sup>1</sup>, LOUPIAN E. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>THE BRANCH OF FBU VNIILM «CENTER OF THE FOREST PYROLOGY»

<sup>2</sup>SPACE RESEARCH INSTITUTE RAS

Forest fire protection is a key component of forest conservation. A significant increase in the efficiency of the organization of work on forest fires, can be achieved through the creation of a system to support management decision-making based on the ISDM-Rosleskhoz

УДК 630\*528.94

### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА СТОКА И ЭМИССИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСАХ РОССИИ: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АСПЕКТ

Н.В. МАЛЫШЕВА, Т.А.ЗОЛИНА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА» (ФБУ ВНИИЛМ)

В докладе рассмотрено использование ГИС для поддержки методики и экспериментальных работ по оценке стока и эмиссий CO<sub>2</sub> в лесах России. С помощью инструментария ГИС выполнена стратификация лесов по лесорастительным условиям и продуктивности. С таксонами лесорастительного районирования увязаны конверсионные коэффициенты для преобразования запасов стволовой древесины в фитомассу и другие параметры расчетов. В картографической форме представлены результаты численных оценок поглощения, эмиссий углерода и углеродного баланса, выполненных по данным государственного лесного реестра на 01.01.2016.

Парижское соглашение мотивирует совершенствование методов учета объемов поглощения CO<sub>2</sub> лесами России и объективной оценки эмиссий CO<sub>2</sub> в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Использование инструментария ГИС является составной частью разработанной методики учёта поглощения CO<sub>2</sub> лесами Российской Федерации (Методика, 2017). В основу Методики положены рекомендации МГЭИК по ведению кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями

парниковых газов в лесном секторе (Руководящие указания...2003, Руководящие принципы...,2006) и международные правовые документы РКИК ООН.

С помощью инструментария ГИС идентифицированы страты, соответствующие современному варианту лесорастительного и лесохозяйственного районирования, с конверсионными коэффициентами, необходимыми для численной оценки запасов и годичного поглощения углерода лесами, дифференцированными по лесным районам. Стратификация лесов на уровне лесничеств существенно снижает неопределенность оценок поглощения CO<sub>2</sub> лесами. Оверлейные процедуры ГИС позволили увязать площади лесных земель и запасы стволовой древесины по лесничествам с таксонами зонирования, а затем, используя конверсионные коэффициенты преобразования запасов стволовой древесины в фитомассу и другие параметры, в том числе, соотношение подземной и надземной фитомассы, коэффициенты запаса углерода в лесной подстилке и пр., рассчитать запасы и годичное накопление углерода по основным пулам, рекомендованным МГЭИК: надземная фитомасса, подземная фитомасса, мертвая древесина (валежная и сухостойная), лесная подстилка и для биомассы в целом.

Алгоритмы и последовательность выполнения оценки запасов, поглощения, эмиссий углерода и углеродного баланса подробно изложены в методическом документе (Методика...,2017). Экспериментальные расчеты годичного поглощения и эмиссий углерода выполнены по данным отраслевой и федеральной статистики на 01.01.2016. Результаты экспериментальных расчетов представлены в картографической форме на заключительном этапе работ. Экспериментальные оценки сопоставлены с опубликованными данными национальной отчетности по международным климатическим соглашениям (Национальный доклад..., 2017). Поглощение углерода управляемыми лесами обуславливает положительный баланс углерода или нетто-сток, который по данным национальной отчетности составляет 160,7 Мт С/ год (без учета пула почв, но с коррекцией на поглощение углерода лесами, расположенными на землях особо охраняемых природных территорий, обороны и безопасности). Расчеты нетто-стока углерода (NBP) для всех категорий лесных земель Российской Федерации, выполненные по предлагаемой методике, показывают, что итоговая величина составляет на 01.01.2016 порядка 521,5 Мт С/год. По нашим оценкам в национальной отчетности по международным климатическим соглашениям нетто-поглощение углерода лесами (NBP) (Национальный доклад...,2017) занижено приблизительно на 68-70%. Результаты расчетов годичного поглощения углерода лесами России, представленные пространственно, и суммарные оценки баланса углерода, схожи с численными оценками авторитетного научного коллектива Института прикладного системного анализа - ИАASA (Швиденко, Щепаченко, 2014). Расхождения оценок находятся в пределах неопределенности расчетов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Методика учета поглощения CO<sub>2</sub> в лесах Российской Федерации / А.А. Мартынюк, А. Н. Филипчук, Б. Н. Моисеев, Н. В. Малышева, В.В. Страхов [и др.]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2017. 82 с.
- Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2015 гг. М. Росгидромет, 2017. Ч. 1. 471 с. [http://www.meteorf.ru/upload/pdf\\_download/NIR-2017\\_v1\\_fin.pdf](http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf).
- Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. ЗИЗЛХ. М.: МГЭИК ВМО, 2006 (русс. перевод). Т. 4. 93 с.
- Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. М.: МГЭИК ВМО, 2003. 330 с.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России. Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.

## MODERN PROBLEMS OF ASSESSMENT OF CARBON SEQUESTRATION CAPACITY AND GHG EMISSIONS IN RUSSIAN FORESTS: GIS ASPECT

N.V. MALYSHEVA, T.A. ZOLINA

ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF SILVICULTURE AND MECHANIZATION OF FORESTRY  
(FBU VNIILM)

GIS support of the method and experimental work aimed to carbon stocks and emission CO<sub>2</sub> assessment in Russian forests are considered in the report. GIS toolkit is used for forest stratification on site-specific conditions and productivity. The expansion factor for the conversion of stem volume into biomass and the other parameters of calculations are coordinated with forest strata that are homogeneous on site-specific conditions. The results of carbon absorption, emissions and carbon balance evaluations performed according to State Forest Register data on 01/01/2016 are presented on the maps.

УДК 630\*43;528.88

## ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЖАРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРЯМЫХ ПОЖАРНЫХ ЭМИССИЙ В ЛЕСАХ СИБИРИ

Е.И. ПОНОМАРЕВ<sup>1,2</sup>, Е.Г. ШВЕЦОВ<sup>1</sup>, А.В. ПАНОВ<sup>1</sup>, К.Ю. ЛИТВИНЦЕВ<sup>3</sup>,  
Т.В. ПОНОМАРЕВА<sup>1,2</sup>, В.И. ХАРУК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН

<sup>2</sup> СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

<sup>3</sup> ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СО РАН

Впервые для территории Сибири предложен и апробирован метод определения прямых эмиссий лесных пожаров, учитывающий интенсивность горения на основе спутниковой (Тепга/MODIS) регистрации теплового излучения в среднем (4 мкм) инфракрасном диапазоне.

В анализе был использован многолетний банк пожаров (1996–2018 гг.), фиксируемых спутниковыми средствами, Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН. Разработан пороговый метод классификации термически активных пикселей с выделением категорий интенсивности горения, адаптированный для различных пожаров в лесах Сибири (Ponomarev, et al, 2018; Пономарев и др., 2018). Пороговые значения интенсивности и соответствующие им категории пожаров предложено определять, исходя из статистических параметров о радиационной мощности, фиксируемой при различных фазах пожара. Квантили интенсивности были заданы с учетом среднеквадратического отклонения от среднего. По

диапазонам значений радиационной мощности (квантилям интенсивности) эффективно выделяются области пожарных полигонов, соответствующие участкам низко-, средне- и высокоинтенсивного горения. Впервые для современных условий Сибири инструментально установлено соотношение пожаров низкой ( $47 \pm 13\%$  от общей площади), средней ( $42 \pm 10\%$ ), высокой интенсивности ( $10 \pm 6\%$ ) в лесах Сибири с привязкой к преобладающим древостоям. На рассмотренном временном интервале прямые эмиссии пожаров варьировали от минимумов 20–40 Тг/год (2004, 2005, 2007, 2009, 2010 гг.) до максимального значения 227 Тг/год в сезон экстремальной горимости лесов 2012 г. Средняя величина эмиссий лесных пожаров в Сибири составляет  $83 \pm 21$  Тг С/год (2002–2018 гг.), что существенно ниже значений, определяемых по стандартной методике ( $112 \pm 25$  Тг С/год). Зафиксирован значительный вклад пожаров в лиственничниках (51,6%). Пожары в сосновых, темнохвойных, лиственных и смешанных насаждениях суммарно дают вклад на уровне 20–25%. Прежде всего такое соотношение обусловлено статистикой площадей пожаров, которая в лесах с преобладанием лиственницы в 2,7 раза превышает площади пожаров в остальных рассмотренных древостоях. Значимую долю эмиссий определяют пожары, отнесенных к нелесным. Установлена связь эмиссий с трендом аномалий температуры воздуха в Сибири в летний период. На основе выявленного тренда многолетней динамики оценен вероятный уровень эмиссий к концу XXI в. при реализации климатических сценариев RCP2.6, RCP4.0 и RCP8.5 (220, 700 и 2300 Тг С/год соответственно) (Пономарев и др., 2018).

Работа выполнена по теме базового проекта № 0356–2016–0707 и при частичной поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки № 17-41-240475, № 18-05-00432. Используются технические возможности приемных комплексов Центра коллективного пользования и Единого регионального центра ДЗ ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ponomarev E.I., Shvetsov E.G., Litvintsev K.Y., Bezkorovaynaya I.N., Ponomareva T.V., Klimchenko A.V., Ponomarev O.I., Yakimov N.D., Panov A.V.* Remote Sensing Data for Calibrated Assessment of Wildfire Emissions in Siberian Forests // *Proceedings*. 2018. Vol.2. № 7 (348). 7 p.

*Пономарев Е. И., Швецов Е. Г., Литвинцев К. Ю.* Калибровка оценок пожарных эмиссий на основе данных дистанционного зондирования // *Исследование Земли из космоса*. 2018. № 5. С. 41–51.

*Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Харук В.И.* Интенсивность горения в оценке эмиссий от пожаров // *Экология*. 2018. № 6. С. 1–8. [Ponomarev E.I., Shvetsov E.G., Kharuk V.I. The Intensity of Wildfires in Fire Emissions Estimates // *Russian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 49. No. 6. pp. 492–499. УДК 630\*5:528.85

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ И ЗАПАСОВ НАСАЖДЕНИЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ РАДАРНОЙ СЪЕМКИ SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION)**

ЧЕРНИХОВСКИЙ Д.М., АЛЕКСЕЕВ А.С.

ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.М. КИРОВА



Работа посвящена изучению возможностей использования результатов радарной топографической съемки SRTM для определения обобщенных характеристик лесных насаждений – средних высот и запасов. Получены регрессионные зависимости между средними высотами фазы рассеяния (независимая переменная) и средними высотами и запасами насаждений (зависимая переменная) в пределах границ лесотаксационных выделов, сгруппированных по преобладающим породам.

Среди публикаций, посвященных определению высоты лесного полога с использованием данных SRTM, наиболее фундаментальными являются статьи (Kellndorfer J. et al, 2004, Sexton J., 2009). В публикациях приводятся сведения о закономерностях соотношения высот модели SRTM и лесных насаждений. Поверхность, фиксируемая сенсором, может располагаться на высоте от 0.5 до 0.75 от высоты насаждений (Gallant J.C, et al., 2012; Hengl T., Reuter N.I., 2008). Факторами, способствующими более глубокому проникновению лучей С-диапазона в лесной полог, являются сухая погода, незначительная плотность полога, небольшая высота насаждений и небольшие размеры листьев и ветвей, коническая форма крон. Факторами, препятствующими проникновению лучей в лесной полог (и способствующими их преломлению и отражению в верхней части полога), служат высокая сомкнутость насаждений, преобладание в них лиственных деревьев, наличие ветвей среднего и большого размера

Новизна нашей работы заключается, во-первых, в определении на основе обработки данных SRTM не только высоты насаждений, но и их запаса и, во-вторых, в использовании массовых повыведельных данных лесоустройства, в отличие от пробных площадей, использованных в (Kellndorfer J. et al, 2004; Sexton J. et al 2009).

В качестве модельной территории выбрана часть Учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Исходными материалами для выполнения исследования служили геоинформационные базы данных лесоустройства, данные радарной съемки SRTM и топографические карты. Модельная территория разбита регулярной сетью на ячейки с шагом 1 км. Большая часть территории относится к площади, покрытой лесной растительностью. Моделирование рельефа выполнено на основе оцифрованных топографических карт масштаба 1:25000 путем интерполяции методом TIN. Выполнено визуальное и статистическое сравнение двух моделей высот – модели поверхности (на основе данных радарной съемки SRTM) и модели рельефа (на основе топографических карт).

Высота поверхности SRTM на покрытых лесом участках оказывается выше высоты поверхности открытого рельефа, но ниже средней высоты лесного полога. Разница между поверхностями SRTM и рельефа – высота центра фазы рассеивания (scattering phase center height) зависит от характеристик сенсора и объекта, включает относительные и абсолютные вертикальные погрешности, и структурные признаки растительности. С помощью построения профилей выполнена оценка характера изменений высот моделей рельефа и поверхно-

сти. Установлено, что для большей части модельной территории расхождения высот между моделями поверхности и рельефа составляют 15-20 м. Сближение графиков высот отмечается на участках, не покрытых лесной растительностью.

Оценка разностей **высот между моделью SRTM и моделью рельефа (на основе топографических карт)** на примере Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области позволила выявить ряд закономерностей:

- Высота поверхности SRTM отличается от высоты рельефа (определяемой на основе топографических карт). При этом средняя высота фазы рассеяния SRTM (разница высот модели SRTM и модели рельефа) для нелесных земель составила  $7.0 \pm 3.5$  м, для лесных земель покрытых лесной растительностью  $14.2 \pm 4.3$  м, для лесных земель не покрытых лесной растительностью  $10.6 \pm 6.0$  м. Увеличение площади выделов приводит к снижению высоты фазы рассеяния и его среднего квадратического отклонения.
- Графики высот моделей SRTM и рельефа вдоль профилей отражают синхронный характер изменений. Средняя высота фазы рассеяния SRTM располагается ниже высоты лесного полога.

Получены регрессионные уравнения зависимостей средней высоты и среднего запаса насаждений от высоты фазы рассеяния (на примере данных лесоустройства). Выявлено влияние на тесноту связи величины минимальной площади выделов, относительной полноты, коэффициента состава, преобладающей древесной породы.

С учетом глобального характера SRTM данных выявленные закономерности могут оказаться полезными для лесоучетных работ регионального и глобального уровней, (например, задач государственной инвентаризации лесов), а также решения глобальных экологических задач (оценки наземной биомассы, определения запасов углерода).

Целесообразно продолжение исследования в нескольких направлениях: дальнейшее изучение взаимосвязей расхождений моделей высот SRTM и рельефа с характеристиками лесов, оценка возможностей применения для аналогичных целей материалов других радарных съемок, оценка влияния на характеристики лесов моделей высот рельефа и поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Gallant J.C., Read A.M., and Dowling T.I.* Removal of tree offsets from SRTM and other digital surface models // Proceedings of XXII ISPRS Congress. 2012. pp. 275-280. doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-275-2012, 2012.
- Hengl T., Reuter H.I.* (eds). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. vol. 33. Elsevier. 2008. 772 p.
- Kellndorfer J., Walker W., Pierce L., Dobson C., Fitesb J.A., Hunsaker C., Vonad J., Clutter M.* Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 93. pp. 339–358.
- Sexton J., Bax T., Siqueira P., Swenson J., Hensley S.* A comparison of lidar, radar, and field measurements of canopy height in pine and hardwood forests of southeastern North America // Forest Ecology and Management. 2009. Vol. 257. pp. 1136–1147.

# ASSESSMENT OF THE TREE STANDS HEIGHT AND GROWING STOCK ON THE BASE OF SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION) DATA TREATMENT

CHERNIKHOVSKY D.M., ALEKSEEV A.S.

SAINT-PETERSBURG STATE FOREST TECHNICAL UNIVERSITY

The possibilities in assessing of the mean tree stands height and growing stock on the base of SRTM data treatment were studied. Forest inventory data by compartments dominated by main tree species of Lisino training and experimental forest of Saint-Petersburg State Forest Technical University was used for analysis. Statistically reliable regressions was established between mean tree stand height and growing stock (dependent variable) scattering phase center height SRTM (independent variable).

УДК 630\*

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЕСОВ: ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

А.З. ШВИДЕНКО<sup>1,2</sup>, Д.Г. ЩЕПАЩЕНКО<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА,

<sup>2</sup>ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н.СУКАЧЕВА СО РАН,

<sup>3</sup>ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УН-Т ИМ. Н.Э. БАУМАНА, МЫТИЩИ

Биофизическая оценка экосистемных функций/услуг лесов (ЭФУ) возможна только на основе интеграции данных, полученных наземными и дистанционными методами. Использование разнородной информации, а также нечеткий характер изучаемых систем создают ряд информационных и методических проблем. В докладе кратко обозначены системные принципы подхода к оценке ЭФУ, обсуждается гармонизация определений, классификационных схем и методических решений. На примере оценки фитомассы и полного верифицируемого углеродного бюджета лесов в масштабе страны иллюстрируются возможности и особенности системного подхода к оценке ЭФУ.

Переход к адаптивному, устойчивому к рискам глобальных изменений лесному хозяйству (УУЛ) предполагает непрерывный мониторинг устойчивости лесов и всего множества экосистемных функций/услуг (ЭФУ). После основополагающей работы Costanza et al. (1997) появилась огромная литература по теме. Однако многие вопросы требуют дальнейшей разработки, как в части общетеоретических принципов и положений, так и региональных детализаций, направленных на спецификацию конкретных ЭФУ и их увязку с системами лесохозяйственных мероприятий. Это предполагает необходимость наличия национальной (возможный вариант обсуждается) и региональных классификаций ЭФУ. Среди базовых положений концепции ЭФУ следует назвать многофункциональность лесов любого административно-хозяйственного назначения и, следовательно, необходимость учета взаимоотношений между ЭФУ отдельного лесного участка, которые, в первом приближении, могут рассматриваться как синергетические, толерантные, конфликтные и взаимоисключающие; принцип равнозначности, но неравноценности функций (Шейнгауз, Сапожников 1983); приоритетная роль функций в определении режимов ведения лесного хозяйства и лесопользования. Очевидна необходимость экономической оценки ЭФУ в смысле их полезности для всех – обще-

ство должно знать цену леса, а кто и как должен платить за нерыночные (сегодня) услуги всеобщего пользования – это важный, но следующий вопрос государственного регулирования. Поскольку по своей сути ЭФУ представляют собой нечеткие системы, эта их особенность должна учитываться при биофизической оценке ЭФУ, основой которой является использование независимых методов в процессе оценивания с последующей гармонизацией (mutual constraints) важнейших промежуточных и окончательных результатов (Shvidenko et al. 2017).

Существующая система учета лесов в России недостаточна для надежной оценки основных параметров ЭФУ. Требуется оперативная оценка биофизических показателей лесных экосистем и процессов в них, значительная часть которых современной системой лесоучетных работ в России либо не определяется (например, фитомасса по фракциям, включая подземную; чистая первичная продукция; текущие приросты по общей продуктивности и наличному запасу; показатели устойчивости лесных экосистем и ландшафтов; показатели биоразнообразия; количество и динамика углерода почвы), либо определяется с неудовлетворительной полнотой или пространственной и временной точностью (например, количество и динамика древесного детрита, влияние природных и антропогенных нарушений). Рациональное сочетание наземных и дистанционных методов является основополагающим принципом совершенствования информационного обеспечения биофизической оценки ЭФУ лесов. Основные методические проблемы, существующие здесь, заключаются *inter alia* в 1) неполной совместимости определений биофизических показателей (примеры: определение леса в глобальных продуктах ДЗЗ; сомкнутость крон – сомкнутость полога – полнота древостоя); 2) использовании несовпадающих классификаций (примеры: классы земельного покрова; типологические подразделения лесов); 3) отсутствии удовлетворительных моделей структуры лесных экосистем для оценки «невидимых для ДЗЗ» структурных компонентов экосистем; 4) неудовлетворительной характеристики важных региональных особенностей в крупно-региональных и глобальных продуктах ДЗЗ.

Особенности системного подхода демонстрируются на двух примерах: оценка биомассы лесных экосистем (Schepaschenko et al. 2018) и полный верифицированный учет углеродного бюджета лесов (Shvidenko et al. 2017) в масштабе страны. Показано, что погрешности такого подхода находятся в пределах, предположительно приемлемым для принятия решений (для бюджета - порядка 25-30%, доверительная вероятность 0.9).

## **SYSTEM APPROACH TO ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES OF FORESTS: INFORMATION AND METHODOLOGICAL PROBLEMS**

A.Z. SHVIDENKO<sup>1,2</sup>, D.G. SCHEPASCHENKO<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEM ANALYSIS, AUSTRIA  
<sup>2</sup> V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST, SB, RAS  
<sup>3</sup> BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MYTISCHI BRANCH

Biophysical assessment of ecosystem services of forests (ES) requires integration of data are obtained by ground and remote sensing methods. Use of heterogeneous information, as well as a fuzzy character of the studied systems generate some information and methodological problems. The presentation outlines system principles of assessment of ES, discusses the harmonization of definitions, classification schemes and methodological decisions. Using live biomass and full and verified carbon account of forests at the country level as examples, the presentation illustrates possibilities and specificity of system approach to assessment of ES.

УДК 581.5;528.8

## **ГЛОБАЛЬНЫЕ КАРТЫ ЛЕСНОЙ ФИТОМАССЫ И ИХ ВАЛИДАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

Д.Г. ЩЕПАЩЕНКО<sup>1,2</sup>, А.З. ШВИДЕНКО А.З.<sup>3</sup>, А.А. АЛЕЙНИКОВ<sup>4</sup>, К.С. БОБКОВА<sup>5</sup>, Т.Ю. БРАСЛАВСКАЯ<sup>4</sup>, Ф.К. ВОЗЬМИТЕЛЬ<sup>2</sup>, Д.М. ДАНИЛИНА<sup>3</sup>, М.Д. ЕВДОКИМЕНКО<sup>3</sup>, А.В. ГОРНОВ<sup>4</sup>, М.В. ГОРНОВА<sup>4</sup>, В.В. ИВАНОВ<sup>3</sup>, В.Н. КАРМИНОВ<sup>2</sup>, М.Е. КОНОВАЛОВА<sup>3</sup>, Л.В. КРИВОБОКОВ<sup>3</sup>, Н.В. ЛУКИНА<sup>4</sup>, О.В. МАРТЫНЕНКО<sup>2</sup> Л.В. МУХОРТОВА<sup>3</sup>, Д.И. НАЗИМОВА<sup>3</sup>, П.В. ОНТИКОВ<sup>2</sup>, А.Ф. ОСИПОВ<sup>5</sup>, Е.В. ТИХОНОВА<sup>4</sup>, О.В. ТРЕФИЛОВА<sup>3</sup>, Э.Ф. ВЕДРОВА<sup>3</sup>, С.В. ВЕРХОВЕЦ<sup>3</sup>, Н.А. ВЛАДИМИРОВА<sup>6</sup>

<sup>1</sup> INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS  
<sup>2</sup> МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. БАУМАНА  
<sup>3</sup> ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЁВА СО РАН  
<sup>4</sup> ЦЭНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН  
<sup>5</sup> ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ КОМИ НЦ УрО РАН  
<sup>6</sup> ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК «ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ».

В докладе приводится обзор современных инструментов дистанционного зондирования лесной фитомассы, глобальных и региональных карт, находящихся в свободном доступе, а также методов и подходов к их валидации.

Фитомасса является важным показателем леса. Наблюдение за её запасами и динамикой важны для оценки состояния экосистем, динамики углерода и парниковых газов, ресурсного потенциала, включая возобновляемые источники энергии, прочих экосистемных функций и услуг лесов. Оперативное картографирование надземной фитомассы на больших территориях возможно только с помощью технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Хотя инструментов прямого дистанционного измерения фитомассы не существует, технологии совместной обработки информации с различных сенсоров позволяют получать всё более надёжные оценки фитомассы (Щепащенко и др., 2017). Оптические инструменты, такие как MODIS, Proba-V, Landsat, Sentinel-2, применяются для оценки вегетационных индексов, типов растительности, сомкнутости крон (Hansen et al., 2013) и даже запасов древесины (Барталев и др., 2016). Радарные инструменты (Envisat ASAR, Sentinel-1, ALOS PALSAR) чувствительны к запасам воды в растительности и используются для оценки запасов древесины (Santoro et al., 2015, 2018) и фитомассы (Turner et al. 2014; Santoro et al., 2018). Представителями следующего поколения радаров, подготавливаемых к запуску в 2021

году является NISAR (L диапазон от NASA / ISRO) и BIOMASS (P диапазон от ESA). Лазерные инструменты (LiDAR), позволяют оценить вертикальную структуру фитомассы, представлены ICESat (2003-2010 гг), а также ICESat-2 и GEDI, запущенными в конце 2018 года.

Обзор карт лесной фитомассы, находящиеся в свободном доступе представлены на сайте <https://Biomass.Geo-Wiki.org>. Наиболее актуальными, покрывающими территорию России являются глобальные карты запасов древесины (Santoro et al., 2018) и надземной фитомассы (Thurner et al. 2014; Santoro et al., 2018; Vaccini et al., 2018).

Получение надёжных карт лесной фитомассы методами ДЗЗ невозможно без современных, надежных, репрезентативных и сопоставимых наземных данных для калибрования и проверки (валидации). Прототипом таких баз данных лесной фитомассы является (1) структура лесной фитомассы (Schepaschenko et al., 2017) и база данных постоянных пробных площадей (<https://forest-observation-system.net/>). Все соавторы данной работы поделились своими измерениями на постоянных пробных площадях для валидации и калибрования данных ДЗЗ. Преимуществом перечисленных баз данных является их общедоступность. В докладе приводятся результаты валидации карт фитомассы по данным государственного лесного реестра и материалам пробных площадей.

Определённая роль в валидации карт фитомассы и особенно в оценке причин её динамики принадлежит методам визуальной классификации снимков высокого разрешения. Представлена краудсорсинговая акция, проводимая на интернет платформе Geo-Wiki.org в апреле-мае 2019 г., в которой может принять участие каждый с возможностью выиграть призы и стать соавтором научной публикации в высокоцитируемом журнале.

## ЛИТЕРАТУРА

- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З., Пергер К., Дресел К., Фриц Ш., Лакида П.И., Мухортова Л.В., Усольцев В.А., Бобкова К.С., Осипов А.Ф., Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Онтиков П.В., Щепащенко М.В., Кракснери Ф.* Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы // Сибирский лесной журнал. 2017. № 4. С. 3-11.
- Baccini A.* Aboveground live woody biomass density. Woods Hole Research Center. Unpublished data. Accessed through Global Forest Watch Climate on 01.12.2018. [climate.globalforestwatch.org](http://climate.globalforestwatch.org)
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. V.342 (6160). P. 850-853.
- Santoro M.* GlobBiomass - global datasets of forest biomass //PANGAEA. 2018. 894711. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894711>.
- Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Usoltsev V., Lakyda P., Luo Y., Vasylyshyn R., Lakyda I., Myklush Y., See L., McCallum I., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M.* A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Scientific Data. 2017. V.4. 170070.
- Thurner M, Beer C, Santoro M, Carvalhais N, Wutzler T, Schepaschenko D, Shvidenko A, Kompter E, Ahrens B, Levick SR, Schmullius C.* Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests // Global Ecology and Biogeography. 2014. V.23 (3). P. 297-310.

# АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ

УДК 504.064

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГАРЕЙ ЛЕСОБОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

М.Н. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, Е.А. ГОЛОВАЦКАЯ<sup>2</sup>, И.Г. ЯЩЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ИНСТИТУТ ХИМИИ НЕФТИ СО РАН

<sup>2</sup> ФГБУН ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО РАН

Приводится оценка пожаров лесоболотных комплексов Томской области по спутниковым данным космосников и данным из фондовых материалов Департамента лесного хозяйства Томской области за 1980-2017 гг. Выполнена оценка выбросов загрязняющих веществ в результате крупного пожара на осушенном болоте и показана динамика послепожарного восстановления растительного покрова на гари на основе данных NDVI.

Леса и болота России имеют глобальное атмосферное значение в стоке углерода, объемах его поглощения и эмиссии. Однако в связи с пожарами и рубками происходит существенное выделение углерода и других загрязняющих вещества в атмосферу. Наиболее горимыми оказываются спелые и перестойные хвойные и лиственно-хвойные леса, необлесившиеся вырубки и осушенные болота с накопленной органической массой в лесной подстилке и торфе (Барановский, 2004; Гашкова, Синюткина, 2015; Хакимов, Синюткина, 2014). В настоящее время определение площади лесных угодий, уничтоженных пожарами, и оценка выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в результате лесных и болотных пожаров являются актуальными как в свете исследования углеродного баланса экосистем их общего состояния и функционирования, так и в свете экологических проблем, связанных с качеством атмосферного воздуха. Цель работы заключалась: 1) Создание ГИС со слоями геоданных пожаров и гарей в Бакчарском и Шегарском лесничествах Томской области; 2) оценка выбросов загрязняющих веществ от пожара 1998 г. на осушенном болоте Иксинское (Шегарский район); 3) оценка послепожарного восстановления растительного покрова на гари Иксинского болота и риска повторного возгорания.

Для проведения анализа пожаров лесоболотных комплексов создана геоинформационная система, в составе которой следующие геоданные: карта растительного покрова восточной части Томской области, составленная по итогам дешифрирования четырех КС Landsat 8 за 13-15 июня 2014 г.; цифровая карта растительности - продукт MCD 12Q1 2011 г.; продукт MOD13Q1, который представляет карты NDVI за 2000-2016 гг.; векторные слои границ гарей 2003-2017 гг. для территорий Бакчарского и Шегарского лесничеств из глобального атласа пожаров ([https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds\\_id=1642](https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1642)); электронный каталог очагов пожаров на основе выписки из фондовых материалов Департамента лесного хозяйства

Томской области за 1980-2017 гг. в Шегарском лесничестве и за 1989-2016 гг. в Бакcharском лесничестве; актуальная информация с интернет-ресурса <http://fires.ru>.

Созданная ГИС наглядно характеризует пожары и пройденные ими площади на территориях Бакcharского и Шегарского лесничеств. В результате лесомелиорации в 1973-1979 гг. на территории Бакcharского (Бакcharское лесничество) и Иксинского (Шегарское лесничество) районов было осушено 77 и 70 км<sup>2</sup> болотных массивов соответственно (Гашкова, Синюткина, 2015; Хакимов, Синюткина, 2014). В 1998 г. на Иксинском болоте на площади 37 км<sup>2</sup> был полностью уничтожен растительный покров с приповерхностной толщей торфа. Оценка общего объема выбросов загрязняющих веществ газовой смеси от пожара 1998 г. на Иксинском болоте определялась согласно (Методика определения и расчет..., 1997). Получено, что на участке Иксинского болота в 1998 г. при горении 121956,5 т растительных горючих материалов было выброшено в атмосферу оксида углерода (CO) - 16464,1 т, CO<sub>2</sub> - 11463,9 т, оксидов азота (NO<sub>x</sub>) - 49,4 т, сажи - 170,7 т, метана - 9146,7 т и озона - 122 т. На основе использования NDVI выявлено, что биомасса растительного покрова на гари ключевого участка Икса восстанавливается. После пожара в 2000 г. значения NDVI микроландшафтов составляли (0,5-0,66), а в 2015-2016 гг. повысились до (0,65-0,8). Накопление биомассы и наличие сухостоя, а также наличие сети дорог свидетельствует о риске повторного возгорания на Иксинском болотном массиве, а также на других осушенных участках, следовательно, и возможный выброс в атмосферу загрязняющих веществ.

Исследование было выполнено в рамках госбюджетной темы АААА-А17-117013050031-8 и в рамках госбюджетной темы АААА-А17-117030310200-4.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Барановский Н.В.* Влияние антропогенной нагрузки и грозовой активности на вероятность возникновения лесных пожаров // Сибирский экологический журнал. 2004. № 6. С. 835-842.

*Гашкова Л.П., Синюткина А.А.* Оценка трансформации осушенного верхового болота (на примере участка Бакcharского болотного массива) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. №1 (29). С.164-179.

*Хакимов И.Р., Синюткина А.А.* Комплексная система оценки пожароопасности заболоченных территорий (на примере Шегарского района Томской области) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1. С. 688-691.

Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров: Приказ Госкомэкологии России № 90 от 5 марта 1997 г.

### CHARACTERISTICS OF FIRES AND RESTORATION OF THE BURNED AREA OF THE FOREST AND PEATLANDS COMPLEXES OF THE TOMSK REGION ON THE SATELLITE DATA

M.N. ALEKSEEVA<sup>1</sup>, E.A. GOLOVATSKAYA<sup>2</sup>, I.G. YASHCHENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTE OF PETROLEUM CHEMISTRY SB RAS

<sup>2</sup>INSTITUTE FOR MONITORING CLIMATE AND ECOLOGICAL SYSTEMS SB RAS

Assessment of the fires of forest-swamp complexes of the Tomsk region using satellite data and data from archive materials of the Department of Forestry of the Tomsk Region for 1980-2017 is given. Assessment of pollutant emissions from a major fire in a dried peatlands has been made and the dynamics of post-fire restoration of vegetation on burning has been shown based on NDVI data.



## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КРОН ДЕРЕВЬЕВ И МЕЖКРОНОВЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ОРТОФОТОСНИМКАХ БПЛА**

Е.И. БЕЛОВА, Д.В. ЕРШОВ, А.Д. НИКИТИНА, С.В. КНЯЗЕВА

ФГБУН ЦЭНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ЦЭПЛ РАН)

В докладе проводится краткий обзор двух методов сегментации изображений БПЛА: метод водораздела (Watershed) и метод FLS (Full Lambda Schedule). Проводится сравнение работы этих алгоритмов на предмет выделения кроны деревьев и межкрупных пространств на тестовых участках Смоленской и Калининградской областей.

В настоящее время большое распространение получает детальная съемка лесов с беспилотных летательных аппаратов с небольших высот (100-300 м), результатом которой являются ортофотоизображения древесного полога сверхвысокого пространственного разрешения (5-10 см). Такие изображения дают дополнительную возможность для изучения количественных характеристик лесов, их состояния на уровне отдельного дерева (Алексеев и др., 2016; Санников и др., 2018; Puliti et al, 2015).

В связи с этим встает вопрос о разработке новых и развитии существующих методов и алгоритмов обработки изображений, таких как сегментация. Основной задачей сегментации является разбиение изображения на однородные области – сегменты, являющиеся однородными по одному или нескольким признакам. Объекты на изображении соответствуют сегментам, а их границы – границам объектов соответственно (Иванов, 2016).

В данной работе рассматриваются два алгоритма сегментации для выделения границ кроны деревьев лесного участка естественного происхождения: метода водораздела (Watershed) и алгоритм FLS (Full Lambda Schedule).

Метод водораздела основан на представлении изображения в виде трехмерной поверхности. Каждый пиксел изображения описывается двумя пространственными координатами (x,y), а в качестве высоты выступает значение яркости пиксела. В этой интерпретации все точки изображения делятся на точки, расположенные на склоне и гребне трехмерной поверхности. Точки на гребне формируют линии водораздела. Основная цель сегментации методом водораздела состоит в выявлении линий водораздела (Гонсалес, 2012).

Алгоритм сегментации FLS проводит сегментацию на основе спектральной и пространственной информации. Первоначально рассматривается каждый пиксель как отдельный сегмент, далее происходит наращивание областей путем объединения в сегменты близких по спектральным характеристикам пикселей (Redding et al., 1999). Априори задается основная характеристика: допустимый размер сегмента.

Сравнение работы алгоритмов проводили на тестовых участках, которые находятся на территориях национальных парков «Смоленское Поозерье» и «Куршская коса». Аэрофото-

съемка тестовых участков была выполнена в 2017-2018 гг. В результате фотограмметрической обработки материалов съемки были получены 6 ортофотопланов. В работе представлены результаты сравнения алгоритмов сегментации относительно корректности выделения крон деревьев (количество и площадь). В качестве эталонных изображений для сравнения были выбраны результаты независимого визуального дешифрирования ортофотопланов экспертом.

Исследования выполнены в рамках работ по грантам РФФИ № 18-54-00029 (для лесов НП «Смоленское Поозерье») и РФФИ № 17-05-01129 (для лесов НП «Куршская коса»).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Алексеев А.С., Никифоров А.А., Михайлова А.А., Вагизов М.Р.* Новый метод определения таксационных характеристик насаждений по снимкам сверхвысокого разрешения с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 215. С. 6-18.

*Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. Техносфера, Москва, 2012. 1104 с.

*Иванов Е.С.* Некоторые приложения сегментации снимков ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016 Т.13 №1 С. 105-116.

*Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Бузмаков С.А.* Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 103–113.

*Redding N.J., Crisp D.J., Tang D., Newsam G.N.* An efficient algorithm for Mumford-Shah segmentation and its application to SAR imagery. // Proceedings of the 1999 Conference on Digital Image Computing: Technique.

*Stefano Puliti, Hans Ole Ørka, Terje Gobakken and Erik Næsset.* Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System // Remote Sensing. 2015, Vol.7, 9632-9654.

### COMPARISON OF TREE CROWN DETECTION ALGORITHMS ON HIGH RESOLUTION IMAGERY

E.I. BELOVA, D.V. ERSHOV, A. D. NIKITINA, S.V. KNYAZEVA

CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY FORESTS RAS

This report compares two algorithms for segmentation of very high-resolution images. Images were received from unmanned aerial vehicle (UAV) for six test regions in national parks "Smolenskoe poozer'e" and "Kurshskaya kosa". We used fundamentally different image segmentation algorithms such as FLS (Full Lambda Schedule) and Watershed. The results of segmentations were compared with results of data interpreted by the operator.

УДК 911.2

### НАРУШЕННОСТЬ ГЕОСИСТЕМ ПРИБАЙКАЛЬЯ

И.Н. БИЛИЧЕНКО<sup>1</sup>, Н.М. ЛУЖКОВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ ИМ. В.Б. СОЧАВЫ СО РАН

<sup>2</sup> ФГБУ "ЗАПОВЕДНОЕ ПОДЛЕМОРЬЕ"

В статье рассматривается роль пирогенного фактора в формировании ландшафтной структуры Байкальской Природной территории. Более подробно рассмотрено проявление пирогенного фактора на территории Забайкальского национального парка. В качестве исходных данных при исследовании использовались архивные материалы ЗНП, топографические карты территории, космические снимки Landsat 5, 7, 8 за различные сезоны и годы, лесотаксационные данные.

В настоящее время ненарушенных геосистем в пределах Байкальской природной территории нет и пожары играют при этом первостепенную роль (Биличенко, 2018). Это опре-

деляет актуальность изучения влияния пирогенного фактора на структуру и динамику геосистем региона. Лесные пожары влияют на сукцессионные изменения структуры лесов и являются повсеместными как в пространстве, так и во времени.

Условия проявления пирогенного фактора определяются как физико-географическими особенностями территории, так и характером антропогенной деятельности. Особенности природных условий региона, такие как горный рельеф, варьирование климата, разнообразие растительного покрова, обусловили дифференцированную с высокой степенью контрастности ландшафтную структуру. Здесь сменяются и сосуществуют степные, лугово-болотные, подтаежные, горно-таежные, подгольцовые и гольцовые геосистемы, обладающие разной степенью устойчивости и стабилизации структуры.

Причины возникновения пожаров: наличие периодически повторяющихся засушливых сезонов, обилие пожароопасных горючих лесных материалов, горный рельеф, жесткий ветровой режим, низкая доступность территории – все это, в конечном итоге, предопределяет высокую вероятность возникновения лесных пожаров и скорость их распространения, а также трудность тушения. Наиболее сложная лесопожарная обстановка создается при экстремальных погодных условиях, когда осадки не выпадают в течение месяца и более.

Наиболее подробно проявление пирогенного фактора рассмотрено нами на примере особо охраняемой территории Забайкальского национального парка (ЗНП). Кроме того, на данную территорию собраны многолетние статистические данные по распространению пожаров, топографические карты территории, космические снимки Landsat 5, 7, 8 за различные сезоны и годы, лесотаксационные данные.

Наибольшую площадь ЗНП занимают подгольцовые лиственнично-редколесные каменноберезовые группы фаций (24,8%). Редколесья чаще всего состоит из кедра, пихты, ели, лиственницы, на склонах гравитационного сноса распространен кедровый стланик, душекия. Далее по площади идет подгольцовая кустарниковая группа фаций (16%) в сочетании с субальпийнотипными лугами. Одинаково (по 8,1%) занимают горнотаежные лиственничные редуцированного развития и межгорных понижений и долин таежные лиственничные ограниченного развития.

Согласно типизации климатов Трофимовой (Трофимова, 2002), ЗНП включает три типа климата. На основной (высокогорной) части полуострова Святой Нос распространен засушливый (полузасушливый) с умеренно холодным летом, умеренно холодной и умеренно снежной зимой тип климата. Средняя температура воздуха в январе  $-19^{\circ}\text{C}$ , июля  $-11^{\circ}\text{C}$ . Осадки меняются от побережья по склону от 250 до 600 мм в год, снежный покров составляет 30-50 см. От долины реки Большой Чивыркуй на юг, по побережью Чивыркуйского, Баргузинского заливов распространен умеренно влажный с умеренно холодным (прохладным)

летом, умеренно холодной и умеренно снежной (локально малоснежной и многоснежной) зимой тип климата. Средняя температура воздуха в районе Чивыркуйского перешейка и в восточной части Святого Носа в январе  $-21^{\circ}\text{C}$ , июля  $-14^{\circ}\text{C}$ . В горной части в январе от  $-22^{\circ}\text{C}$ , понижаясь с высотой до  $-26^{\circ}\text{C}$  и от  $-14^{\circ}\text{C}$  до  $8^{\circ}\text{C}$  в июле. Севернее долины реки Большой Чивыркуй находится район с повышено влажным и холодным летом и суровой многоснежной зимой. Распространен он в средних и верхних поясах обращенных к Байкалу склонов Баргузинского хребта. Климатические условия здесь определены значительной высотой, расчлененностью рельефа и нахождением склонов на пути западного переноса воздушных масс. Годовая сумма осадков в горах (особенно в гольцовом поясе) превышает 1000-1200 мм. Высота снега, превышающая на склонах 70 см, в гольцах может достигать 250 см. С высотой годовая сумма осадков меняется от 400 мм на побережье и до 1200 и более в гольцах. Температура воздуха также понижается с высотой: средняя температура января варьирует от  $-22^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , средняя температура июля от  $14^{\circ}\text{C}$  до  $8^{\circ}\text{C}$ . Средняя скорость ветра во время пожароопасного сезона на всей территории ЗНП составляет 2 м в секунду.

С 1987 по 2017 г. на территории ЗНП было зафиксировано 160 пожаров (таблица 1). Общая площадь, пройденная пожарами, составила 25569,21 га, средняя одного - 160 га. Площади гарей сильно варьируют. Количество мелких возгораний (с гарями  $< 0,5$  га) было 41 (25,6 % от общего количества), в диапазоне  $\geq 0,5 - < 5$  га - 33 (20,6 %),  $\geq 5 - < 200$  га 58 (36,3 %), а крупных,  $\geq 200$  га – 28 (17,5 %). В отдельные годы были зафиксированы гари, достигающие около и более тысячи га: в 1996 г. – 880 га в мае, в 2003 – 881 в июле, в 2011 – 1037,13 га в июне, в июле 2015 года: 16065,04 га. Основная причина возникновения пожаров на территории ЗНП – сухие грозы (44 %), другая – неосторожное обращение в лесу с огнем (14 %). Впечатляет количество пожаров по не выявленным обстоятельствам (40%) - почти каждый второй.

Таким образом, по территории ЗНП лесные пожары распределяются неравномерно. Основной очаг возгораний находится на полуострове Святой Нос. Причем, здесь сосредоточены самые крупные по площади участки, пройденные пожарами (более 500 га). Вспышки крупных катастрофических пожаров обусловлены, прежде всего климатическими аномалиями с высокой частотой засух, что здесь и отмечается. Основными причинами возникновения пожаров являются естественные (сухие грозы), а не антропогенные. Это можно объяснить и тем, что данная территория является особо охраняемой с регламентированным туристическим потоком. Исключение составляет перешеек, примыкающий к Баргузинскому заливу, где пожары чаще случаются по вине человека. Сюда можно отнести еще и территорию полуострова Святой нос. Эти районы являются рекреационно обустроенными и находятся в транспортной доступности, что является немаловажным фактором при возникновении пожаров. Распростране-

ние крупных пожаров совпадает с доминированием в территориальной структуре устойчиво-производных состояний геосистем.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Биличенко И.Н.* Роль пирогенного фактора в формировании ландшафтной структуры Байкальской Природной территории / Ландшафтная география в XXI веке Материалы Международной научной конференции. Под редакцией Е.А. Позаченюк. 2018. С. 244-247.

*Трофимова И.Е.* Типизация и картографирование климатов Байкальской горно-котловинной системы // География и природ. Ресурсы. 2002. № 2. С. 53-61.

### **DISTURBANCE OF GEOSYSTEMS OF CISBAIKALIA**

I.N. BILICHENKO<sup>1</sup>, N.M. LUZHKOVA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> V.B. SOCHAVA INSTITUTE OF GEOGRAPHY SB RAS

<sup>2</sup>FSE "ZAPOVEDNOE PODLEMORYE"

The article discusses the role of the pyrogenic factor in the formation of the landscape structure of the Baikal Natural Territory. The manifestation of the pyrogenic factor in the territory of the Trans-Baikal National Park is considered in more detail. The initial data used in the study were archival materials, RFP, topographic maps of the territory, satellite images of Landsat 5, 7, 8 for different seasons and years, forest-based data.

УДК 630\*424.5

### **ОЦЕНКА МАСШТАБОВ ГИБЕЛИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРНОГО МЕДНО-ЦИНКОВОГО РУДНИКА ПО СЕРИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ 2009-2018 ГГ.**

Н.А. ВЛАДИМИРОВА<sup>1</sup>, А.Е. КВАШНИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ ГПЗ «ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ»

В работе оцениваются масштабы и динамика гибели насаждений Северного Урала в результате добычи полезных ископаемых в месторождениях Северного медно-цинкового рудника: Тарньерском, Шемурском и Ново-Шемурском. По данным спутниковой съемки площадь усыхания на осень 2018 г. составила 250 га, процесс стал особенно заметен в 2017-2018 гг. Особенно активно усыхание происходит на наиболее пологих участках долин рек бассейна Шегультана, Тальтии и Мундыра.

На расстоянии в несколько километров от восточной границы заповедника «Денежкин Камень» расположены три карьера, разрабатываемые ООО «Святогор», в составе Уральской горно-металлургической компании (УГМК), с 2006 года. На Тарньерском руднике добыча была завершена в 2014 г., на Шемурском – в 2016 г., разработка Ново-Шемурского рудника продолжается по сей день. Добыча медных, медно-цинковых серно-колчеданных руд ведётся открытым способом. Отвалы с содержанием колчеданов активно участвуют в формировании водотоков рек Банная, Чёрная, Ольховка и Тамшёр. В свою очередь, реки Банная, Чёрная впадают в реку Тальтия, а Ольховка и Тамшёр – в реку Шегультан. Летом 2018 года в реках Шегультан и Тальтия были проведены отборы проб воды, результаты анализов показали превышение по меди в 1800 и 3500 раз, цинка в 350 и 300 раз соответственно. По берегам пострадавших рек формируются очаги усыхания лесной растительности.

Нами была проанализирована ежегодная (кроме 2012 и 2014 гг) серия снимков Landsat, Sentinel-2 и Planet.com, снятых в вегетационный период с 2006 по 2018 гг. В качестве вспомогательного источника информации мы привлекли данные университета Мэриленда (Hansen et al., 2013). Для каждого из временных срезов были последовательно отдешифрованы участки усыхающих и погибших насаждений.

Исследование показало, что уже с 2010 г. в районе Тарньерского рудника началось усыхание лесной растительности, надежно детектируемое на снимках Landsat. В 2015 г. детектируется масштабное усыхание по долинам рек Тамшер и Ольховка, а поскольку никаких мер не принимается, к 2018 г. процесс нарастает и охватывает все большую и большую территорию. Отработанный Тарньер вносит свой вклад в загрязнение Мундыра и Тальтии.

Согласно спутниковым данным, очаги массового усыхания приурочены к рекам, в которые попадают стоки с трех карьеров. На сопредельной территории сколько-нибудь значимых усыханий не обнаружено. Анализ приуроченности очагов усыхания к особенностям рельефа показал, что любая предпосылка к заболоченности способствует массовой гибели растительности. Нами показано, что около 80% очагов усыхания расположены на очень пологих и пологих склонах (уклон не более  $8^{\circ}$ ). Возможно, поэтому на р. Банная усыханий почти нет - западные склоны хребта Шемур имеют уклон более 35%, и поллютанты там не задерживаются. По данным ДЗЗ ничего нельзя сказать о ситуации в долине р. Черная, берущей начало в районе Шемурского хребта, поскольку она течет по территории гари 2010 г.

Анализ спутниковых данных достаточно надежно указывает, что массовое усыхание лесной растительности приурочено к долинам рек, в которые идет сток с медно-колчеданных отвалов Северного рудника, а также к самим отвалам. Необходимо принять срочные меры по недопущению дальнейшего загрязнения рек Ивдельского и Североуральского районов Свердловской области.

#### ЛИТЕРАТУРА

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.

### **ESTIMATION OF THE FOREST LOSS AS A RESULT OF THE NORTHERN COPPER-ZINC MINE DEVELOPMENT BY INTERPRETING OF 2009-2018 SERIES OF SATELLITE IMAGES**

N.A. VLADIMIROVA, A.E. KVASHNINA

DENEZHKIN KAMEN NATURAL PRESERVE

The work assesses the scale and the dynamics of the forest loss in the Northern Urals as the result of mining in the Northern copper-zinc mine, namely Tarniersky, Shemursky and Novo-Shemursky mines. According to satellite imagery, the damaged area in autumn 2018 was 250 hectares, the process became especially noticeable in 2017-2018. Loss was especially active on the gently sloping sections of the valleys of the rivers of the Shegultan, Taltiya and Mundryr basins.

## ОПЫТ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЛЕСОВ НА ПРИМЕРЕ ООО «КАРГОПОЛЬЕ» АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Г. ВОЛКОВ<sup>1</sup>, Е.М. РОМАНОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУВО СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

<sup>2</sup>ФГБУ СТАНЦИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ «АРХАНГЕЛЬСКАЯ»

Рассматривается возможность идентификации постагrogenных лесов на примере земель сельскохозяйственного назначения хозяйства ООО «Каргополье» Архангельской области (АО) используя актуальный снимок с Sentinel-2 и данные агрохимического обследования 1964 года. Показана методика поиска и дешифрирования полей, зарастающих древесной растительностью. Выявлено, что более 15% (890 га) площади предприятия представлены постагrogenными лесами.

После развала страны, а вместе с ней и сельского хозяйства в 90-е годы большая часть сельскохозяйственных угодий (АО) была заброшена и начала зарастать травянистой, а впоследствии и древесной растительностью. Исследованию трансформации таких земель посвящено немало работ (Люри и др., 2010; Изменение природной..., 2012). Непосредственно в Каргопольском районе этим занимались Л.В. Голубева и Е.Н. Наквасина (2014, 2017). Постагrogenные леса в значительной степени отличаются от своих естественных аналогов и, как правило, имеют более разреженный древостой, больший диаметр при том же возрасте и другую структуру древесины. Такие леса, несомненно, представляют интерес, при этом возникает вопрос их поиска и идентификации на обширной территории.

В качестве объекта исследования выбраны земли сельскохозяйственного назначения предприятия ООО «Каргополье» находящегося на юге Архангельской области. Территория исследования принадлежит северотаежному лесному району европейской части Российской Федерации (Перечень лесных районов..., 2014). Почвенный покров отличается от общего фона почв АО наличием карбонатной морены и выходом известняков. Район имеет длительную историю освоения земель, берущую начало в начале 12 века. Большая часть территории Каргополья в разное время была окультурена, но в настоящее время заброшена и не используется.

В основе методологии лежит сравнение данных об использовании сельскохозяйственных угодий в 1964-м году и информации о современном состоянии полей, получаемой из космического снимка среднего пространственного разрешения с широко используемого КА Sentinel 2. Лесная древесная растительность в настоящее время дешифрируется достаточно просто. В своей работе мы использовали метод «random forest» и каналы видимого и инфракрасного спектров изображения. Результат классификации сравнивали с контурами сельскохозяйственных угодий. В качестве геоинформационной системы использовали ArcGIS (ESRI), дешифрирование и статистическую обработку проводили в г (R CoreTeam).

В результате исследования выявлено, что большая часть угодий представляет собой залежь разного возраста забрасывания. Часть покрыта травянистой растительностью и вероятно используется под сенокос или пастбище. Более 15 % (890 га) занято древесной растительностью. Возраст древостоя около 30 лет, что совпадает с моментом массового забрасывания сельскохозяйственных полей. В породном составе преобладает ель или сосна, в зависимости от стены леса, расположенной рядом. Характер зарастания часто – куртинный. Имеются поля, которые заброшены лишь частично. Проявляется также общая тенденция увеличения заброшенных полей и развития на них постагрогенных лесов по мере удаления от населенного пункта Каргополь, вблизи которого они практически отсутствуют.

Таким образом, в исследовании показана возможность идентификации и учета постагрогенных лесов на примере ООО «Каргополье». Создана схема расположения постагрогенных лесов на изучаемой территории. Предлагается использовать данный подход на другие районы интереса.

Исследования поддержаны грантом РФФИ и Правительства Архангельской области № 17-44-290111. (руководитель проф. Е. Н. Наквасина)

#### ЛИТЕРАТУРА

*Голубева Л.В., Наквасина Е.Н.* Трансформация постагрогенных почв на карбонатных отложениях Архангельской области // 125 Вестник САФУ. Архангельск: Изд-во САФУ. 2014. Вып. 1. С. 32 – 40

*Голубева Л.В., Наквасина Е.Н.* Трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях: САФУ. – Архангельск: КИРА, 2017. – 152 с.

Изменение природной среды в XX веке. Отв. ред. В.М. Котляков, Д.И. Люри. М.: Молнет, 2012. – 404 с.

*Люри, Д.И., Горячкин С.В., Короваева Н.А., Нефёдова* и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 426 с.

Перечень лесных районов Российской Федерации // Приказ Рослесхоза от 09 марта. № 61, 2011. 15 с.

R CoreTeam (2017) R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

### **IMAGE CLASSIFICATION OF POST-AGROGENIC FOREST: A CASE STUDY ARKHANGELSK REGION, "KARGOPOLIE"**

A.G. VOLKOV<sup>1</sup>, E.M. ROMANOV<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>NORTH (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

<sup>2</sup>STATION OF AGROCHEMICAL SERVICE "ARKHANGELSKAYA"

The possibility of image classification of post-agrogenic forests is examined on the example of the lands of Kargopoliye Limited Liability Company in Arkhangelsk Region using a current image from Sentinel-2 and data of the agro-chemical examination of the year 1964. The methods of searching for and classification the fields overgrowing with wood vegetation are demonstrated. It has been found that more than 15% (890 ha) of the area of the enterprise consists of post-agrogenic forests.



## **ОЦЕНКА БИОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОСТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВОСТОЕВ НП «КУРШСКАЯ КОСА» ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ PLANETSCOPE**

Е.А. ГАВРИЛЮК, А.Д. НИКИТИНА, С.В. КНЯЗЕВА

ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

В докладе приводятся результаты пространственного моделирования отдельных биометрических характеристик лесных фитоценозов, таких как возраст, высота и диаметр стволов деревьев, а также показателя сложности морфоструктуры древесного полога, на основе разносезонных спутниковых данных сверхвысокого пространственного разрешения PlanetScope для территории НП «Куршская Коса».

В данной работе мы исследовали возможности пространственной оценки показателей среднего возраста, высоты и диаметра стволов деревьев, а также сложности морфоструктуры древесного полога для лесных фитоценозов Национального парка «Куршская коса» с использованием спутниковых изображений высокого пространственного разрешения PlanetScope (<https://www.planet.com/>). В качестве источника априорной информации о качественных и количественных характеристиках древостоев в масштабах всего парка использовалась ГБД, сформированная на основе материалов лесоустройства.

Мы использовали продукты PlanetScope уровня обработки 3А, представляющие собой ортотрансформированные геопривязанные изображения пространственным разрешением 3 метра, содержащие значения коэффициентов спектральной яркости на уровне земной поверхности в синем (455-515 нм), зеленом (500-590 нм), красном (590-670 нм) и ближнем инфракрасном (780-860 нм) каналах. Для тематического анализа из всех доступных данных мы выбрали три одновременные безоблачные сцены, датируемые 20 июля 2017 года, 7 апреля и 29 мая 2018 года. Для каждой из сцен на основе значений каналов видимого спектра были дополнительно рассчитаны показатели интенсивности (среднее между максимальным и минимальным значением в каналах) и первой из главных компонент (Gonzalez, Wintz, 1977), а также спектральный индекс NDVI (Rouse et al., 1974) на основе красного и ближнего инфракрасного каналов.

На основе спектральных признаков рассчитывались текстурные характеристики первого порядка в пределах лесоустроительных выделов парка – энергия, энтропия, медиана, разброс, дисперсия, коэффициенты асимметрии, эксцесса и вариации, значения которых использовались в качестве независимых переменных в процессе регрессионного анализа. Определения и формулы для расчета текстурных характеристик содержатся в дополнительных материалах к статье Parmar et al. 2014.

Мы использовали метод случайных лесов (Breiman, 2001) для анализа регрессионных взаимосвязей между спутниковыми данными и характеристиками древостоев, а также для

оценки информативности использованных переменных (Liaw, Wiener, 2002). Для корректировки характерного для случайных лесов эффекта завышения низких и занижения высоких значений при моделировании, мы использовали метод повторных медиан (Siegel, 1982). Анализ проводился как для отдельных дат, так и для всей временной серии изображений. Обучающая и контрольная выборки формировались из лесоустроительных выделов парка, занятых лесными культурами и насаждениями естественного происхождения II, III и IV бонитетов, полнотой не менее 0.3, средним диаметром стволов не менее 2 см и средней высотой не менее 3 метров. Выборки комплектовались в соотношении 1:1 случайным образом с предварительной стратификацией выделов по комплексным группам, выделенным на основе значений возраста, бонитета и полноты насаждений. Кроме того, формировались отдельные подвыборки из выделов с преобладанием сосны обыкновенной и ольхи черной, как наиболее распространенных древесных пород парка, для более детального анализа.

Наилучшие с точки зрения формальных показателей точности модели были получены для величин средней высоты древостоев (коэффициент детерминации  $R^2 = 0.42$  при средней квадратической ошибке  $RMSE = 3.5$  м) и сложности морфоструктуры древесного полога ( $R^2 = 0.41$  при  $RMSE = 1.2$  балла). Аналогичные показатели для среднего возраста и среднего диаметра стволов составили  $R^2 = 0.30$  при  $RMSE = 20.9$  года, и  $R^2 = 0.33$  при  $RMSE = 5.8$  см соответственно. Модели для древостоев с преобладанием сосны обыкновенной имеют стабильно более высокий коэффициент детерминации (от  $R^2 = 0.44$  для возраста до  $R^2 = 0.52$  для сложности морфоструктуры), чем модели для всех древостоев парка без подразделения по породной структуре. При этом абсолютные значения ошибок соответствующих моделей отличаются незначительно (менее чем на 1% от среднего по выборке). Модели для древостоев с преобладанием ольхи черной имеют стабильно низкие показатели коэффициента детерминации (от  $R^2 = 0.16$  для сложности морфоструктуры до  $R^2 = 0.33$  для диаметра стволов).

В целом, наилучшие результаты моделирования были получены при совместном использовании всех переменных за три доступные даты съемки. Изображение от 29 мая 2018 года при анализе одиночных сцен дало наилучшие результаты, причем для моделирования возраста сосновых насаждений они оказались даже лучше, чем для всей временной серии ( $R^2 = 0.44$  при  $RMSE = 20$  лет против  $R^2 = 0.41$  при  $RMSE = 21.1$ ). Наиболее информативной переменной при моделировании среднего возраста, высоты и диаметра стволов древостоев оказалась медиана значений индекса NDVI на майском изображении. Для сложности морфоструктуры полога наиболее информативным был коэффициент вариации красного канала за ту же дату.

С использованием полученных регрессионных моделей на основе спутниковых изображений PlanetScore были получены тематические продукты пространственным разрешени-

ем 3 метра, характеризующие лесные фитоценозы Национального парка «Куршская коса» по среднему возрасту, высоте и диаметру стволов деревьев, а также сложности морфоструктуры древесного полога.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 17-05-01129 «Оценка биометрических и морфоструктурных параметров лесных фитоценозов на основе детальной аэрокосмической съемки» (тематическая обработка данных) и ГЗ ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7 «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем» (подготовка исходных данных).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Breiman L.* Random forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. № 1. P. 5–32.
- Gonzalez R.C., Wintz P.* Digital Image Processing / Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1977. 431 p.
- Liaw A., Wiener M.* Classification and Regression by randomForest // *R News*. 2002. Vol. 2. № 3. P. 18–22.
- Parmar C., Rios Velazquez E., Leijenaar R., Jermoumi M., Carvalho S., Mak R.H., et al.* Robust Radiomics Feature Quantification Using Semiautomatic Volumetric Segmentation // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. №7. P. 102–107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102107>
- Rouse J.R., Haas J.S., Deering D.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // *Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., NASA*, 1974. Vol. 1. Sect. A. P. 309–317.
- Siegel A.F.* Robust Regression Using Repeated Medians // *Biometrika*. 1982. Vol. 69. №1. P. 242–244.

### ESTIMATION OF BIOMETRICAL AND MORPHOSTRUCTURAL FEATURES OF FOREST STANDS IN CURONIAN SPIT NATIONAL PARK BASED ON PLANETSCOPE SATELLITE DATA

E.A. GAVRILYUK, A.D. NIKITINA, S.V. KNYAZEVA

CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY RAS

The report represents the results of spatial modeling of biometrical features of forest stands, such as age, height and diameter of tree trunks, as well as the complexity of the tree canopy morphostructure, based on multi-seasonal PlanetScope high-resolution satellite imagery for the territory of the Curonian Spit National Park in the Kaliningrad Region of Russia. The best performance rates were obtained for the models of average height of tree stands ( $R^2 = 0.42$  and  $RMSE = 3.5$  m) and complexity of the tree canopy morphostructure ( $R^2 = 0.41$  with  $RMSE = 1.2$ ). The performance rates of the models for average age and diameter of the tree stems were significantly lower –  $R^2 = 0.30$  with  $RMSE = 20.9$  years, and  $R^2 = 0.33$  with  $RMSE = 5.8$  cm, respectively.

### КАРТИРОВАНИЕ ЗАБРОШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ LANDSAT И GOOGLE EARTH ENGINE

И. ГЛУШКОВ<sup>1</sup>, В.ЛУПАЧИК<sup>1</sup>, А. ПРИЩЕПОВ<sup>2</sup>, П. ПОТАПОВ<sup>3</sup>, М. ПУКИНСКАЯ<sup>4</sup>, А. ЯРОШЕНКО<sup>1</sup>, И. ЖУРАВЛЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГИС ЛАБОРАТОРИЯ «ГРИНПИС»,

<sup>2</sup> DEPARTMENT OF GEOSCIENCES AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT, UNIVERSITY OF COPENHAGEN,

<sup>3</sup> GLOBAL LAND ANALYSIS AND DISCOVERY (GLAD) LABORATORY IN THE DEPARTMENT OF GEOGRAPHICAL SCIENCES AT THE UNIVERSITY OF MARYLAND,

<sup>4</sup> БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.Л. КОМАРОВА РАН

В докладе приводится краткий обзор методики и результатов создания карты заброшенных земель для Восточной Европы, на основе космических снимков и автоматических методов обработки.

Парижское соглашение по предотвращению катастрофических климатических изменений и ограничению глобального потепления лимитом в 1.5 °С, является вызовом как для правительств отдельных государств, так и для всего общества в целом. В тоже время, рост глобального потребления приводит к расширению обрабатываемых земель, за счёт участков дикой природы и эта тенденция скорее всего сохранится и в будущем. Но этот процесс происходит неравномерно в разных частях света, в зависимости от рыночных механизмов и социально-экономической обстановки в конкретном регионе и наряду с увеличением площади обрабатываемых земель, наблюдается и обратный процесс – рост заброшенных земель. Заброшенные земли широко распространены по всему земному шару и имеют важное значение для биоразнообразия и биогеохимических циклов.

В лесной зоне, зарастающие молодым лесом заброшенные земли могут стать ценными территориями для восстановления и дефрагментации существующих лесов, депонирования углерода, существования ключевых видов животных и ценным ресурсом для ведения альтернативных способов устойчивого хозяйствования. Восточная Европа, включая европейскую часть бывшего Советского Союза, является наиболее интересным примером широкого распространения заброшенных земель после распада СССР. Ряд исследований и официальная статистика оценивают площадь распространения заброшенных земель от 20 до 40 млн. га на территории ЕЧСС (Lesiv et al., 2018). Однако до сих пор остаются под вопросом актуальное распределение заброшенных земель, а также сколько из этих земель заросли лесом после 1990 г.

В работе на основе различных доступных коллекций спутниковых снимков Landsat были проанализированы изменения нормализованного индекса водности (Normalized Difference Water Index (NDWI)), за последние три и шесть лет, а также была проведена оценка современного состояния заброшенных земель на 2017 год. Оценка сезонной динамики индекса NDWI была проведена на основе 16 дневных композитов Landsat TM/ETM+/8 (Hansen et al., 2013) и экспертного выбора порога для разделения обрабатываемых и заброшенных полей.

Методами пространственного анализа, реализованными в среде Google Earth Engine, был получен набор данных о пространственном распределении заброшенных земель с разрешением 30 м/пиксель. Построенная карта изменения землепользования включает девять классов: класс 1 относится к обрабатываемым землям (пашни и сенокосы), классы 2 и 3 относятся к недавно заброшенным полям, 3 и 6-10 лет, соответственно. Класс 4 относится к зарастающим молодым лесом полям за последние 20 и класс 5 за последние 30 лет, соответственно. Последние 4 класса включают в себя лесные земли (6), зарастающие вырубki, гари ветровалы (7) и потери лесного покрова по состоянию на 2016 год (8), болота с буфером в 100 м (9). Предварительные данные позволяют оценить площадь активно использующихся

полей порядка 60-65 млн. га, зарастающих или уже заросших лесом полей в 25-30 млн. га или 40% от общей площади заброшенных земель. В настоящее время для нескольких регионов Европейской части РФ, проводится валидация полученной классификации с использованием независимых реперных дынных с использованием подходов случайной выборки (random sampling). Присваивание классов для реперных данных производится с использованием доступных снимков сверхвысокого разрешения, а также данных полевых обследований.

Предварительные результаты показывают высокий потенциал для восстановления лесной растительности, особенно в Европейской части РФ, но к сожалению леса, выросшие на землях сельскохозяйственного назначения, в настоящее время не имеют легального статуса и правовые аспекты ведения лесного хозяйства в них не определены. Также в большинстве случаев эти земли не используются и для ведения сельского хозяйства в связи с отсутствием ресурсов и экономической выгоды для расчистки от вновь выросшего леса. Более перспективным представляется использование данных территорий для ведения устойчивого лесопользования, в т. ч. лесного фермерства, что позволит увеличить доступность древесины для лесной промышленности и нужд местного населения и при этом снизить или, в идеальном случае, свести к нулю воздействие на последние участки диких лесов, включая малонарушенные лесные территории (МЛТ). Карта заброшенных земель доступна для просмотра по ссылке: <https://peatfires.nextgis.com/resource/175/display?panel=info>.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. // "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." 2013. Science 342 (15 November): 850–53.*

*Lesiv M, Schepaschenko D, Moltchanova E, Bun R, Dürauer M, Prishchepov AV, Schierhorn F, Estel S. // Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. 2018. Scientific Data*

УДК 528.88 (470.341)

### **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОСЛЕПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА**

А.Е. ГНЕДЕНКО<sup>1</sup>, Н.Г. КАДЕТОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РАН

<sup>2</sup>МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Полосе широколиственно-хвойных лесов в Заволжье в следствие нерационального ведения лесного хозяйства в прошлом свойственны периодические катастрофические лесные пожары раз в 30-40 лет. В представленном исследовании на примере территории Керженского заповедника проведено картографирование участков, пройденных последним крупным пожаром 2010 года.

Материалы дистанционного зондирования широко используются в исследованиях лесов. Они дают большие возможности для обнаружения нарушений и мониторинга состояния благодаря наличию выбора материалов различного пространственного разрешения, охвата и

периодичности съемки. Один из важных аспектов их применения – дешифрирование лесных пожаров и восстановления лесов после них (Абушенко и др., 2000).

Керженский заповедник расположен в заволжской части Нижегородской области и приурочен к полосе широколиственно-хвойных лесов. Большая часть его территории находится в пределах песчаной зандровой равнины и характеризуется преобладанием сосновых лесов. Вместе с тем, на начало XXI в. сосняки заповедника на 90% были представлены молодняками и средневозрастными насаждениями, причем заметная часть их – культуры сосны. Отметим, что на части территории на месте сосновых лесов после пожаров сформировались так называемые «вересковые пустоши» – флористически бедные сообщества с абсолютным доминированием вереска обыкновенного при практически полном отсутствии древесного яруса. Берёзовые леса – до пожаров 2010 г. – были второй после сосняков по распространенности растительной формацией, занимающей около 30% площади лесов заповедника.

Нерациональное ведение лесного хозяйства в прошлом стало основной причиной периодического – через каждые 30-40 лет начиная с конца XIX века – возникновения катастрофических лесных пожаров. За последние 150 лет крупные лесные пожары четырежды охватывали территорию нынешнего заповедника - последний из них в 2010 г. затронул более половины территории заповедника (Кадетов и др., 2011). В 2011 г. были начаты работы по мониторингу хода восстановления растительности, завершением первого этапа которых стало создание карты растительности послепожарной территории заповедника.

В качестве материалов использовались геоботанические описания, составленные в период с 2014 по 2018 год, спутниковые снимки высокого (1 – 10) и среднего (10 – 30) пространственного разрешения, а также составленные до пожаров геоботаническая (Попов, 2010) и ландшафтная (Садков, Козлов, 2014) карты заповедника. Поскольку карта составлялась в крупном масштабе (1:25 000) и с высокой детальностью, то при дешифрировании спутниковых снимков особую важность имела плотность расположения точек описания и изученность составителями данной территории. Основным методом составления карты было визуальное дешифрирование контуров растительности. Поскольку масштаб составляемой карты весьма крупный (1:25 000), а подробность и количество подразделений легенды требовали детальности выделения контуров, то использование средств автоматизированного дешифрирования было необоснованно, поскольку результаты автоматизированной обработки снимка Landsat-8 не давали результата требуемой детальности. Для увеличения пространственного разрешения используемого многозонального снимка Landsat-8 была проведена операция паншарпенинга, то есть «слияния» многозонального и панхроматического изображения, в качестве которого использовался снимок Spot-5.

В результате составлена подробная карта, на которой нашли отражение 45 подразделений растительного покрова, согласующихся с результатами эколого-морфологической классификации и отображающих различный характер послепожарной динамики сообществ. В целом карта отображает состояние растительного покрова на 2016-2017 гг., являющиеся ключевыми для понимания хода его восстановления – в этот сезон произошёл массовый выпад сухостойного древостоя. Карта показывает достаточно чёткую приуроченность различных послепожарных сообществ к ландшафтными выделам.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Мазуров А.А., Минько Н.П.* Оценка площадей крупных лесных пожаров по данным AVHRR/NOAA // Исследования Земли из космоса. 2000. №2. С. 87-93.
- Кадетов Н.Г., Садков С.А., Урбанавичуте С.П., Кораблёва О.В.* Пожары 2010 г. в Керженском заповеднике: первые результаты обследования // Научные чтения памяти Н.Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка. Антропогенная трансформация природной среды. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. С. 94-99.
- Попов С.Ю.* Структура и динамика растительности Керженского заповедника // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». Т. 4. – Нижний Новгород, 2010. 96 с.
- Садков С.А., Козлов Д.Н.* Крупномасштабная ландшафтная карта Керженского заповедника // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». Т. 6. – Нижний Новгород, 2014. С. 8-54.

#### MAPPING OF THE POST-FIRE STATE OF FORESTS USING REMOTE SENSING DATA ON THE EXAMPLE OF KERZHENSKY

A.E. GNEDENKO<sup>1</sup>, N.G. KADETOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTE OF GEOGRAPHY RAS

<sup>2</sup>LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

Deciduous-coniferous forests in the Zavolzhie region is characterized by periodic catastrophic forest fires once in 30-40 years as a result of irrational forest management in the past. In the presented study on the example of the territory of the Kerzhensky natural reserve, the mapping of the sites covered by the last major fire of 2010 was carried out.

УДК 528.94

#### НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЯ ЛЕСОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

О.М. ГОММЕРШТАДТ<sup>1</sup>, Ю.И. ТИМОХИНА<sup>1</sup>, Е.И. ГОЛУБЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ ИМ. ЛОМОНОСОВА, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

В данной работе рассмотрены особенности наземных и дистанционных методов изучения структуры древостоя северных лесов на примере Кольского полуострова. В ходе исследования были выявлены основные особенности наземных методик, а также сформулированы содержания методик дистанционных исследований. В последствии были выявлены достоинства и недостатки обоих видов исследования.

Влияние динамики климата на лесной покров северной России вызывает комплексное изменение его характеристик. Климатические изменения могут привести к изменениям многих характеристик древостоя, таких как фенологическая динамика лесов, биомасса, тип растительности, пространственные характеристики границ леса, вертикальная и горизонтальная структуры. Использование современных данных дистанционного зондирования в ряде про-

странственных разрешений позволяет диагностировать изменения структуры леса и их производственных характеристик, в первую очередь годового производства и запасов фитомассы, что отражает ценности индексов растительности - в частности, NDVI, LAI и других. Мы разрабатываем методологию изучения производительности лесов в ответ на изменение климата, используя мультиплатформенные космические и аэросъемки, а также наземные исследования.

Представлены первые результаты моделирования древостоя для отдельных участков Центрального Кольского полуострова (Мурманская область), Северо-Западного федерального округа, которые будут использованы для оценки динамики северных лесов в контексте изменения климата и антропогенного воздействия. В ходе полевых исследований были проведены наземные измерения на участках 20x20 м (высота деревьев, диаметр ствола и кроны, плотность стволов, геоботанические описания), а также съемка с БПЛА от 50 до 100 м. В ходе работы с помощью данных с БПЛА были определены параметры древостоя – исходя из плотного облака точек и цифровой модели местности были определены высоты деревьев, горизонтальная структура крон, показатель сомкнутости. В последствии результаты, полученные в ходе наземных наблюдений, а также наблюдений с БПЛА, были сравнены. Основной упор делается на незагрязненную растительность в условиях малой или отсутствующей антропогенной нагрузки.

Данная работа выполнена в рамках гранта № 352397111. Грант финансируется Британским советом и Министерством образования и науки Российской Федерации (грант № 14.616.21.0099 от 27 февраля 2018 года, проект RFMEFI61618X0099).

## **FOREST STRUCTURE GROUND AND DISTANT RESEARCH METHODS ON KOLA PENINSULA**

O.M. GOMMERSHTADT<sup>1</sup>, J.I. TIMOHINA<sup>1</sup>, E.I.GOLUBEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University, Faculty of Geography

In this research the features of field and distant study methodologies of northern forests were considered. It was held on territory of Kola peninsula. During studies the main features of ground measurements were determined, and the distant measurement methodology was formed. Subsequently, the advantages and disadvantages of these research methods were designated.



## СОВМЕЩЕНИЕ ДАННЫХ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАСТБИЩНЫХ РЕСУРСОВ ЮЖНЫХ СУБАРКТИЧЕСКИХ ТУНДР

А.М. ГОРБУНОВА

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УРО РАН

Актуальность работы связана с необходимостью мониторинга ресурсного потенциала оленьих пастбищ подзоны южных субарктических тундр полуострова Ямал. В работе приводятся данные о взаимосвязи биомассы растительных сообществ и значений NDVI.

Оценка растительности с геоинформационных технологий проводится как за рубежом (Forbes et al. 2010), (Mengtian et al., 2017), так и в России. В России исследуется позеленение Арктики (Белоновская и др., 2015) (продвижение кустарников на север (Лавриенко, 2013), увеличение проективного покрытия трав), рост значений вегетационных индексов для Европейской части России, Западной и Центральной Сибири (Кренке, Тишков, 2015).

На Ямале, на исследуемых нами территориях, разрастание кустарников отсутствует, показатели вегетационных индексов за последние 20 лет и запасы фитомассы снижаются. Так же хорошо известно, что в настоящее время из-за хозяйственного и техногенного освоения севера, растительность тундры испытывает большое давление (Логинов и др., 2017). Любые антропогенные воздействия, включая выпас, сопровождающиеся нарушением растительного покрова, активизируют криогенные процессы, в том числе – дефляционные (Морозова, Эктова, 2012). Количественный аспект деградации оценить довольно трудно, т.к. информации недостаточно.

Целью работы было оценить запас и структуру надземной фитомассы (общей массы растений: живой и мертвой), биомассы (живой масса растений) (Воронов, 1973) и кормовых запасов (поедаемых северными оленями растений и их частей) растительных сообществ южных субарктических тундр полуострова Ямал и выявить связь полученных значений со значениями нормализованного вегетационного индекса растительности (NDVI).

Исследования проводились в районе научно-исследовательского стационара «Еркута» летом 2017 г., в бассейне реки Еркатаяха в подзоне кустарниковых тундр. Общая площадь полигона исследований составила 3085,69 га.

В ходе работы были исследованы деградированные участки южных субарктических тундр, выявленные с помощью анализа вегетационных индексов. Изучение растительности проводилось методами маршрутного и рекогносцировочного обследования и геоботанического описания площадок 10\*10 м (Быков, 1978). Запас надземной фитомассы определяли методом укусов (Лавренко, Корчагин, 1959) с трех площадок 25\*25 см на исследуемом

участке. Пробы были разобраны на фракции: злаки и осоки; разнотравье; кустарнички (по видам); кустарники (отдельно листья и древесина); мхи; лишайники. Масса определена в воздушно-сухом состоянии. Исследовано состояния растительных сообществ деградированных тундр (видовой состав, структура, запас фитомассы).

Для анализа данных дистанционного зондирования использовался спутниковый сервис ВЕГА (система ВЕГА-Science) как инструмент, позволяющий с наименьшими затратами анализировать информацию о состоянии растительного покрова (Лупян и др., 2014), полученную на основе спутниковых данных как в отдельных точках так и на исследуемом полигоне в целом.

В ходе работы было выявлено, что максимальное значение индекса NDVI с 2001 по 2018 год снижалось. Так же выявлена положительная связь между средним значением NDVI за сезон вегетации и биомассой растений: коэффициент корреляции  $r$ -Пирсона 0,54 ( $p = 0,0354$ ). В связи с этим мы можем сделать вывод, что биомасса растительности с 2001 по 2018 год тоже снижалась. Метод оценки оленьих пастбищ южных субарктических тундр с использованием данных NDVI является перспективным для использования его в практических целях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН и частично поддержана Комплексной программой УрО РАН (проект №18-9-4-22).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Белоновская Е.А., Тишков А.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Морозова О.В., Покровская И.В., Царевская Н.Г., Тертицкий Г.М. «Позеленение» российской Арктики и современные тренды изменения ее биоты // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. №3. С. 28-39.
- Быков Б.А. Геоботаника. Алма-Ата: Наука, 1978. 288 с.
- Воронов А.Г. Геоботаника. Учеб. пособие для ун-тов и пед. ин-тов. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: «Высш. школа», 1973. 384 с.
- Кренке А.Н., Тишков А.А. «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяйственного освоения // Арктика: экология и экономика. 2015. №4. С. 28-37.
- Лавренко Е.М., Корчагин А.А. Полевая геоботаника. Методическое руководство. Том 1. Издательство Академии Наук СССР, 1959. 444 с.
- Лавриненко И. А., Лавриенко О.В. Влияние климатических изменений на растительный покров островов Баренцева моря // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. №6. С.4-16.
- Логинов В.Г., Игнатьева М.Н., Балащенко В.В. Вред, причиненный ресурсам традиционного природопользования, и его экономическая оценка // Экономика региона. 2017. Т. 13, вып. 2. С. 396-409.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Толпин В.А., Жарко В.О., Крашенинникова Ю.С., Оксюкевич А.Ю. Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.
- Морозова Л.М., Эктова С.Н. Опустынивание тундровых экосистем полуострова Ямал // Материалы региональной научной конференции, посвященной 75-летию Ботанического сада УрО РАН и памяти члена-корреспондента РАН С.А. Мамаева. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. С. 110-114.
- Forbes B. C., Fauria M. M., Zetterberg P. Russian arctic warming and ‘greening’ are closely tracked by tundra shrub willows // Global Change Biology. 2010. P. 1542-1554.
- Mengtian H., Shilong P., Janssens I. A., Zaichun Z., Tao W., Donghai W., Ciaisi P., Myneni R. B., Peaucelle M., Shushi P., Yang H., Pecuelas J. Velocity of change in vegetation productivity over northern high latitudes // Nature Ecology & Evolution. 2017. № 1. P. 1649–1654.

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ БИОТОПОВ В ЛЕСАХ НП «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» ПО СПУТНИКОВЫМ И ТОПОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ

ЕРШОВ Д.В.<sup>1</sup>, ГАВРИЛЮК Е.А.<sup>1</sup>, ТИХОНОВА Е.В.<sup>1</sup>, БРАСЛАВСКАЯ Т.Ю.<sup>1</sup>, КОРОЛЕВА Н.В.<sup>1</sup>,  
БАВШИН И.М.<sup>2</sup>, ГРУММО Д.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

<sup>2</sup>ФГБУ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

<sup>3</sup>ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМ. В.Ф. КУПРЕВИЧА НАН БЕЛАРУСИ

Представлены результаты вероятностной оценки пространственного распределения бореально-неморальных черничных еловых таежных лесов, сосновых и елово-сосновых брусничных таежных лесов, дубово-липовых и подтаежных заболоченных ольховых лесов в НП «Смоленское Поозерье» с использованием спектральных и топографических характеристик местности. Точность полученных вероятностных оценок распространения биотопов по площади варьировала от 88 до 96%. Общая площадь, занимаемая четырьмя ключевыми биотопами, составила 14.6 тыс. га или около 10% площади парка. Совпадение пространственных оценок исследованных лесных биотопов с наземными данными геоботанических описаний находится в диапазоне от 30 до 95%.

В научной литературе и природоохранной практике используется несколько определенных понятия «*биотоп*» (biotope), которое подразумевает сочетание факторов физической среды с сообществом видов флоры и фауны. Близким ему по смыслу является широко употребляемое определение понятия «*местообитание*» (habitat) из Европейской национальной информационной системы классификации местообитаний – EUNIS (Davies et al., 2004): «Место, где растения или животные обычно живут, характеризуемое параметрами физической среды (топография, почвенные характеристики, климат, качество воды и т.д.) и видами растений и животных, которые там обитают». Ключевой биотоп обладает какими-либо уникальными (отличными от окружения) свойствами, благодаря которым он имеет повышенное значение для сохранения биоразнообразия на данной территории (Редкие биотопы Беларуси, 2013). Исследованию возможностей применения спутниковых данных в комбинации с другой тематической информацией для картографирования биотопов посвящено немало научных работ (Nagendra et al., 2013; Corbane et al., 2015). Целью исследования является вероятностная оценка распределения ключевых биотопов в лесах Национального парка (НП) «Смоленское Поозерье» на основе комбинации данных наземных обследований, серии спутниковых изображений и топографических характеристик местности. Для исследований выбраны четыре типа ключевых лесных биотопов по EUNIS: бореально-неморальные черничные еловые таежные леса, сосновые и елово-сосновые брусничные таежные леса, дубово-липовые леса на севере широколиственной и в подтаежной зоне, подтаежные заболоченные ольховые леса. Для пространственного моделирования биотопов в качестве входных переменных использовались два типа геопространственных данных: разносезонные мультиспектральные спутниковые изображения Sentinel-2 (11.04.18, 11.05.18, 26.05.18, 24.08.18, 23.09.17 и 18.11.18) и топографические показатели из цифровой модели рельефа и гидрографической

сети местности. Эталонные участки выбирались на основе пространственного пересечения сети лесоустроительных выделов с результатами автоматической сегментации спутниковых изображений Sentinel-2 алгоритмом FLS (Redding et al., 1999). Для анализа возможностей распознавания ключевых биотопов и получения вероятностных оценок их пространственного распределения по территории исследования использовался метод случайных лесов (Breiman, 2001). Оптимизация набора переменных выполнялась методом out-of-bag (OOB). Точность результатов вероятностной классификации оценивалась на основе показателя Бриера (Brier, 1950) и величины площади под ROC-кривой (Bradley, 1997), рассчитанных индивидуально для каждого ключевого биотопа и всех остальных, отнесенных к фоновым типам. Для сравнения результатов классификации с наземными геоботаническими описаниями вычислялись средние значения вероятностей отнесения пикселей к тому или иному биотопу в радиусе 15 метров от центра пробной площади (т.е. на площадке 3×3 пикселя), после чего весь участок относился к биотопу с максимальным значением средней вероятности.

В результате исследований были отобраны 30 переменных, использование которых позволяет достичь наилучших результатов классификации. Наиболее значимыми периодами съемки для распознавания биотопов оказались конец сентября и конец мая, наименее значимым было начало апреля. Из одиннадцати исходных топографических признаков только шесть самых информативных вошли в оптимизированный набор переменных для классификации биотопов – это координаты пикселей по осям X и Y, высота над уровнем моря, расстояние до ближайших водных объектов, топографический индекс влажности и крутизна склонов. В целом, можно отметить явное (но не абсолютное) преимущество в информативности спектральных признаков над топографическими признаками. Общая OOB-точность модели составила 93%, при величине OOB-каппы равной 0.91. Точность распознавания отдельных классов варьирует в пределах от 89 до 96%.

Согласно нашим оценкам, четыре рассматриваемых типа ключевых лесных биотопов суммарно занимают чуть менее 10% общей площади модельной территории (14.6 тыс. га), или немногим более 13% покрытой лесом площади.

Сравнение полученных вероятностных оценок с данными наземных обследований дало довольно противоречивые результаты. Наилучшая сходимость была получена для дубово-липовых лесов – лишь одна из десяти площадок была ошибочно отнесена к «прочим биотопам». В то же время, бореально-неморальные черничные еловые леса и сосновые брусничные леса продемонстрировали довольно низкие показатели сходимости (30 и 40% соответственно), главным образом, за счет перепутывания с близкими к ним по породному составу «прочими биотопами» – мелкотравными и мезотрофными заболоченными еловыми лесами, а также разнотравными и олиготрофными заболоченными сосновыми лесами. Заболоченные

ольховые леса, в свою очередь, были корректно распознаны лишь в половине случаев, тоже из-за перепутывания с «прочими биотопами» – мезофитными мелколиственными лесами.

В докладе приводится анализ результатов вероятностной оценки распределения ключевых лесных биотопов с помощью спектральных и топографических данных и возможных причин несоответствия с данными наземных обследований на территории НП «Смоленское Поозерье».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (18-54-00029), АААА-А18-118052400130-7

## ЛИТЕРАТУРА

*Пугачевский А.В., Вершицкая И.Н., Ермохин М.В. и др.* Редкие биотопы Беларуси. Минск: Альтиора-Живые краски, 2013. 236 с.

*Bradley A.P.* The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms // *Pattern Recognition*. 1997. Vol. 30. N 7. P. 1145–1159.

*Breiman L.* Random forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. N 1. P. 5–32.

*Brier G.W.* Verification of forecasts expressed in terms of probability // *Monthly Weather Review*. 1950. Vol. 78. N 1. P. 1–3.

*Corbane C., Lang S., Pipkins K., Alleaume S., Deshayes M., García Millán V.E., Strasser T., Vanden Borre J., Toon S., Förster M.* Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015. 37. 7–16.

*Davies C.E., Moss D., Hill M.O.* EUNIS Habitat Classification revised 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology, 2004. 307 p.

*Nagendra H., Lucas R., Honrado J. P., Jongman R. H., Tarantino C., Adamo M.* Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats // *Ecological Indicators*. 2013. V. 33, P. 45–59.

*Redding N.J., Crisp D.J., Tang D., Newsam G.N.* An efficient algorithm for Mumford-Shah segmentation and its application to SAR imagery // *Proc. Conf. “Digital Image Computing: Techniques & Applications” (DICTA-99)*, Perth, Australia, 1999. P. 35–41

## PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF KEY BIOTOPES IN THE FORESTS OF "SMOLENSKOE POOZERYE" NATIONAL PARK BASED ON SATELLITE AND TOPOGRAPHIC DATA

ERSHOV D.V.<sup>1</sup>, GAVRILYUK E.A.<sup>1</sup>, TIKHONOVA E.V.<sup>1</sup>, BRASLAVSKAYA T.YU.<sup>1</sup>, KOROLEVA N.V.<sup>1</sup>,  
BAVSHIN I.M.<sup>2</sup>, GRUMMO D.G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

<sup>2</sup> NATIONAL PARK «SMOLENSKOE POOZERYE»

<sup>3</sup> KUPREVICH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANIC OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF  
BELARUSIA

We present a probabilistic assessment of the spatial distribution of key forest biotopes in the “Smolenskoe Poozerye” National Park using spectral and topographic characteristics. The following four key biotopes: Boreo-nemoral bilberry western spruce taiga, *Vaccinium vitis-idaea* Pinus and *Picea*-Pinus taiga, Northern middle Russian oak-lime forests, Sub-boreal swamp alder forests. The accuracy of the obtained probabilistic estimates of the spatial distribution of key biotopes by the area varied from 88 to 96%. According to our results, the total area occupied by four key biotopes was 14.6 thousand hectares, or about 10% of the National Park area. Comparison of the obtained probabilistic estimates with the vegetation plot data gave rather inconsistent results – the degree of compliance varies from 30 to 95% depending on the biotope type.

## **ОЦЕНКА УЩЕРБА ДРЕВЕСНЫМ РЕСУРСАМ ЛЕСА ОТ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

С.Н. ЖАРИНОВ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

Выполнена оценка натуральных и стоимостных показателей ущерба древесным ресурсам леса на основе данных космических снимков высокого пространственного разрешения. Исследование проводилось в отношении территорий земель лесного фонда, покрытых лесом в Тверской области за период с 2007 по 2017 год. Полученные данные могут использоваться при планировании мероприятий по охране ресурсного потенциала лесов региона.

Современное развитие технологий создало возможность проведения оценок, характеризующих масштабы последствий пожаров для лесов. Их получение связано с использованием средств дистанционного зондирования Земли. Данную информацию составляют сведения, поступающие со спутников Terra, Aqua (прибор MODIS) и SPOT (прибор VEGETATION). Технология базируется на детектировании резкого уменьшения зеленой растительной массы на территориях, пройденных огнем, по сравнению с данными, полученными за ряд предшествующих лет (Fraser R. et al., 2002). Осуществление данного процесса реализовано в автоматическом режиме (Егоров и др., 2008).

Алгоритм детектирования площадей по данным приборов MODIS и VEGETATION, признаваемых гарями и горельниками, имеет погрешность измерения, что связано в первую очередь с пространственным разрешением исходной информации. Точность определения возрастает с увеличением площади повреждаемых участков (Применение..., 2014). Поскольку основной вклад в поврежденную огнем территорию делают крупные гари и горельники, измерения, выполняемые для всей территории Российской Федерации можно признать объективными. Однако для регионов, где детектируемые площади невелики, такие данные непригодны для анализа. Так для Тверской области, алгоритм автоматического детектирования гарей на основе «коротковолнового вегетационного индекса» (SWVI) по данным приборов MODIS и VEGETATION не дает объективную оценку негативного воздействия огня на лес в связи со значительной погрешностью данного метода относительно малых площадей (Жаринов и др., 2016).

Цель исследования – дать оценку ущерба, наносимого пожарами древесным ресурсам леса на основе космических снимков высокого пространственного разрешения.

Оценка осуществлялась в отношении территории земель лесного фонда в Тверской области, на которой за период с 2007 по 2017 год прибором MODIS по алгоритму MOD14 обнаружены пожары. На выбранные участки подбирались снимки высокого пространственного разрешения (Landsat 7,8 и Sentinel-2) с учетом того, чтобы их дата отстояла по времени от

момента окончания пожара не более чем на три месяца. Данные включали в себя сведения о 505 пожарах. Визуальный анализ снимков высокого пространственного разрешения показал, что в 159 случаях на соответствующих территориях распознаются изменения растительности, которые в последующем считались поврежденными огнем. По их контурам в ГИС создавались площадные векторные объекты, которые сопоставлялись с картой растительности (Ершов Д.В. и др., 2015) для классификации участков по наличию на них древесных насаждений и породного состава.

Определено, что общая площадь, занятая лесными насаждениями на землях лесного фонда в Тверской области, поврежденная огнем за период с 2007 по 2017 год составила 3604 га. Максимальные площади повреждений во временном аспекте фиксируются в 2010 и 2014 годах (1049 и 893 га соответственно), в пространственном – на территории Тверского и Кашинского лесничеств (1244 и 454 га соответственно), что сопоставимо с пространственно-временной лесопирологической характеристикой исследуемой территории (Жаринов и др., 2017).

Для установления объема сгоревшей и в дальнейшем непригодной для использования древесины применялась таблица зависимости потерь ее запаса от вида и интенсивности пожара, а также состава и возраста насаждений (Приказ..., 1998). Считалось, что на выявленных площадях пожары были низовыми устойчивыми средней интенсивности, а диаметр повреждаемых деревьев 25-32 см. Сведения о средних запасах древесины, а так же его распределение по породам в каждом лесничестве принимались по данным лесохозяйственных регламентов лесничеств Тверской области.

В результате определено, что общий объем утраченной древесины за исследуемый период составил 250,4 тыс. м<sup>3</sup>, из которого 53% приходится на 2010 и 2014 годы. Максимальные потери древесины понесли насаждения с преобладанием березы (90,1 тыс. м<sup>3</sup>) и ели (81,6 тыс. м<sup>3</sup>), что связано с их наименьшей пирогенной устойчивостью и преобладанием на поврежденных площадях.

Рассчитано, что в стоимостном выражении ущерб составил 26 млн. руб., из которого на долю Тверского и Кашинского лесничеств пришлось около 50%. В вычислениях использовались ставки платы для деловой древесины средней крупности по 1 разряду такс (Постановление..., 2007).

Полученные результаты можно использовать при совершенствовании системы охраны лесов от пожаров в Тверской области, а также для проведения оценки эффективности ее деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

*Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В.* Сравнительный анализ результатов детектирования пройденных огнем площадей территории Северной Евразии по данным SPOT-Vegetation и Terra-MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Выпуск 5. Т. II. С. 292-296.

*Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Карпухина Д.А., Ковганко К.А.* Новая карта растительности центральной части Европейской России по спутниковым данным высокой детальности // Доклады академии наук. 2015. Т. 464. № 5. С. 639-641.

*Жаринов С.Н., Голубева Е.И.* Оценка достоверности выявления гарей дистанционными методами (на примере Тверской области) // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) – М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 108-111.

*Жаринов С.Н., Голубева Е.И.* Экономическая оценка последствий лесных пожаров (на примере Тверской области) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 3. С. 61-69.

Постановление Правительства Российской Федерации от 22.05.2007 № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».

Приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 03.04.1998 № 53 «Об утверждении инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами».

Применение информационной системы дистанционного мониторинга ИСДМ-Рослесхоз для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации: Руководство пользователя. Пушкино (МО). 2014. 388 с.

*Fraser R.H. and Li Z.* Estimating fire-related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION // Remote Sensing of Environment. 2002. V.82. P. 95-110.

## ASSESSMENT OF DAMAGE TO WOOD RESOURCES OF FOREST BECOS OF FIRES ON THE TERRITORY OF THE TVER REGION ACCORDING TO THE SATELLITE DATA

S.N. ZHARINOV

MOSCOW STATE UNIVERSITY

Made estimation of natural and cost indicators of damage to wood forest resources on the basis of high spatial resolution satellite images. The study was conducted in relation to the territories of forest lands covered with wood in the Tver region for the period from 2007 to 2017. The obtained data can be used in planning activities for the protection of the resource potential of forests in the region.

## СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ВРЕМЕННЫХ СЕРИЙ СПУТНИКОВЫХ КАРТ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ MODIS И ТАБЛИЦ ХОДА РОСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

В.О. ЖАРКО, С.А. БАРТАЛЕВ

ФГБУН ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

В работе предложена методика оценки продуктивности лесного покрова на основе совместного анализа данных разработанных в ИКИ РАН многолетних временных серий карт запаса стволовой древесины и преобладающих древесных пород и таблиц хода роста насаждений. В рамках предлагаемой методики многолетние карты запасов используются для расчета средних значений запаса древесины и его прироста за известный период. Полученные значения сопоставляются с данными таблиц хода роста соответствующей преобладающей породы для оценки класса бонитета насаждений. Информация о преобладающей породе и величине запаса древесины в известном году (по данным сформированных карт лесов) и классе бонитете (на основе предложенной методики) потенциально позволяет оценить и другие характеристики лесного покрова с использованием таблиц хода роста насаждений.

В ИКИ РАН разработаны методы оценки запаса стволовой древесины и преобладающих древесных пород лесного покрова на основе спутниковых данных дистанционного зон-



дирования земли (ДЗЗ) в оптическом диапазоне спектра. Разработанные методы были использованы для создания многолетних временных серий карт лесного покрова по данным спутниковых наблюдений прибором MODIS, характеризующих пространственное распределение и динамику запасов стволовой древесины и преобладающих древесных пород в лесах России с разрешением 250 м за более чем 15-летний период (Барталев и др., 2016). В настоящей работе предложена методика оценки продуктивности лесного покрова на основе совместного анализа данных созданных карт лесного покрова и таблиц хода роста насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (Швиденко и др., 2008).

В рамках предлагаемой методики временные ряды ежегодных оценок запаса древесины по данным сформированных карт используются для расчета средних значений запаса и его прироста за период, в течение которого рассматриваемый участок лесного покрова не подвергался воздействию деструктивных факторов, таких как, например, пожары или вырубки. Полученные значения сопоставляются с данными таблиц хода роста преобладающей породы, определенной в соответствии с разработанной в ИКИ РАН картой. Лесной покров относится к тому классу бонитета, для которого прирост запаса (согласно таблицам хода роста) при достижении рассчитанного по данным разработанных карт среднего значения запаса наилучшим образом соответствует рассчитанному по спутниковым данным среднему приросту.

Полученная таким образом информация о классе бонитета насаждений совместно с данными о преобладающей древесной породе и величине запаса древесины в известном году (на основе разработанных карт) позволяет также оценить возраст лесного покрова, что, в свою очередь, обеспечивает потенциальную возможность оценки и других характеристик лесного покрова, связанных с его продуктивностью, с использованием таблиц (моделей) хода роста насаждений.

Работа выполнена с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лузян и др., 2015).

## ЛИТЕРАТУРА

*Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лузян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

*Лузян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.

*Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С., Булуй Ю.И.* Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. М., 2008. 886 с.

# JOINT ANALYSIS OF MODIS SATELLITE DATA-BASED FOREST MAPS' TIME SERIES AND FOREST GROWTH MODELS FOR FOREST PRODUCTIVITY EVALUATION

V. O. ZHARKO, S. A. BARTALEV

SPACE RESEARCH INSTITUTE RAS

A method for forest productivity evaluation based on joint analysis of growing stock volume (GSV) and dominant tree species maps' time series, developed at the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, and forest growth models is proposed in this study. Multi-year GSV maps are used to estimate mean GSV and mean GSV growth for a specific period. Obtained values are compared with the forest growth models data for a corresponding dominant tree species to estimate forest productivity class. Data on dominant tree species and GSV for a known year (based on developed maps) and productivity class (based on the proposed method) can potentially be utilized to estimate other forest characteristics using forest growth models.

УДК 629.7+502

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОСМОТРА МЕСТ РУБОК

А.В. ИВАНОВ<sup>1</sup>, А.Г. КАБАНЕЦ<sup>2</sup>, А.Ж. ПУРЕХОВСКИЙ<sup>2</sup>, А.Е. ШЕЛЕМОТОВ<sup>2</sup>,  
В.А. ВОЙКО<sup>1</sup>, Р.А. РУСАКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО ПРИМОРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

<sup>2</sup>ВСЕМИРНЫЙ ФОНД ДИКОЙ ПРИРОДЫ (WWF РОССИИ)

Для построения ортофотоплана места рубки лесного насаждения использован квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro и система программ и приложений ГИС. Выполнен облет участка пойменного леса в южной части Приморского края на площади 2.3 га. На фотоплане фиксировались брошенные фрагменты стволовой ликвидной древесины и валеж. Общий запас приземленных фрагментов деревьев составил 23.0 м<sup>3</sup>, из которых 17.1 м<sup>3</sup> – древесина, брошенная после рубки.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) предоставляют снимки местности с небольшим размером сцены, но с высоким разрешением. В период безлистного состояния деревьев в местах рубок лесных насаждений на снимках с БПЛА могут быть хорошо различимы пни и крупные порубочные остатки. Поскольку снимки являются географически привязанным, а параметры полета известными, то есть возможность по полученным фотоснимкам определять линейные размеры пней и порубочных остатков. В лесном хозяйстве России рубка лесного насаждения завершается подписанием акта осмотра лесосеки, который составляет представитель органов контроля лесопользования – лесничий. При этом необходимо устанавливать соответствие задекларированного и фактически изъятого объема заготовленной (срубленной) древесины. Это очень трудоемкая работа, особенно при больших (10 га и более) площадях лесосек и в период с высоким снежным покровом. Часто в лесохозяйственной практике осмотр мест рубок проводится без фактического определения объемов изъятой и брошенной в лесу древесины, что предоставляет почву для разного рода нарушений законного процесса лесозэксплуатации.

Применение квадрокоптеров для освидетельствования мест рубок может сделать процедуру осмотра прозрачной и объективной. Ортофотоплан лесосеки может быть использован

для определения объемов срубленной и брошенной древесины любыми заинтересованными лицами – арендатор, лесничий, инспектор, полицейский, прокурор. И, по нашему мнению, наличие ортофотоплана лесосеки в высоком разрешении само по себе будет дисциплинировать арендаторов и лесничих и способствовать более качественному выполнению ими своих обязанностей.

Цель настоящего исследования – оценка возможности применения БПЛА для определения запаса брошенной на лесосеке древесины.

Объект исследования – лесосека, расположенная на территории Уссурийского лесничества Приморского края, в пойме р. Барсуковки. Насаждение представляет собой ясеново-ильмовый лес с доминированием ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.).

Поскольку в настоящее время отсутствует единое приложение для БПЛА, адаптированное для задач мониторинга лесопользования, в настоящей работе использовался каскад программного обеспечения. Первоначально в информационной системе оперативного мониторинга лесоизменений "КЕДР" – создавалась миссия полета квадрокоптера. В информационной системе «Диспетчерский центр» обозначалась площадь облета, высота полета во время съемки, параметры безопасности. Сформированный трек в формате csv сохранялся на жестком диске. Затем файл миссии полета импортировали в специализированное приложение для управления БПЛА Litchi на базе Android. Приложение Litchi под тем же аккаунтом устанавливается на устройство, с которого осуществляется управление квадрокоптером (планшет), и, таким образом, сформированная миссия полета через облачное хранилище файлов становится доступной для БПЛА. Полет выполняется в автоматическом режиме, съемка с частотой 1 кадр в 3 с. В настоящем эксперименте была задана высота полета 75 м. Полученные снимки с помощью программного обеспечения Agisoft PhotoScan соединялись в единый ортофотоплан местности, который экспортировался в виде файла geotif. Дальнейшие линейные измерения выполняли вручную в ArcMap. Объем брошенных фрагментов деревьев и валежа вычисляли по сложной формуле таксации срубленных деревьев, когда ствол делится на 2-метровые отрезки и объем каждого из них вычисляется по формуле усеченного конуса. Брошенная в ходе рубки насаждения древесина на фотоплане визуально хорошо отличается от валежа (выпавшего естественно) наличием реза в комлевой части.

В результате вычислений получено, что общий объем приземленных стволов деревьев на лесосеке составил 21.0 м<sup>3</sup>, из которых 5.9 м<sup>3</sup> приходится на валеж, остальное - оставленная после рубки ликвидная древесина.

Таким образом, выполненная работа показала возможность использования БПЛА для грубой оценки объема древесины, оставленной на лесосеке, что может значительно облегчить процедуры осмотра мест рубок специалистам лесного хозяйства. По действующему за-

конодательству само по себе оставление срубленных деревьев и их частей на лесосеке является нарушением. В настоящее время в институте лесного и лесопаркового хозяйства Приморской государственной сельскохозяйственной академии успешно проходят тестирования БПЛА для оценки изъятых в ходе рубки объема древесины по пням.

УДК 630

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ NDVI ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ И ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ НАСАЖДЕНИЙ К НАПАДЕНИЮ ФИЛЛОФАГОВ**

Ю.Д. ИВАНОВА<sup>1</sup>, А.В. КОВАЛЕВ<sup>2</sup>, В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИНСТИТУТ БИОФИЗИКИ ФИЦ КНЦ СО РАН

<sup>2</sup>ФИЦ КНЦ СО РАН

<sup>3</sup>ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ.В.Н.СУКАЧЕВА ФИЦ КНЦ СО РАН

Индивидуальная чувствительность и скорость реакции разных растений на погодные изменения, и нападение вредителей определяют специфическую для каждого растительного сообщества динамику фенологических последовательностей. В связи с этим целью работы является развитие методов классификации типов растительных сообществ и их состояния на основе дискриминантного анализа двух маркеров фенологической динамики, рассчитанных по многолетним данным NDVI.

Привлекательность идеи использования дистанционных методов для описания растительности связана с возможностью дешевого и экспрессного сбора информации о состоянии растительности в пределах всего земного шара. Однако при этом возникают проблемы, связанные с тем, что показатели NDVI достаточно сильно изменяются как в течение одного сезона, так и в различные сезоны вследствие значительного влияния погодных факторов на текущие значения показателей, полученных в ходе дистанционных измерений. Объектами исследования послужили растительные сообщества, произрастающие на пяти выбранных для исследования тестовых площадках (окрестность г. Красноярск и Ширинский район, Хакасия). На каждой пробной площади рассматривались несколько пикселей MODIS/Aqua (продукт MYD09Q1) для получения значений NDVI (2003 - 2017 гг.) и проведения дискриминантного анализа для классификации находящихся на них растительных сообществ.

Для классификации растительных сообществ предложено использовать два «интегральных» показателя фенологической динамики растительных сообществ  $NDVIF_{max}$  и  $dNDVIF/dn$  (Суховольский и др., 2017). Использование этих фенологических маркеров позволяет уменьшить число переменных, используемых для анализа и классификации. Эти маркеры фенологической динамики растительных сообществ рассматриваются в качестве определяющих характеристик отдельного растительного сообщества. Для того что бы

протестировать возможность использования этих показателей рассматривались «облака» полученных данных для пробных площадей и с помощью метода линейного дискриминантного анализа разделялись «облака» для различных сообществ. При использовании этого подхода качество классификации изменялось от 94% (для разделения лесных и степных сообществ) до 68% (при попытках разделить луговые и лесные сообщества). Таким образом, предложенные в работе показатели, позволяющие описать сезонную динамику NDVI, дают возможность «свернуть» временные ряды сезонной динамики NDVI до двух параметров, характеризующихся ограниченной дисперсией.

Для оценки состояния древостоев при нападении насекомых вредителей рассматривались участки пихтовых насаждений в очаге массового размножения Сибирского шелкопряда на территории Енисейского и Северо-Енисейского районов Красноярского края. Данная вспышка массового размножения реализовалась в 2015-2017 годах. По состоянию на 2018 год были выделены две группы по десять участков: поврежденные – древостой подвергся существенному объеданию и не поврежденные. Для каждого участка были получены многолетние данные значений NDVI за 2003-2017 гг. Далее, согласно предложенной методике были рассчитаны фенологические маркеры  $NDVI_{max}$  и  $dNDVI/dn$ . Для выделенных временных периодов были получены достоверные различия (дискриминация 60-70%) этих маркеров для контрольных и поврежденных участков. Расчеты показали, что годовые показатели фенологических маркеров пихтовых насаждений на основе спутниковых данных отображают не только процесс объедания насаждений на максимуме вспышки, когда повреждения видны невооруженным взглядом, но и предварительное ослабление деревьев. Данный результат позволяет использовать спутниковые измерения для мониторинга уязвимых для нападения вредителей древостоев.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41012.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д., Овчинникова Т.М., Ботвич И.Ю.* Моделирование фенодинамики листопадных древесных пород // Лесоведение. 2017. №4. С. 293–302.

#### **USING NDVI DYNAMICS TO CLASSIFY TYPES OF PLANT COMMUNITIES AND ASSESS FOREST RESISTANCE TO PHYLLOPHAGOUS ATTACKS**

Y.D. IVANOVA<sup>1</sup>, A.V. KOVALEV<sup>2</sup>, V.G. SOUKHOVOLSKY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTE OF BIOPHYSICS FRC KSC SB RAS

<sup>2</sup>KRASNOYARSK SCIENTIFIC CENTER SB RAS

<sup>3</sup>SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST FRC KSC SB RAS

The individual sensitivity and speed of reaction of different plants to weather changes, and the attack of pests determine the dynamics of phenological sequences specific for each plant community. In this regard, the aim of the work is the

development of methods for classifying types of plant communities and their condition based on discriminant analysis of two phenological dynamics markers calculated according to NDVI data.

УДК 630.4

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ НА УСЫХАНИЕ ЕЛЬНИКОВ ПРИКАМЬЯ**

Л.А. ИВАНЧИНА<sup>1</sup>, С.В. ЗАЛЕСОВ<sup>1</sup>, Д.В. КАЛУГИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «ИЖЕВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

С помощью снимков определена степень усыхания древостоя. Установлено, что еловые древостои в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края имеют различную степень усыхания: диффузно-рассеянную, куртинно-групповую и сплошную. При этом доминирует куртинно-групповая степень усыхания. С ухудшением условий местопроизрастания степень усыхания еловых древостоев усиливается.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является актуальным направлением развития методов сбора геопространственных данных. В лесном хозяйстве спектр использования квадрокоптеров разнообразен: они применяются в картографии лесов (Осипенко и др., 2017), при обнаружении лесных пожаров (Torresan et al., 2017). БПЛА можно использовать и при обследовании санитарного состояния лесных насаждений.

В последние десятилетия в нашей стране и за её пределами наблюдается усыхание еловых насаждений (Маслов, 2010). На усыхание еловых древостоев огромное влияние оказывают условия местопроизрастания. В частности, установлено, что в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края устойчивость еловых насаждений возрастает по мере увеличения влажности и плодородия почв (Иванчина, Залесов, 2017).

Цель исследований – установление влияния условий местопроизрастания на степень усыхания еловых древостоев в условиях зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов с помощью БПЛА.

Объектом исследований служили насаждения Осинского лесничества, расположенного в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края.

Материалы съемки увязывались с данными лесоустройства с последующим установлением номера лесных выделов, их площади и типов условий местопроизрастания. Для каждого выдела с помощью снимков определялась степень усыхания древостоя по классификации В.П. Цуранова (1973): диффузно-рассеянное – единичные сухие деревья и небольшие их группы по 3-5 деревьев, куртинно-групповое – группы сухих деревьев до 10-20 штук и небольшие участки сплошного сухостоя и сплошное – значительная площадь сухостоя.

В результате обследовано 37 лесных выделов общей площадью 450,3 га. При этом охвачено три типа условий местопроизрастания, которые наиболее распространены в пределах Осинского лесничества. Согласно результатам исследований, степень усыхания еловых

древостоев во многом зависит от типа условий местопроизрастания. На обследованном участке в целом доминирует куртинно-групповое усыхание ели.

В худших условиях местопроизрастания ( $B_2$ ), распространенных на данной территории, встречаются все типы усыхания еловых древостоев. При этом очаги диффузно-рассеянного характера усыхания занимают всего 8,1% от общей площади насаждений, произрастающих в указанных условиях. Значительно распространены очаги куртинно-группового и сплошного усыхания ели (46,21% и 45,73% соответственно).

В относительно плодородных свежих условиях местопроизрастания ( $C_2$ ) сплошной характер усыхания ели отсутствует. Диффузно-рассеянные и куртинно-групповые очаги усыхания занимают примерно одинаковую площадь.

В наилучших условиях произрастания, характерных для указанной территории ( $C_3$ ), встречается исключительно диффузно-рассеянный тип усыхания ели.

#### Выводы

1. Снимки, сделанные с квадрокоптера, можно использовать для изучения степени усыхания еловых древостоев.

2. Еловые древостои в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Пермского края имеют различную степень усыхания древостоев: диффузно-рассеянную, куртинно-групповую и сплошную. При этом доминирует куртинно-групповая степень усыхания.

3. С ухудшением условий местопроизрастания степень усыхания еловых древостоев усиливается.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Иванчина Л.А., Залесов С.В.* Влияние условий местопроизрастания на усыхание еловых древостоев // Известия ОГАУ. 2017. № 2 (64). С. 56-60.

*Маслов А.Д.* Короед-типограф и усыхание еловых лесов. М.: ВНИИЛМ, 2010. 138 с.

*Осипенко А.Е., Коукал Я., Панин И.А., Иванчина Л.А., Залесов С.В.* Опыт применения квадрокоптера для создания трехмерной модели лесных насаждений // Леса России и хозяйство в них. 2017. № 4 (63). С. 16-22.

*Цуранов В.П.* Типы усыхания ельников в связи с прогнозированием этого явления // Вопросы повышения продуктивности лесов Дальнего Востока. Благовещенск, 1973. С. 26-28.

*Torresan C., Berton A., Carotenuto F., Di Gennaro S.F., Gioli B., Matese A., Miglietta F., Vagnoli C., Zaldei A., Wallace L.* Forestry applications of UAVs in Europe: a review // International Journal of Remote Sensing. 2017. Vol. 38. P. 2427-2447.

# USE OF A QUADROCOPTER TO STUDY THE IMPACT OF THE FOREST GROWTH CONDITIONS ON THE DRYING OF THE SPRUCE FOREST OF THE PRISKAMYE

L.A. IVANCHINA<sup>1</sup>, S.V. ZALESOV<sup>1</sup>, D.V. KALUGINA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Forest Engineering University

<sup>2</sup>Izhevsk State Agricultural Academy

The degree of drying of the stand was determined with the images. It has been established that spruce stands in the zone of coniferous-broadleaved (mixed) forests of the Perm Region have a different degree of drying: diffuse interspersed, group and continuous. Group degree of drying dominates. The degree of spruce stands drying increases with the deterioration of the forest growth conditions.

УДК 630\*182.21

## АНАЛИЗ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ НА РАЗНОВРЕМЕННЫХ ВЫРУБКАХ И ГАРЯХ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ NDVI, SWVI, NBR

КАРПОВ А. А.<sup>1,2</sup>, ВОРОНИН В.В.<sup>2</sup>, ПИРЦХАЛАВА Н. Р.<sup>1</sup>

1 СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА  
2 ФБУ СЕВЕРНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСНОГО

В докладе приводится анализ динамики спектральных индексов NDVI, SWVI и NBR по спутниковым снимкам Landsat для разновременных вырубок и гарей, находящихся на территории Архангельской области. Данный анализ важен для создания методики перевода нелесопокрытых площадей земель лесного фонда в лесопокрытые площади. Для анализа были использованы шестьдесят объектов лесовосстановления, на которых были ранее заложены пробные площади. Результатом анализа стало нахождение порога для выполнения перевода земель в лесопокрытую площадь, используя спектральные индексы.

Основой для данной работы стали полевые исследования, проведенные в 2015, 2016 и 2017 году в Архангельском, Емецком, Онежском, Обозерском, Северодвинском, Холмогорском, Коношском, Котласком и Красноборском лесничествах Архангельской области. В ходе полевых работ были заложены пробные площади на 55 вырубках и 3 гарях. Объекты исследования имели площадь от 3,5 до 80 гектар и были датированы с 1998 по 2013 год.

Пробная площадь имеет форму квадрата со сторонами равными 20 метрам. Внутри пробной площади ведется ручной пересчет количества древесного подроста, с разделением подроста по породам и группам высот. Место для закладки пробных площадей выбирается таким образом, чтобы отражать средние параметры лесовосстановления на данном участке. На каждые 10 гектар объекта, переводимого в лесопокрытую площадь, закладывается 1 пробная площадь

Первой задачей было создание пространственного слоя вырубок и гарей, на которых происходила закладка пробных площадей. Выделение контуров производилось по снимкам Landsat 8, спутниковым снимкам сервисов Google и Yandex и слою уменьшения лесопокрытой площади (Potapov et al. 2015, Prishchepov et al. 2013).



Второй задачей являлся поиск безоблачных снимков и расчет спектральных индексов NDVI, SWVI и NBR для участка вырубki или гари (Ершов и др. 2017). Данный алгоритм был реализован на интернет платформе Google Earth Engine. Алгоритм состоит из следующих шагов: поиск снимков, фильтрация снимков по временным критериям и критериям облачности, исключение снимков, где объект закрыт облачностью, расчет спектральных индексов.

Результаты анализа индексов SWVI и NBR можно разделить на три группы:

1. объекты, не переведённые в лесопокрытую площадь;
2. объекты, переведенные в лесопокрытую площадь, имеющие процент восстановления индекса менее 80;
3. объекты, переведенные в лесопокрытую площадь, имеющие процент восстановления индекса более 80.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Potapov P. V., Turubanova S. A., Tyukavina, A., Krylov, A. M., McCarty, J. L., Radeloff, V. C., & Hansen, M. C. (2015). Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive // *Remote Sensing of Environment*, 159, 28–43.

2. Prishchepov, A. V., Müller, D., Dubinin, M., Baumann, M., & Radeloff, V. C. (2013). Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia // *Land Use Policy*, 30(1), 873–884.

3. Ершов, Д. В., Бурцева, В. С., Гаврилюк, Е. А., Королева, Н. В., & Алейников, А. А. (2017). Диагностика современного сукцессионного состояния лесных экосистем Печоро-Илычского заповедника по спутниковым тематическим продуктам // «Лесоведение». Лесоведение, (5), 3–15.

### **MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF REFORESTATION ON CUTTING AND BURNED AREAS IN THE ARKHANGELSK REGION USING THE SPECTRAL INDEXES NDVI, SWVI, NBR**

KARPOV A. A.<sup>1,2</sup>, VORONIN V. V.<sup>2</sup>, PIRTSKHALAVA N. R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER LOMONOSOV

<sup>2</sup> NORTHERN RESEARCH INSTITUTE OF FORESTRY

The report provides multi-temporal analysis of the dynamics of spectral indices NDVI, SWVI and NBR using satellite imagery Landsat for the cutting and burned areas, which located on the territory of the Arkhangelsk region. This analysis is important for the development of methods for transferring non-forest to forest cover lands. For the analysis, sixty reforestation objects were used, on which trial areas were previously laid. The result of the analysis was to find the threshold for the transfer of land to forest cover land using spectral indices.

УДК 528.88

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДДЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В МЕЖГОРНЫХ КОТЛОВИНАХ КРЫМА**

Е.С. КАШИРИНА<sup>1</sup>, Е.И. ГОЛУБЕВА<sup>2</sup>, А.А. НОВИКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФИЛИАЛ МГУ В Г. СЕВАСТОПОЛЕ

<sup>2</sup> МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

В докладе представлены результаты исследования процессов лесовосстановления в межгорных котловинах на примере юго-западной части Крымских гор. Для оценки интенсивности процессов разрастания сельскохозяйственных угодий рассчитан NDVI и запасы наземной фитомассы, выполнены геоботанические описания. Уве-

личение NDVI с 2001 по 2017 гг. составило 0,16-0,29. Формируется низкопродуктивное травяное сообщество с преобладанием культурных видов (яблоня, слива и др.) в древесном ярусе.

Сельскохозяйственная деятельность человека приводит к значительной трансформации растительности и формированию агроценозов. Однако, при снижении антропогенной нагрузки сельскохозяйственные угодья зарастают, в том числе кустарниками и деревьями – происходит восстановление лесов. Активные процессы лесовосстановления после прекращения сельскохозяйственного использования наблюдают в межгорных котловинах (Грачева и др., 2017).

В качестве объектов исследования выбраны межгорные котловины Крымских гор – Байдарская и Варнутская, расположенные в юго-западной части Крымского полуострова, между внутренней и главной грядой горной системы. Обе долины длительное время использовались для выпаса скота и пашни. Ключевые участки изучения зарастаний сельскохозяйственных угодий в Байдарской (участки 1 - 4) и Варнутской (участки 5 - 13) долинах расположены возле границ леса и на расстоянии 1,5 км от леса. На основе данных дистанционного зондирования рассчитан NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) с 2001 по 2017 гг., выполнены геоботанические описания. Наземная фитомасса определена путем укосов с дальнейшим высушиванием и пересчетом в абсолютно сухой вес.

Сельскохозяйственные угодья, которые длительное время (10-25 лет), не подвергались распашке, сенокошению и интенсивному выпасу, постепенно зарастают. Процессы зарастания неравномерно протекают на разных участках Байдарской и Варнутской долин. В Варнутской долине наблюдается зарастание полей садовыми деревьями и наступление лесной растительности в краевой части бывших пастбищ и пашни. По всему периметру обследуемой территории граница леса нечеткая, на опушках происходит зарастание лесными видами кустарников (кизил красный, жасмин крымский) и подростом деревьев, составляющих лесные сообщества склонов: грабинника, дуба пушистого, можжевельника колючего. На участки луговых степей в Байдарской долине наступает сорная растительность (около 300 м над у.м.), где на заброшенных сельскохозяйственных угодьях сформировались залежи и пустоши.

Анализируя пространственные особенности растительности бывших пастбищ и пашни Байдарской и Варнутской долин, по стадиям зарастания нами выделены три типа растительных сообществ, отражающие сукцессионные и динамические процессы: I – угодья, заброшенные менее 10 лет назад с разнотравно-злаковыми, местами луговыми, степями; II – угодья, заброшенные приблизительно от 10 до 20 лет с разреженными кустарниками и подростом деревьев (до 1 м); III – угодья, заброшенные более 20 лет назад с древесно-кустарниковыми сообществами высотой деревьев до 5-7 м.

Участки залежей с деревьями высотой более 5 м характеризуются повышением NDVI в среднем на 0,2 по сравнению с прилегающими угодьями. Также, заметна разница между NDVI, полученным по снимкам 2001 и 2017 гг. – показатель увеличился на 0,16-0,29. Обобщая данные натурных исследований и дистанционного зондирования заметно, что наземная фитомасса сообществ при зарастании угодий увеличивается. Запасы наземной фитомассы постагрогенных травяных сообществ не превышают 2 т/га, что ниже продуктивности травяных сообществ Гераклейского полуострова с более засушливыми условиями и степных сообществ Крыма. При зарастании формируется низкопродуктивное сообщество.

В целом, пространственные особенности лесовосстановления в межгорных котловинах Крыма заключаются в незначительном изменении границы леса (до 5 м) и формировании сообществ из культурных растений (яблоня, слива и др.) в древесном ярусе с подлеском из лесных кустарников (терн, кизил и др.) на обширных залежах. Степень зарастания может быть оценена по расчетному индексу NDVI.

Работа (частично) выполнена при поддержке проекта РФФИ № 18-05-60221 Арктика.

#### ЛИТЕРАТУРА

Грачева Р.Г., Белоновская Е.А., Виноградова В.В., Шоржунов И.Г. Конвергенция растительного покрова и почв постагрогенных экосистем межгорных котловин Центрального Кавказа // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2017. № 6. С. 103–113.

#### **USING OF REMOTE SENSING DATA IN THE RESEARCH OF FOREST-RESTORATION PROCESSES IN INTERMOUNTAIN BASIN OF THE CRIMEA**

E.S. KASHIRINA<sup>1</sup>, E.I. GOLUBEVA<sup>2</sup>, A.A. NOVIKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>BRANCH OF MSU IN SEVASTOPOL  
2LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

The report presents the results of a study of reforestation processes in intermountain basins using the example of the southwestern part of the Crimean Mountains. To assess the intensity of the growth of agricultural land NDVI and reserves of terrestrial phytomass calculated, geobotanical descriptions were made. NDVI from 2001 to 2017 increased by 0.16-0.29. Low-productive herbal community with a predominance of cultivated species (apple, plum, etc.) in the tree layer is formed.

#### **ЛАНДШАФТНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ЛЕСОВ НА МАТЕРИАЛАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Д.М. КИРЕЕВ, В.Л. СЕРГЕЕВА

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ С.М. КИРОВА

Материалы дистанционного зондирования Земли являются одним из основных источников оценки экологических режимов лесов России. Для выявления природных территориальных комплексов лесов использованы ландшафтные и экологические индикаторы.

Основные компоненты и элементы ландшафта взаимосвязаны и образуют единства (Галкина, 1955; Солнцев, 1968). Поэтому при ландшафтно-морфологическом анализе они ис-

пользуются в качестве индикаторов других компонентов, природных территориальных комплексов (ПТК) и экологических режимов земель. Ландшафтный индикатор — это точно опознанный элемент ландшафта или ПТК, по которому обнаруживается другой, скрытый от наблюдения, элемент ландшафта, или индикат. Индикаторы различаются по степени сопряженности с индикатами. Значимость индикаторов выражается процентом случаев, когда индикатор и индикат встречаются совместно: 100% — абсолютный, 90 — верный, 75 — удовлетворительный, 60 — сомнительный, менее 60% — недостоверный индикатор. Экологические индикаторы, которыми являются растения и их сообщества, позволяют наиболее тонко и точно оценивать экологические режимы лесных земель. Однако авторы пришли к выводу, что при выявлении ПТК лесных территорий необходимо использовать все без исключения компоненты и элементы ландшафта (Киреев, 2007; Киреев и др., 2011).

Структура ПТК, размещение и конфигурация урочищ, местностей, фаций, физиономичны на ландшафтных источниках информации (например, ПТК болот, их структура, очертания особенно физиономичны на дистанционных материалах). Была разработана методика применения всех без исключения элементов ландшафта и опознаваемых ПТК в качестве ландшафтных и экологических индикаторов. Помимо разнокачественных дистанционных материалов для изучения структуры ландшафтов были привлечены общегеографические, топографические, тематические карты, фондовые и литературные материалы.

При дешифрировании материалов дистанционного зондирования Земли применён метод ландшафтных и экологических индикаторов (Киреев, 2007). Перечислим те ландшафтные и экологические индикаторы, которые были использованы при выявлении ПТК лесных территорий России.

1. Тектонические структуры: планетарные трещины, разломы, планетарные отдельности, геоблоки, прогибы земной коры, складки и т. д.
2. Геологическое строение, горные породы, четвертичные отложения.
3. Литологический состав горных пород и отложений, в том числе и вечной мерзлоты с элементами ее залегания.
4. Рельеф, его генетические формы, морфографические, морфометрические свойства, характеристики: высота, уклоны, простираие поверхностей и т. д.
5. Воды поверхностные, водоемы, водотоки, сезонные режимы их изменения, эрозионно-гидрографическая сеть в целом, грунтовые воды, глубина их залегания, направление поверхностного, полуповерхностного и грунтового стоков.
6. Растения и их сообщества, их связь с экологическими режимами земель, состав, производительность и структура сообществ.

7. Следы деятельности животных и человека, биогенные формы рельефа, тропы, очаги энтомовредителей, типы землепользования, мелиорация, карьеры добычи различных строительных материалов.

8. Структура ПТК, размещение и конфигурация урочищ, местностей, фаций, физиономичны на ландшафтных источниках информации (например, ПТК болот, их структура, очертания особенно физиономичны на дистанционных материалах).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Галкина Е.А.* Болотные ландшафты лесной зоны / Вопросы аэрофотосъемки: географ. сб. – Вып. 7. – М.; Л.: АН СССР, 1955. –С. 75–84.

*Киреев Д.М.* Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебное пособие для студентов, магистрантов и аспирантов направления «Лесное дело». Учебно-научное издание. Санкт-Петербург: издательство Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 2007. 540 с. + Прил. [64] с. ил. (604 с.). ISBN № 978-5-9239-0096-5

*Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л.* Индикаторы лесов. Под общей редакцией проф. Д.М. Киреева. Научное издание. СПб: СПб ГЛТУ, 2011. 400 с.

*Солнцев Н.А.* К теории природных комплексов. Вестник МГУ, 1968, № 3, с.14–27.

### LANDSCAPE AND ENVIRONMENTAL INDICATORS FORESTS IN THE REMOTE SENSING

D.M. KIREEV, V.L. SERGEEVA

ST. PETERSBURG STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY NAMED AFTER S.M. KIROV

Materials of remote sensing of the earth were one of the main sources of an assessment of ecological regimes of forest lands of Russia. Landscape and ecological indicators were used to identify natural territorial complexes of forests.

### ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНЫХ РАНГОВ НА ДИСТАНЦИОННЫХ СНИМКАХ РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБОВ

Д.М. КИРЕЕВ, Ч.Т. НГУЕН, В.Л. СЕРГЕЕВА

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.М. КИРОВА

Для выявления и анализа свойств ПТК различных рангов необходимо использовать дистанционные и картографические источники информации всех масштабных уровней – от обзорных до детальных.

Ведущее значение в формировании природных территориальных (ПТК) и природных аквальных комплексов (ПАК) принадлежит литогенной основе, т.е. земной коре (Солнцев, 1968). ПТК образуют иерархическую систему единиц различного ранга – от самых крупных и сложных до простых – ландшафтных фаций. В наших исследованиях изучались ПТК суши (Киреев, 2007).

ПТК, независимо от их сложности и таксономического ранга, обладают некоторыми общими свойствами. Например, одинаковость их происхождения и процесса образования; относительная природная и экологическая однородность и т.д.

Помимо разнокачественных дистанционных материалов для изучения структуры ландшафтов были привлечены тематические карты, фондовые и литературные материалы. При дешифрировании материалов дистанционного зондирования Земли применён метод ландшафтных и экологических индикаторов, всех элементов ландшафта и опознаваемых ПТК (Киреев и др., 2011). Изучение свойств ПТК всех рангов мы проводили на территории западной части Русской равнины (ландшафтная страна), Ловать-Неманской ландшафтной области - в пределах Ленинградской области. Отчётливо различаются на дистанционных материалах два ландшафта: низкий и низменный Лужско-Госненский и слабовозвышенный Ижорский. В пределах первого отчётливо видны два вида ландшафтных местностей – низких ледниковых равнин на валунных суглинках и плоских низменных озёрно-ледниковых равнин на ленточных глинах. В первом виде местностей доминируют влажные еловые сурамени, во втором – влажные и сырые ледниковые сурамени, боры и еловые субори центральных частей между речий. 25% территории второго вида местности заняты болотами замкнутых и сточных впадин. На относительно возвышенных землях развиты фации урочища «высокий бор». Это фации олиготрофных сосняков на мощных кварцевых песках с сосной обыкновенной, берёзой повислой, подлеском из рябины, ракитника, можжевельника, покровом из брусники, вереска, толокнянки, вороники и др.

В ландшафте Ижорского плато преобладают свежие и влажные рамени, а большая часть территории хорошо дренированная, на её землях высокой трофности развиты дерново-карбонатные почвы, большая часть которых освоена сельским хозяйством. На дистанционных материалах всех масштабов в этом ландшафте хорошо видны островки свежих и влажных еловых раменей с осиной, липой, клёном, реже вязом, с подлеском из лещины, калины, черёмухи, покровом из копытеня, зеленчука, и др. (Нгуен и др., 2018).

Для выявления и анализа свойств ПТК различных рангов необходимо использовать дистанционные и картографические источники информации всех масштабных уровней – от обзорных до детальных.

## ЛИТЕРАТУРА

*Киреев Д.М.* Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебное пособие для студентов, магистрантов и аспирантов направления «Лесное дело». Учебно-научное издание. Санкт-Петербург: издательство Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 2007. 540 с. + Прил. [64] с. ил. (604 с.). ISBN № 978-5-9239-0096-5

*Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л.* Индикаторы лесов. Под общей редакцией проф. Д.М. Киреева. Научное издание. СПб: СПб ГЛТУ, 2011. 400 с.

*Нгуен Ч.Т., Сергеева В.Л.* Сравнительный анализ структуры двух смежных ландшафтов Ленинградской области / Материалы III международной научно-технической конер. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» 23–24 мая 2018 г. СПб: СПб ГЛТУ. 2018. Т. 1. С. 211–213.

*Солнцев Н.А.* К теории природных комплексов. Вестник МГУ, 1968, № 3, с.14–27.

# IMAGE OF NATURAL TERRITORIAL COMPLEXES OF DIFFERENT RANKS ON REMOTE IMAGES OF DIFFERENT SCALES

D.M. KIREEV, T.T. NGUYEN, V.L. SERGEEVA

ST. PETERSBURG STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY NAMED AFTER S.M. KIROV

To identify and analyze the properties of NTC of various ranks, it is necessary to use remote and cartographic information sources of all scale levels - from survey to detailed.

УДК 630

## ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ КЕДРОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА ОЗ.БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕТНИХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ MODIS/AQUA

А.В. КОВАЛЕВ<sup>1</sup>, В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ<sup>2</sup>, В.И. ВОРОНИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>КНЦ СО РАН

<sup>2</sup>ИНСТИТУТ ЛЕСА СО РАН

<sup>3</sup>СИФИБР СО РАН

Целью данной работы является оценка повреждений кедровых насаждений на основе расчетных показателей многолетней динамики вегетативных индексов, полученных по спутниковым данным в сравнении с наземными наблюдениями.

Появившиеся недавно повреждения бактериальной водянойкой (*Erwinia multivora* Scz.-Parf.) темнохвойных лесов в Прибайкалье, которые ранее в данном регионе не были отмечены, имеют неясную этиологию и не установленные масштабы. В ослабленных лесных массивах с большой долей вероятности может произойти усиление негативного действия грибов-микромитозов и насекомых-вредителей. Особую опасность представляет существенное снижение уровня атмосферного увлажнения этих лесов, которое может привести к их массовому усыханию. В связи с этим проводится разностороннее обследование древостоев с целью определения способов борьбы с бактериальным поражением.

Привлекательность использования данных космического наблюдения связана с возможностью дешевого и экспрессного сбора информации о состоянии растительности. Однако при этом возникают проблемы, связанные с изменчивостью показателей вегетативного состояния как в течение одного сезона, так и в различные сезоны. Причиной этого является значительное влияние погодных факторов на показатели, полученных в ходе дистанционных измерений.

Задачей данного исследования является разработка устойчивых к возмущающим воздействиям внешней среды показателей вегетативного состояния насаждений и оценка их применимости в качестве индикаторов ослабления.

Одним из наиболее информативных и широко используемых вегетативных индексов является нормализованный разностный индекс растительности (NDVI) основанный на раз-

нице отражения красного и ближнего инфракрасного излучения. Индекс NDVI рассчитанный по спутниковым данным MODIS/Aqua (Продукт MYD09Q1) позволяет получить усредненную оценку состояния растительного покрова для территории 250x250 метров. Продукт MYD09Q1 представляет собой 8-дневный композит, что позволяет нивелировать влияние облачности на качество наблюдений. Однако для условий гористой местности южного берега оз. Байкал наблюдается существенные высокочастотные колебания индекса NDVI, связанные с неоднородностью ландшафтной структуры изучаемых территорий.

Несмотря на наличие шума, по данному ряду может быть получена теоретическая кривая годового изменения вегетационного индекса. Для этого необходимо провести ряд преобразований:

- фильтрация временного ряда.
- отсечение малых значений в начале и конце года.
- удаление локальных понижающих выбросов, которые связаны с неоднородностью метеоусловий.
- аппроксимация оставшихся значений полиномом второго порядка.

По уравнению кривой рассчитываются два показателя, наиболее полно описывающие изменчивость состояния древостоев. Это максимальное сезонное значение  $NDVI_{max}$  и скорость изменения  $dNDVI/dt$  в середине промежутка между началом вегетационного периода и его максимумом.

В качестве объекта исследований были взяты четыре пробных участка кедровых насаждений (*Pinus sibirica*) южного берега оз. Байкал с различной долей ослабленных и усохших деревьев. Для каждого насаждения на плоскости  $\{NDVI_{max}, d(NDVI)/dt\}$  рассматривалась совокупность показателей временной динамики NDVI в течение 2001-2017 гг. Наземные обследования состояния изучаемых насаждений проводились в августе 2018 г.

По результатам расчетов, данные по показателям  $NDVI_{max}$  и  $dNDVI/dt$  существенно различаются для пробных площадей с различным состоянием деревьев. Был выполнен дискриминантный анализ по переменным  $NDVI_{max}$  и  $d(NDVI)/dt$ . Качество классификации пробных площадей по характеристикам сезонной динамики NDVI высокое и составляет 88%. При этом выявлено соответствие между показателями состояния деревьев по наземным наблюдениям и по показателям NDVI.

Таким образом, показана хорошая связь спутниковых наблюдений с наземными показателями ослабления, что позволяет использовать спутниковые измерения для мониторинга развитие патологических процессов в насаждениях. Наличие ретроспективных данных позволяет оценить время начала ослабления древостоев, прогнозировать интенсивность усыхания.



## **ESTIMATION OF SIBERIAN PINE STANDS DAMAGES AT THE SOUTH SHORE OF BAIKAL LAKE BASED ON THE LONG-TERM SATELLITE OBSERVATIONS OF MODIS/AQUA**

A.V. KOVALEV<sup>1</sup>, V.G. SOUKHOVOLSKY<sup>2</sup>, V.I. VORONIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>KRASNOYARSK SCIENTIFIC CENTER SB RAS

<sup>2</sup>SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST FRC KSC SB RAS

<sup>3</sup>SIBERIAN INSTITUTE OF PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY SB RAS

The purpose of this work is to assess damage Siberian pine stands based on the calculated indicators of the long-term vegetative indices dynamics obtained from satellite data and their comparison with ground-based observations.

УДК 630\*, 574.47\*

## **ИЗУЧЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОКОННОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

А.В. КОМАРОВ<sup>1,2</sup>, Д.В. ЕРШОВ<sup>2</sup>, Е.В. ТИХОНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ (НЦ ОМЗ)

<sup>2</sup> ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

Представлены результаты анализа информативности спектральных каналов аппаратуры MSI (Sentinel-2) и их вклад при классификации трех доминирующих типов лесных сообществ модельной территории. Классификация типов по спектральным каналам проводилась с помощью метода Random Forests. На основе панхроматического изображения Ресурс-П маскировались участки между кронами деревьев верхнего полога, для которых рассчитывались морфометрические параметры трех типов лесных сообществ. С помощью критерия Красскела-Уоллиса выполнен анализ делимости лесных сообществ по морфометрическим параметрам.

В последние несколько десятилетий сформировалась мозаично-циклическая концепция функционирования лесных экосистем (Коротков, 1991), основными положениями которой являются определяющая роль нарушений целостности древесного полога (далее “окон”) и универсальность принципов организации мозаичной структуры лесных сообществ независимо от географического положения (Смирнова и др., 1989; Runkler et al., 1989). Исследователи связывают количественные и качественные характеристики окон с видовым составом, биометрическими показателями, биоразнообразием, характеристиками почв (Коротков, 1991; Бобровский, 2010; Muscolo et al., 2014; Getzin et al., 2014). Теоретически окна могут использоваться в качестве дешифровочных признаков, характеризующих количественные и качественные характеристик лесных сообществ. Применение дистанционных данных для оценки мозаичной структуры, характеристик окон и их динамики имеет высокий потенциал в экологических и геоботанических исследованиях, лесном хозяйстве и охране лесов. Цель работы – исследовать информативность спектральных и морфометрических признаков для различных типов лесных сообществ. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

проведена классификация разносезонных спутниковых изображений на три типа лесных сообществ и оценена точность классификации; по данным Ресурс-П определены окна и рассчитаны морфометрические индексы; выполнена оценка делимости лесных сообществ с использованием морфометрических признаков.

Исследования проводились в Валуевском лесопарке (Новомосковский АО, г. Москва). Общая площадь модельной территории, согласно публичной кадастровой карте, составляет 1156,33 га. Растительный покров лесопарка представлен производными мелколиственными и смешанными хвойно-широколиственными лесами с включением лесных культур (Тихонова и др., 2018)

В исследовании рассматриваются три типа лесных сообществ: (1) лиственный лес с преобладанием липы, (2) лиственный лес с преобладанием березы или осины и (3) хвойный лес с преобладанием ели или сосны. Для классификации использовались безоблачные сцены Sentinel-2, полученные в 2017-2019 гг. Использовались спектральные каналы с пространственным разрешением 10 (b03, b04, b08) и 20 (b05, b06, b07, b11, b12) метров (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>). Для каналов с разрешением 20 метров было проведено формальное увеличение разрешения с использованием функции бикубической интерполяции. Для идентификации окон в пологом древостое использовалось панхроматическое изображение Ресурс-П1 с пространственным разрешением не хуже 0,8 м.

Классификация трех типов лесных сообществ выполнялась методом «Random Forests» (Breiman, 2001). Для обучения ансамбля решающих деревьев использовалась равномерно распределенная обучающая выборка размером 120 индивидов. Каждый индивид – набор пикселей, соответствующий «чистым насаждениям» с преобладанием в составе древостоя 7 и более единиц одной породы по материалам лесной таксации. Для идентификации окон использовалась избыточная кластеризация панхроматического изображения методом K-means, с последующим визуальным объединением классов и их векторизацией. Полученная векторная маска далее использовалась для расчёта нескольких морфометрических признаков, характеризующих форму и размерность выявленных окон: площадь, периметр окна, их соотношение, округлость формы окна и ряд фрактальных признаков: PFD, FD, FDI, GSCI (Getzin, 2014).

Оценка вклада спектральных каналов и морфометрических признаков в распознаваемость типов лесных сообществ оценена также методом Random Forests. Для оценки точности классификации использовались наземные площадки с таксационными и геоботаническими описаниями. Оценка точности базировалась на построении матрицы перепутывания типов лесных сообществ на площадках и по результатам классификации спектральных каналов.

Для оценки лесных сообществ с помощью морфометрических признаков использовался непараметрический тест Краскела-Уоллиса (H-критерий) (Kruskal, Wallis, 1952).

*Результаты.* Классификация типов лесных сообществ по спектральным каналам. С увеличением количества спектральных каналов очевидно наблюдается рост точности классификации: точность классификации увеличивается на 10%. Для стека данных из 15 сцен (5 временных промежутков) точность составила 0,8, коэффициент Каппа 0,64; для 23 сцен (7 временных промежутков) точность составила 0,89, коэффициент Каппа 0,84; для 30 сцен (7 временных промежутков с добавлением дополнительных SWIR каналов) - 0,96 и 0,88 соответственно. Однако вклад спектральных каналов неоднороден и зависит от фенологического периода космической съемки и длины волны. Анализ показал, что наибольший вклад внесли зимние и ранние весенние изображения в диапазонах 1565-1655 нм и 2100-2280 нм. Кроме того, с помощью ближнего и среднего ИК каналов майского изображения повышается точность распознавания лиственных сообществ.

Результаты теста Краскела-Уоллиса демонстрируют различия в значениях морфометрических признаков для рассмотренных трех типов лесных сообществ. Наиболее высокие значения наблюдаются для следующих признаков: PFD (H-критерий = 2603.2, вклад = 0.145), соотношение площади к периметру (H-критерий = 2457.2, вклад = 0.132) и площадь S (H-критерий = 1864.9, вклад = 0.127).

Полученные результаты демонстрируют возможность комбинации спектральных и морфометрических признаков, извлеченных из спутниковых изображений различного пространственного разрешения, для распознавания типов лесных сообществ на локальном уровне. Это открывает определенные перспективы для разработки методов анализа парцеллярной структуры и оценки биометрических параметров лесов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Breiman L.* Random forests // Machine Learning. 2001. V. 45. N 1. P. 5–32.
- Kruskal W.H., Wallis W.A.* Use of ranks in one-criterion variance analysis // Journal of the American Statistical Association. 1952, V. 47. N 260. P. 583–621.
- Hartigan J.A., Wong M.A.* A k-means clustering algorithm // Applied Statistics 1979. V. 28. P. 100–108.
- Getzin S., Nuske R.S., Wiegand K.* Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests // Remote Sens. 2014. 6(8). P. 6988-7004.
- Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Горнова М.В.* Объекты и методы исследований // Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / Под редакцией Н.В. Лукиной. М.: КМК, 2018. С. 7-20.
- Коротков В.Н.* Новая парадигма в лесной экологии // Биологические науки. М., 1991. N 8 (332). С.7-20.
- Смирнова О.В., Бобровский М.В.* Онтогенез дерева и его отражение в структуре и динамике растительного и почвенного покрова // Экология. 2001, №3. С. 177-181.
- М.В. Бобровский.* Лесные почвы европейской России. Биотические и антропогенные факторы формирования, 2010, С. 12-16.
- Muscolo A., Bagnato S., Sidari M., Mercurio R.* A review of the roles of forest canopy gaps // Journal of Forestry Research (2014) 25(4): 725–736.

## ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В АГРОЛАНДШАФТАХ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. КОШЕЛЕВ

ФГБНУ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОЭКОЛОГИИ, КОМПЛЕКСНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ  
И ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ФНЦ АГРОЭКОЛОГИИ РАН)

В статье представлен материал по оценке состояния защитных лесных насаждений на основе данных дистанционного зондирования Земли. Разработана авторская 3-х ступенчатая методика дистанционной оценки состояния ползащитных лесных полос на основе полевого эталонирования космических снимков. Рассмотрены современные проблемы изучения лесных полос дистанционными методами и обозначены перспективы.

Развитие цифровых технологий и методов дистанционного зондирования на современном этапе позволяют проводить агролесомелиоративную оценку состояния защитных лесных насаждений (ЗЛН) с разработкой неотложных лесохозяйственных мероприятий с наименьшими временными и материальными затратами.

Разработана авторская методология агролесомелиоративной оценки ЗЛН с учетом современного развития аэрокосмических методов исследований и геоинформационных технологий (Кулик и др., 2017), которая предусматривает одновременный трёхуровневый анализ системы ползащитных лесных полос в пределах района, хозяйства и отдельно взятой лесной полосы.

На первом уровне - административный район - устанавливается общая структура агролесомелиоративных насаждений района. На втором уровне - хозяйство - определяются пространственные и количественные характеристики системы лесных полос. На третьем уровне - лесная полоса - производится оценка состояния насаждений с использованием космических снимков высокого разрешения, формируется база эталонов типичных схем смешения лесных полос, осуществляется экстраполяционное дешифрирование и дается лесоводственно-мелиоративная оценка системы защитных лесных насаждений по каждому хозяйству и административному району в целом.

В настоящее время при исследовании лесных полос существует ряд проблем:

- лесные полосы представляют собой узкую полосу вдоль полей, дорог, балок (оврагов) и являются сложным объектом для дешифрирования, а тем более автоматизированного, когда необходимо охватить большую площадь обследования, так как анализируется горизонтальная проекция полога насаждения, в которой достаточно плотно размещены проекции крон деревьев, по сравнению с лесными массивами, которые занимают большую площадь в пространстве.

- не разработана автоматическая трассировка рубежей лесных полос при агролесомелиоративном проектировании защитных и противозерозионных насаждений на склонах. В основном эти работы проводятся в ручном режиме, что увеличивает временные затраты на стадии проектирования.

Использование цифровых аэроснимков для проведения масштабной инвентаризации в настоящее время является экономически не целесообразным, в связи с высокими затратами на приобретение авиационного топлива (Быватов и др., 2007). Однако, для решения локальных агролесомелиоративных задач, таких как оценка состояния одной или нескольких лесных полос, системы лесных полос агроландшафта или фермерского хозяйства, возможно, использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые стали широко применяться в лесном хозяйстве (Брейдо, 2007; Денисов и др., 2016).

Современные космоснимки, полученные со спутников Santinel-2, Quick Bird, SPOT-7 и др., обладают высокой разрешающей способностью и вполне могут конкурировать с аэроснимками по уровню детализации объектов (Жиринов и др., 2018; Кулик и др., 2011) и позволяют выполнять любой сезонный космический мониторинг агролесомелиоративных систем в зависимости от поставленных задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Брейдо М.Д.* Возможности применения программно управляемой беспилотной авиации с GPS ориентированием и цифровой фотографии для мониторинга, инвентаризации и охраны лесов Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады IV Международной конференции (Москва, 17-19 апреля 2007 г.). М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. С. 90-94.

*Быватов В.В., Веселов И.О., Кузьмин В.М.* Проблемы организации и проведения аэрофотосъемки лесов // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады IV Международной конференции (Москва, 17-19 апреля 2007 г.). М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. С. 28-32.

*Денисов С.А., Домрачев А.А., Елсуков А.С.* Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 34-46.

*Жиринов В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П.* Оценка биометрических параметров насаждений по изображениям межкрупного пространства на космических снимках сверхвысокого разрешения // Лесоведение. 2018. № 3. С. 163-177.

*Кулик К.Н., Кошелев А.В.* Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. №3. С. 107-114.

*Кулик К.Н., Кошелева О.Ю.* Автоматизированное дешифрирование защитных лесных насаждений по космоснимкам высокого разрешения // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. № 3. С. 55-57.

## DESCRIPTION OF PROTECTIVE FOREST PLANTS IN AGROLANDSCAPES: CONDITION AND PROSPECTS

A.V. KOSHELEV

FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGROECOLOGY, COMPLEX MELIORATION  
AND PROTECTIVE AFFORESTATION OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

The material on assessing the state of protective forest stands on the basis of data from remote sensing of the Earth is presents in the article. The author's 3-step method for remote assessment of the state of the forest shelter belts

based on field calibration of satellite images has been developed. The modern problems of studying forest belts by remote methods are considered and perspectives are indicated.

УДК 630\*111:630\*432:630\*587

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА ГОРНЫЕ ЛЕСА РЕСПУБЛИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ LANDSAT**

Х.Б. КУУЛАР

ФГБУН ТУВИНСКИЙ ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ  
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СО РАН

В данной работе рассмотрено влияние изменения климата на южные горные леса с использованием данных Landsat. Результаты исследования показывают увеличение значения вегетационных индексов (EVI, NDVI) на верхней и нижней границах леса в последние годы. В работе использованы модули Semi-Automatic Classification Plugin, DZetsaka и Molusce для выявления изменений растительного покрова ключевых участков.

Важное значение приобрело изучение отклика южных бореальных лесов на потепление климата. В связи с этим особое внимание привлекает изучение лесов Республики Тыва, произрастающих в центре Азиатского материка.

Климат региона резко континентальный, аномалия среднегодовой температуры составила 1,6°C в период 2000-2018 гг. по сравнению с базовым периодом (1961-1990 гг.). Исследования проведены на ключевых участках хребтов Западный Танну-Ола, Уюкский и нагорье Сангилен.

Обработка космических снимков Landsat-5,7,8 проводилась при помощи геоинформационной системы Quantum GIS 2.18 с использованием модулей Semi-Automatic Classification Plugin, DZetsaka и Molusce. Этапы исследования состоят из предварительной обработки космических снимков (радиометрическая и атмосферная коррекции) и обработки (классификации, расчета вегетационных индексов (EVI, NDVI, NBR) и поверхностной температуры Земли). Классификация растительного покрова проведена с использованием модуля DZetsaka на 12 классов: кедрачи, лиственничники, ельники, березняки, нелесные участки, луга, тундра, редколесье, кустарники, вода (реки, озера), восстанавливающие участки и гари. Моделирование и прогнозирование растительного покрова проведено с использованием модуля Molusce.

В результате исследования получено пространственное распределение растительного покрова ключевых участков в период исследования (1980-2019 гг.) и их прогноз. По результатам обработки космических снимков созданы карты температуры поверхностного слоя. Значения вегетационных индексов NDVI, EVI, NBR и рост поверхностной температуры ландшафтов показывают изменение продуктивности лесов ключевых участков. Наиболее существенные изменения наблюдаются на нижней и верхней границах леса. Зафиксировано

продвижение лесотундры вверх по склонам и смещение границы лесотундры и тундры. А также продвижение нижней границы темнохвойного леса вниз по склонам за последние десятилетия на фоне повышения температуры. Особо засушливые годы отличились грандиозными масштабами повреждений от пожаров растительности, когда сосновые боры и кедровники нагорья Сангилен были сильно уничтожены.

Закономерным следствием процесса, обусловленного повышением региональной температуры в течение нескольких десятилетий является смещение границ леса, сокращение площади лесов от растущих пожаров растительности. Наблюдается положительная корреляция между значениями вегетационных индексов (NDVI, EVI,) и теплообеспеченностью.

Таким образом, влияние изменения климата на горные леса региона проявляется двояко. Во-первых, идет увеличение площади и количества лесных пожаров, которые отрицательно влияют на климат региона. Во-вторых, идет смещение нижней и верхней границ темнохвойного леса в связи с потеплением климата.

Полученные прогнозные модели растительного покрова показывают, что распределение горных лесов определяется, главным образом, основными климатическими факторами (температурой и увлажнением теплого периода года) и рельефом.

## **ASSESSING CLIMATE WARMING IMPACT MOUNTAIN FOREST USING LANDSAT IMAGERY IN THE TYVA REPUBLIC**

КН.В. KUULAR

TUVINIAN INSTITUTE FOR EXPLORATION OF NATURAL RESOURCES SB RAS

In this study to assess warming climate impact on south mountain forest in plot areas using Landsat imagery. Taking the results indicate that indices (EVI, NDVI) increases significantly at low and upper forest boundaries in last decates. We used Semi-Automatic Classification Plugin, Dzetsaka, and Molusce modules to detect changes of vegetation cover in key areas.

УДК 528.72:004.93

## **СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ В РАСПОЗНАВАНИИ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СНИМКАХ LANDSAT**

А. В. ЛЕБЕДЕВ

ФГБУ ВО РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МОСКОВСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА  
ФГБУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА»

В докладе приводится сравнение метрик (точность, полнота, F мера) качества решения задачи классификации растительного покрова на снимках Landsat. На примере выделения пяти классов (светлохвойные, темнохвойные, лиственные леса, участки, не покрытые лесной растительностью и водные объекты) на двух снимках для территории заповедника «Кологривский лес» показано, что наилучшее решение задачи достигается при использовании алгоритма Random Forest.

Классификация объектов на снимках проводилась по пяти классам: 1 – темнохвойные леса, 2 – светлохвойные леса, 3 – лиственные леса, 4 – открытые участки (гари, вырубки, поля, луга и т.д.), 5 – водные объекты. Тематическое дешифрирование проводилось для сцен LT51750191984177XXX02 (1984 год) и LT51750192011235KIS01 (2011 год). Обучающая выборка формировалась с привлечением данных натурных обследований лесотаксационных выделов на территории заповедника «Кологривский лес» в период с 2014 по 2018 годы (Лебедев, 2018; Лебедев, Чистяков, Гемонов, Чернявин, 2018).

Исходная выборка для каждой сцены сначала проверялась на наличие выбросов, а в дальнейшем разбивалась на обучающую и тестовую в соотношении 7:3. На обучающей выборке проводилось обучение классификаторов, а на тестовой – оценка их качества. Анализ данных проводился с использованием Python 3.7 и библиотек Scikit-learn 0.20.2, CatBoost 0.12.2. Наилучшее решение выбиралось среди следующих алгоритмов: логистическая регрессия (Logistic Regression), линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis), квадратичный дискриминантный анализ (Quadratic Discriminant Analysis), случайный лес (Random Forest), градиентный бустинг над решающими деревьями (Gradient Boosting), CatBoost - реализация градиентного бустинга, разработанная компанией Яндекс, k ближайших соседей (KNN), мультиномиальный наивный байес (Multinomial Naive Bayes), гауссовский наивный байес (Gaussian Naive Bayes), метод опорных векторов (C-Support Vector Classification).

Наилучшее качество классификации было достигнуто с применением алгоритмов Random Forest и CatBoost. Для сцены 1984 года F-мера в случае Random Forest составила 0,9681, а для CatBoost – 0,9683. Для сцены 2011 года F-мера для Random Forest составила 0,9565, а для CatBoost – 0,9520. Принимая во внимание скорость работы алгоритмов, в качестве итоговой модели классификатора был выбран Random Forest (1984 год - Cohen's kappa = 0,9319; 2011 год - Cohen's kappa = 0,9245).

Наибольшую важность (feature importance) в рассматриваемой задаче классификации (алгоритм Random Forest) имеют 4 канал (охват спектральных зон 0,75-0,90 мкм), 5 канал (1,55-1,75 мкм) и 6 канал (10,40-12,5 мкм) Landsat 5. Кроме того, 7 канал (2,09-2,35 мкм) обладает большей информативностью по сравнению с 1 каналом (0,45-0,515 мкм), 2 каналом (0,525-0,605 мкм) и 3 каналом (0,63-0,690 мкм).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Лебедев А. В.* Ход естественных процессов в древостоях ядра заповедника "Кологривский лес" // В сборнике: Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы Материалы всероссийской (с международным участием) конференции. 2018. С. 6-14.

*Лебедев А. В., Чистяков С. А., Гемонов А. В., Чернявин П. В.* Промежуточные итоги реализации программы по изучению динамики нарушенных растительных сообществ в заповеднике "Кологривский лес" // В сборнике: Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы Материалы всероссийской (с международным участием) конференции. 2018. С. 35-39.



# COMPARISON OF CLASSIFICATION ALGORITHMS FOR RECOGNITION OF VEGETATION TYPES ON LANDSAT IMAGES

A. V. LEBEDEV

RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY - MOSCOW TIMIRYAZEV AGRICULTURAL ACADEMY  
STATE NATURE RESERVE "KOLOGRIVSKY FOREST" NAMED AFTER M.G. SINITSYN

The report provides a comparison of metrics (accuracy, completeness, F measure) quality of the solution of the problem of classification of vegetation cover in Landsat images. On the example of the allocation of five classes (light coniferous, dark coniferous, deciduous forests, areas not covered by forest vegetation and water bodies) in two images for the nature reserve "Kologrivsky forest" it is shown that the best solution of the problem is achieved using the Random Forest algorithm.

УДК 630\*587.7

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛЕСОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ОТКРЫТОГО ДОСТУПА И ГИЛ (НА ПРИМЕРЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н.В. МАЛЫШЕВА<sup>1</sup>, Е.А. БАЛДИНА<sup>2</sup>, В.Ю. ДЕДОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФБУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА» (ФБУ ВНИИЛМ)

<sup>2</sup>МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

Представлены результаты и методика автоматизированного дешифрирования динамики земель, занятых лесами, по разновременным космическим снимкам открытого доступа. Данные государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) использованы для отбора эталонов автоматизированного дешифрирования и верификации результатов. Практическая апробация методики проведена на примере Брянской области. По космическим снимкам выполнена оценка фактической лесистости региона в 1985-1986 гг., до аварии на Чернобыльской АЭС, и в 2014 г.

Новые информационные ресурсы, которые формируются в России благодаря ведению государственной инвентаризации лесов, существенно расширяют возможности интерпретации данных дистанционного зондирования. Численная оценка площади земель, на которых расположены леса, вне зависимости от их ведомственной принадлежности - актуальная прикладная задача, которая поднимается в публикациях лесоводственного и экологического направления в последнее время (Корсиков, 2016; Перепечина, 2015). Цель исследования разработать и опробовать на практике приемы дешифрирования количественных и качественных характеристик земель, занятых лесами, оценить их временную динамику по космическим снимкам открытого доступа, используя данные ГИЛ для отбора эталонов дешифрирования и верификации результатов. Разработка приемов дешифрирования и их апробация выполнены на примере Брянской области. Динамика качественных и количественных характеристик лесов оценивались на два временных среза – в 1985-1986 гг., до аварии на ЧАЭС и последующего радиоактивного загрязнения части территории, и после, в 2013-2014 г., с временным интервалом почти в 30 лет.

Исходными материалами служили снимки, полученные съемочными системами спутников семейства Landsat. Особенность разработанных приемов дешифрирования заключается в использовании зимних космических снимков. Наиболее информативными оказались первый коротковолновый инфракрасный, ближний инфракрасный, красный каналы съемки. Для обработки космических снимков использована классификация с обучением (контролируемая), при которой для создания эталонов привлечены снимки TM/Landsat 5 и OLI/Landsat 8 весенних, летних, осенних аспектов; снимки высокого разрешения сервисов Google Earth; материалы, содержащиеся в отчете по ГИЛ. Реализация автоматизированной обработки осуществлена в программных пакетах ERDAS Imagine и ArcGIS.

В результате автоматизированного дешифрирования определены местоположение лесов на всех категориях земель, в том числе небольших по площади, занятых молодняками, рядовых посадок древесно-кустарниковой растительности, полезащитных насаждений, защитных полос вдоль дорог, древесно-кустарниковой растительности на склонах и бровках оврагов и балок, в границах поселений. Леса дифференцированы по группам пород: хвойные, лиственные, смешанные с преобладанием лиственных пород и смешанные с преобладанием хвойных пород, хвойные подразделены на темнохвойные (еловые) и светлохвойные (сосновые).

Согласно подсчетам, площадь лесов, расположенных на землях всех категорий на начальный период исследования (1985-1986 г.) составила 1221,8 тыс. га, что на 245,7 тыс. га больше, чем лесопокрытая площадь региона по данным учета лесного фонда, а лесистость — 35%, что на 4,9% больше (Лесной фонд СССР, 1990). По результатам дешифрирования снимков 2014 г. площадь лесов составила 1684,3 тыс. га, а фактическая лесистость территории с учетом лесов, расположенных на землях всех категорий, — 48,3%, что на 15,5% превосходит, приведенную в отчетности федеральной службы статистики на этот же период времени. Площадь лесов, которая определена на основе дешифрирования снимков открытого доступа, близка к оценкам площади лесов в работе (Корсикив, 2016). За рассматриваемый период ( $\approx 30$  лет) помимо роста лесистости из-за зарастания земель лиственными породами (прежде всего, березой, осинкой, ольхой), произошло перераспределение соотношения площадей лесов по группам пород. Доля площади, занятой лиственными породами, возросла с 70,8% до 78,5%, в то время как доля еловых лесов, ввиду гибели от вредителей и болезней и последующего проведения санитарных рубок, снизилась с 3% до 0,4%.

## ЛИТЕРАТУРА

- Корсикив Р.С.* Определение характеристик лесов Брянской области на основе данных дистанционного зондирования Земли. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Брянск: БГИТУ. 2016. 21 с.  
Лесной фонд СССР (по учету на 1 января 1988 года). М.: ВНИИЦлесресурс, 1990. Т. 1. 1005 с.

Отчет по государственной инвентаризации лесов в части определения количественных и качественных характеристик лесов Брянской области. М.: ФГУП «Рослесинфорг». 2013. 125 с.

Перепечина Ю. И., Глушенков О. И., Корсиков Р. С. Оценка лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения в Брянской области // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. №. 1. С. 74–84.

## **GIS MAPPING OF THE FOREST LANDS DYNAMIC WITH OPEN ACCESS REMOTE SENSING AND STATE FOREST INVENTORY DATA (THE BRYANSK REGION AS IN EXAMPLE)**

N.V. MALYSHEVA<sup>1</sup>, E.A. BALDINA<sup>2</sup>, V.YU. DEDOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF SILVICULTURE AND MECHANIZATION OF FORESTRY  
(FBU VNIILM)

<sup>2</sup>LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

The results and technique of automated interpretation of the forest-covered lands dynamics with multi temporal remote sensing data of open access are presented. The state forest inventory data are used for selecting the test areas and for verification of results. Practical approval by the example of Bryansk region is carried out. The evaluation of percentage of forest-covered lands is performed up to the Chernobyl nuclear power station accident in 1986, and in 2014.

УДК 630\*91

## **ДИСТАНЦИОННЫЙ ВЫСОКОДЕТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ЗАРАСТАНИЯ ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ**

А.А. МЕДВЕДЕВ, Н.О. ТЕЛЬНОВА, А.В. КУДИКОВ

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РАН

Представлен опыт дистанционного мониторинга и пространственно-временного анализа процесса зарастания лесной растительностью заброшенных сельскохозяйственных земель по разновременным высокодетальным данным дистанционного зондирования от космических и беспилотных летательных аппаратов. В результате мультитременного анализа космических снимков и фотограмметрических облаков точек детально прослежены пространственно-временные особенности расселения древесной растительности по залежи.

В условиях интенсификации возвращения заброшенных и зарастающих сельскохозяйственных земель в оборот, наметившейся в ряде регионов Центрального Нечерноземья с середины 2000-х гг. (deBeurs et al., 2017), пространственно-временной анализ протекания постагрогенных сукцессий, в частности оценка и картографирование скорости распространения древесной растительности по залежам в различных ландшафтных условиях приобретает особую актуальность.

В качестве эталонного объекта для апробации мониторинга возобновления древесной растительности на залежах в пределах зоны широколиственных лесов на основе разновременных высокодетальных данных дистанционного зондирования нами рассмотрен участок пашни, заброшенный в начале 2000-х гг., без последующих антропогенных нарушений, расположенный в пределах зоны широколиственных лесов на выровненной водораздельной поверхности. На исследуемый участок была сформирована прерывистая временная серия всех

имеющихся космических снимков очень высокого и сверхвысокого разрешения за 2004-2015 гг. Для восполнения пробелов в пространственно-временной реконструкции расселения древесной растительности по залежи с 2013 г. ежегодно проводится разносезонная съемка беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) со сверхмалых высот (100–200 м). В качестве производных материалов съемки с БПЛА использовались полученные на основе данных съемки с БПЛА фотограмметрические плотные облака точек, достаточные для извлечения количественных параметров древесной растительности на небольших по площади участках (Dandois, Ellis, 2013) и строящаяся по результатам их тематической классификации цифровая модель древесного полога, используемая для количественной оценки и моделирования структурных параметров древесной растительности и их изменений во времени (Lisein et al., 2013).

Имеющаяся временная серия космических снимков позволила датировать время выведения залежи из оборота 2005 г., выделить два периода наиболее активного возобновления древесной растительности, происходившего в 2007-2009 гг. от стен леса, в более поздний период – от изолированных очагов в центре залежи. Количественный анализ разновременных моделей древесного полога, полученный по материалам съемки с БПЛА, позволил детально картографировать основные структурные параметры формирующейся на залежи лесной растительности: высоту древесного полога, ежегодный максимальный вертикальный прирост древостоя, плотность стволов и сомкнутость крон. Выявлена существенная пространственно-временная неоднородность протекания постагрогенной сукцессии: в частности, на участках залежи, удаленных от примыкающих к ней лесных массивов, где возобновление древесной растительности имело очаговый характер и началось лишь спустя 8-10 лет после прекращения сельскохозяйственного использования территории, в настоящее время отмечается резкое увеличение вертикального прироста древостоя до 35-40 см в год, максимальные в пределах всей залежи высоты сформировавшегося древесного полога (6-7 м) при меньшей плотности отдельных стволов и более низкой сомкнутости древостоя.

Исследование выполняется по теме ГЗ №0148-2019-0010 «Геоинформационно-картографический анализ и дистанционный мониторинг взаимодействия природы и общества».

#### ЛИТЕРАТУРА

- Dandois J.P., Ellis E.C.* High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision // *Remote Sensing of Environment*, 2013. V. 136. P. 259-276.
- de Beurs K., Ioffe G., Nefedova T., Henebry G.* Land Change in European Russia: 1982–2011 // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Springer, 2017. P. 223–241.
- Lisein J., Pierrot-Deseilligny M., Bonnet S., Lejeune P. A.* photogrammetric workflow for the creation of a Forest Canopy Height Model from small unmanned aerial system imagery // *Forests*, 2013. V. 4. № 4. P. 922-944.

## **REMOTE HIGHLY-DETAILED MONITORING OF FOREST OVERGROWTH ON ABANDONED AGRICULTURAL LANDS**

A.A. MEDVEDEV, N.O. TELNOVA, A.V. KUDIKOV

INSTITUTE OF GEOGRAPHY RAS

Report presents the results of spatial-temporal reconstruction of tree overgrowth on abandoned agricultural lands based on multitemporal and highly-detailed remote sensing data from satellites and unmanned air vehicles. Use of three-dimensional multitemporal data (digital tree canopy height models) allowed to distinguish spatial-temporal pattern of tree ressetkement on fallow.

## **МОНИТОРИНГ ОБВОДНЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

М.А. МЕДВЕДЕВА, Д.А. МАКАРОВ, А.А. МАСЛОВ, А.А. СИРИН

ФГБУН ИНСТИТУТ ЛЕСОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

В работе представлена методика анализа спутниковых данных Spot-4, Spot-5, Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 за вегетационный и снежный сезоны для оценки эффективности проведенных работ по обводнению, а также динамики растительного/земельного покрова обводненных торфяников Московской области.

С начала 1990-х было заброшено много торфяников, осушенных и освоенных для добычи торфа, преимущественно фрезерным способом. Их рекультивации не проводилось, и они стали основными объектами торфяных пожаров (Сирин и др., 2011). Наиболее эффективный путь снижения пожарной и, в целом, экологической опасности таких земель, при отсутствии оснований возвращения их в хозяйственный оборот, – обводнение и искусственное заболачивание. Это требует определения первоочередных объектов обводнения и последующего мониторинга для оценки эффективности этих мероприятий. Необходимо отметить значительные размеры, труднопроходимость и сложность наземного картографирования таких объектов, растительный покров которых отличается высокой мозаичностью и разнонаправленной динамикой из-за чувствительности к погодно-климатическим условиям отдельных лет и периодического повторения торфяных пожаров (Аверкин и др., 2016; Медведева и др., 2017).

В 2010 году Правительством РФ была поставлена задача по борьбе с текущими пожарами и предотвращению потенциальных пожаров на осушенных, выработанных и нерекультивированных торфяниках. В рамках выполнения подпрограммы «Повышение пожарной безопасности торфяников, расположенных на территории Московской области», программы Московской области «Экология Подмосковья в 2011-2013 гг. были проведены мероприятия по обводнению 77 осушенных торфяных месторождений на площади 73049 га.

Авторами анализируется эффективность проведенных работ, а также динамика растительного/земельного покрова обводненных торфяников Московской области. Работа проводилась на основе дистанционных данных со спутников Spot-4, Spot-5, Landsat-5, Landsat-7,

Landsat-8, Sentinel-2 как за вегетационный сезон, так и за зимний период. Использована методика классификация растительности, разработанная ранее на базе данных Landsat-5 и Landsat-7 (Медведева и др., 2011, Sirin et al., 2018) и которая была признана достаточной для решения рассматриваемых задач, будучи апробированной как в Национальном Парке Мещера (Медведева и др., 2011), так и в Московской области (Аверкин и др., 2016). Она предполагает выделение шести классов растительного покрова: 1. участки открытого и горевшего торфа с разреженным растительным покровом («открытый торф»); 2. кипрейные, вейниковые и березово-вейниковые сообщества (с низкорослым подростом березы), формирующиеся при зарастании открытого торфа («трава»); 3. сообщества с преобладанием сосны различной степени угнетенности («хвойный лес»); 4. сообщества с преобладанием ивы и березы на зарастающих фрезерных полях («лиственный лес»); 5. гидрофильные сообщества с рогозом и камышом на обводненных участках («гидрофильные сообщества»); 6. водоемы, образовавшиеся в результате естественного или искусственного затопления или подтопления участков торфяников («водоемы»). Классы 1 и 2 характеризуются наиболее низкими уровнями болотных вод (УБВ), периодически сильно высыхающей поверхностью почвы и наиболее высокой пожарной опасностью. Класс 5 характеризуется значениями УБВ, близкими к поверхности почвы. Относящиеся к классам 5 и 6 площади в дальнейшем будут развиваться как водно-болотные угодья. Для уточнения классификации используются зимние данные, позволяющие наиболее эффективным образом отделить покрытую снегом территорию нелесных участков от части лесных областей с уже опавшим с крон снегом. Проверка точности классификации проводилась в 2017 году по 285 точкам наземных данных, выбранных методом случайного распределения.

Работа проводилась при поддержке проектов «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS К Восстановление торфяных болот), РФФИ 16-05-00762 и РНФ 19-74-20185.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аверкин В.В.* и др. Информационный выпуск «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2015 году». М.: ИП Алексахин АА, 2016. 206 с.
- Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А.* Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 80–88.
- Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А.* Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84.
- Сирин А.А., Минаева Т.Ю., Возбранная А.Е., Барталев С.А.* Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
- Sirin A., Medvedeva M., Maslov A., Vozbrannaya A.* Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data // Land. 2018. V.7. № 71. 22 p.

# MONITORING OF REWETTED PEATLANDS IN MOSCOW OBLAST BASED ON MULTISPECTRAL SATELLITE DATA

M.A. MEDVEDEVA, D.A. MAKAROV, A.A. SIRIN, A.A. MASLOV  
INSTITUTE OF FOREST SCIENCE, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

The approach based on analysis of Spot-4, Spot-5, Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 remote sensing data for vegetation and snow cover periods to assess the effectiveness of rewetting activities, as well as dynamics of vegetation/land cover changes occur in rewetted peatlands in Moscow Oblast is presented.

УДК 004.94:574.3

## ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ (НА ПРИМЕРЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА)

С.Г. МИХАЛАП

ФГБОУ ВО ПСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В работе представлены сведения о моделировании пригодности местообитания грызунов в южной части ядра Центрально-Лесного биосферного заповедника с использованием метода максимальной энтропии. Моделирование выполнялось с использованием интегральных данных ДЗЗ, полученных со спутников Sentinel-2 и ASTER GDEM. На основе данных ДЗЗ были созданы растровые слои средовых характеристик, использованные для расчета моделей пригодности местообитаний, выполненных в программе MaxEnt. Полученные модели адекватно отражают пригодность местообитаний, что подтверждено многолетними полевыми исследованиями.

В настоящее время среди ряда методов моделирования пригодности местообитаний живых организмов следует отметить метод максимальной энтропии, который успешно реализован в программе MaxEnt (Phillips et al., 2006; Phillips, Dudik, 2008; Stigall, 2012; Тупиков, Украинский, 2016). Результатами его применения является модель с прогнозными вероятностями присутствия вида в каждой ячейке растрового изображения в области проводимого исследования. Для создания модели необходимо два основных набора данных: точки присутствия вида с указанием координат его находок и растровые слои с информацией о параметрах местообитания для территории, в рамках которой планируется исследование.

Моделирование пригодности местообитаний проводилось для рыжей полевки (*Myodes glareolus Schreb.*) – самого многочисленного вида на территории заповедника.

Полевые данные по присутствию рыжей полевки на территории Центрально-Лесного заповедника получены в ходе серии отловов в 2010-2014 гг., реализованных в южной части заповедного ядра. В процессе моделирования были использованы такие характеристики среды, как цифровые данные о рельефе местности (GDEM) спутника ASTER с разрешением 30 на 30 м., данные о параметрах растительности, полученные в ходе дешифровки спутниковой сцены Sentinel-2 и скорректированные при помощи полевых экспериментальных проверок, а также спектральные (вегетационные) индексы, отражающие степень развития растительности во время вегетации (NDVI), смену типов растительности (GRVI) и отношение площади

проективного покрытия листьев к площади исследуемого участка (LAI). Все этапы подготовки данных осуществлялись в программе QGIS 3.6.

В ходе моделирования было выявлено, что лучшая модель (AUC=0,818, стандартное отклонение = 0,045;  $p < 0,05$ ) получается при использовании bootstrap-метода с 500 итерациями. Согласно экспертной шкале (Davis, Goadrich, 2006), качество полученной модели можно охарактеризовать как очень хорошее. Наиболее существенный вклад в размещение рыжей полевки вносит рельеф местности (вклад составляет 66%). На втором месте идет тип растительности, показывающей общий вклад на уровне 28,8%. После итерационной процедуры увеличился вклад в модель GRVI-индекса, определяющего смену типов растительности, т.е. косвенно отражающего границы между фитоценозами в континууме среды.

В целом, полученная модель адекватно отражает вероятность отлова рыжей полевки в районе исследования, поскольку в зонах высокой вероятности встречи вида на любой фазе популяционного цикла регулярно отмечается наличие зверьков. Это позволяет утверждать, что моделирование на основе данных ДЗЗ позволяет получить вполне адекватные модели пригодности местообитания, что значительно сокращает затраты на инвентаризационные исследования. Также такие модели могут найти широкое применение при исследованиях пространственной структуры популяций организмов и в факторной экологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

Тупиков А.И., Украинский П.А. 2016. Сравнительный анализ различных подходов к моделированию видового ареала в программе Maxent (на примере узорчатого полоза и степной гадюки) // Научные ведомости. Серия естественные науки. № 4 (225). Вып. 34. С. 71 – 84.

Davis J., Goadrich M. 2006. The relationship between Precision-Recall and ROC curves. Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning. ACM. P. 233–240.

Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecol. Model. V. 190. P. 231–259.

Phillips S.J., Dudik M., 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. V. 31. P. 161–175.

Stigall A.L., 2012. Using ecological niche modelling to evaluate niche stability in deep time // J. Biogeography. V. 39. P. 772–781.

#### **EXPERIENCE OF MODELING OF SPATIAL DISTRIBUTION OF ORGANISMS ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA (ON THE EXAMPLE OF SMALL MAMMALS OF THE CENTRAL FOREST RESERVE)**

S.G. MIKHALAP

PSKOV STATE UNIVERSITY

The paper presents data on the modeling of habitat suitability for the rodent guild in the southern part of the Central Forest Reserve. For the modelling maximum entropy method was used in the course of which integral remote sensing data obtained from the Sentinel-2 and ASTER GDEM satellites were used. On the basis of these data, layers of environmental characteristics were created, which were subsequently used to create the habitat models of the habitats in the MaxEnt program. The obtained models relevant reflect the suitability of habitats, as evidenced by field studies.



# ДЕШИФРИРОВАНИЕ БОЛОТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРА ЛИСИНСКОГО НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО И УЧЕБНОГО ПОЛИГОНА

Ч.Т. НГУЕН

ЦЕНТР ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА  
ЮГО-ВОСТОЧНОГО ВЬЕТНАМА  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. С.М. КИРОВА

Анализ сведений об изучаемых болотах показал, что площадь болот растёт в направлении от северо-запада к юго-востоку. Контрастность границ, видимость болот и переувлажнённых земель связана с инфракрасной ближней зоной. По материалам аэросъёмки мы построили сетки линий стекания воды и определяли расположение генетического центра каждого болота.

Исследования проводились на территории северной части Лисинского научно исследовательского и учебного полигона (ЛНИиУП) и части Гатчинского участкового лесничества Ленинградской области.

Проведено дешифрирование панхроматических и спектрзональных аэроснимков. Кроме того, были использованы космические снимки различных диапазонов и их сочетаний. Методом совмещенного анализа проведено сравнение аэрокосмических снимков различных спектральных диапазонов с топографической картой для выявления наиболее информативных космических снимков. Используемые снимки сделаны с помощью съёмочной системы Landsat TM и Landsat ETM+, съёмка проводилась ранним летом и в середине лета.

При дешифрировании материалов дистанционного зондирования Земли применён метод ландшафтных и экологических индикаторов, разработанный Д.М. Киреевым в 1975г. (Киреев, 2007). Для выявления природных территориальных комплексов этот метод предусматривает интерпретацию всех имеющихся ландшафтных источников информации (ЛИИ).

В качестве ЛИИ использованы геологические карты дочетвертичных и четвертичных отложений, геологическая карта четвертичных отложений Б.Ф. Землякова, тематические карты Атласа Ленинградской области, планы лесонасаждений и лесоустроительные отчёты различных лет лесоустройства. Кроме этих материалов, были проанализированы карты болот и растительности.

В область исследования включены 14 различных болот. Тип низинный торфяной залежи была самой высокой с 43%, за ней следует тип верховой торфяной залежи с 29%, остальные - с различными значениями между этими крайними. Большинство болот имеют небольшую площадь. Кауштинское и Форносовское являются двумя крупнейшими болотами, расположенными на юго-востоке исследуемой территории (Торфяной фонд. ..., 1950).

Изучаемая территория расположена на территории Ленинградской области на двух ландшафтах – Ижорском и Лужско-Тосненском. Из 14 болот, целиком или частично находя-

щихся на изучаемой территории, 7 из них относятся к Ижорскому, а 7 – к Лужско-Тосненскому ландшафту (Нгуен, 2018).

В заключении можно отметить, что при сравнении ландшафтных характеристик изученных болот отчётливо видно - на всех этапах их развития на производительность лесов после проведённого осушения ведущее влияние оказывает литогенная основа каждого из болот (Галкин, 1955; Киреев, 2007). Анализ сведений об этих болотах показал, что площадь болот растёт в направлении от северо-запада к юго-востоку. Камеральные предварительно составленные ландшафтные карты помогают спланировать полевые работы, определить генетический центр каждого болота, места прохождения в натуре ландшафтных профилей и точек бурения торфяной залежи. Построение сетки линий стекания воды объясняет размещение и тип водно-минерального питания болотных фаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

Галкина Е.А. Болотные ландшафты лесной зоны / Вопросы аэрофотосъёмки : географ. сб. – Вып. 7. – М.; Л.: АН ССР, 1955. –С. 75–84.

Киреев Д.М. Ландшафтоведение. Лесное ландшафтоведение. Учебное пособие для студентов, магистрантов и аспирантов направления «Лесное дело». Учебно-научное издание. Санкт-Петербург: издательство Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 2007. — 540 с. + Прил. [64] с. ил. (604 с.). ISBN № 978-5-9239-0096-5

Нгуен Ч.Т., Сергеева В.Л. Сравнительный анализ структуры двух смежных ландшафтов Ленинградской области / Матер. III междунар. научно-технической конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» 23–24 мая 2018 г. СПб: СПб ГЛТУ. 2018. Т. 1. С. 211–213.

Торфяной фонд СССР. Ленинградская область. Торфяной фонд Ленинградской области по состоянию разведанности на 01 января 1950 года. Москва: изд-во Главное управление торфяного фонда. 1950. 509 с.

#### DECRYPTION OF THE SANDY TERRITORIES OF THE NORTHERN LYSINSKY SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATIONAL POLYGON

T.T NGUYEN

SOUTH EASTERN FOREST RESEARCH & EXPERIMENTAL CENTRE  
ST. PETERSBURG STATE FORESTRY UNIVERSITY. SM. KIROV

Analysis of the data on the studied wetlands showed that the area of the swamps is growing in the direction from the north-west to the south-east. Contrast boundaries, the appearance of wetlands and wetlands is associated with the infrared near zone. Based on aerial survey materials, we constructed grids of water runoff lines and determined the location of the genetic center of each swamp.

УДК 528.88:630\*5

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ РЕСУРС-П1/ГЕОТОН-Л1 НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОРОГОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Д. НИКИТИНА, С. В. КНЯЗЕВА, Н. В. КОРОЛЕВА, С. П. ЭЙДЛИНА

ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

В докладе приведены результаты оценки тесноты связей между биометрическими характеристиками сосновых и черноольховых лесов (средние возраст, высота и диаметр стволов деревьев) в национальном парке «Куршская

коса» и параметрами сегментации изображения лесного полога на космических снимках сверхвысокого разрешения Ресурс-П1/Геотон-Л1.

Среди множества алгоритмов обработки изображений сверхвысокого пространственного разрешения важное место занимает метод пороговой сегментации, который, несмотря на простоту алгоритма, позволяет получать достаточно надежные результаты при выявлении взаимосвязей яркостных параметров изображений с характеристиками лесных фитоценозов (Mora et. al., 2010; Жирин и др., 2018).

Для эксперимента использованы разносезонные космические снимки с пространственным разрешением около 1 м, полученные отечественным спутником Ресурс-П1 съемочной аппаратурой Геотон-Л1 на территорию национального парка «Куршская коса». Выбраны изображения в панхроматическом диапазоне 0,58 – 0,8 мкм, снятые в весенний (31.03.2017) и летний (09.06.2018) сезоны. Биометрические характеристики лесной растительности, включающие средний возраст, высоту, диаметр ствола, представлены таксационными данными, полученными в результате лесоустройства территории парка в 2016 г. Для статистического анализа отобраны таксационные выделы, с участием в составе древостоя более 6 единиц преобладающей породы. Всего было выбрано 823 выдела с преобладанием сосны обыкновенной и 350 выделов с преобладанием черной ольхи.

В процессе пороговой сегментации изображений выделены затененные участки выделов, различающихся друг от друга, как средней яркостью, так и численностью пикселей, для которых соблюдается определенный заданный критерий однородности (диапазон яркости). Для летнего изображения затененных межкроновых промежутков выбрано 13 пороговых яркостных значений, для весеннего изображения - 14 пороговых яркостных значений. На основе пороговых значений яркости проведено сегментирование изображений и созданы маски для каждого диапазона яркости теневых межкроновых промежутков древесного полога сосновых и черноольховых лесов.

Статистические характеристики яркостных диапазонов, включающие средние яркости и соотношения числа пикселей теневых межкроновых промежутков к общему числу пикселей выдела, использованы в качестве переменных для регрессионного анализа оценки тесноты связи с характеристиками древостоев. Использование избыточного набора переменных величин позволяет избежать субъективного выбора показателей сегментации. Значимые величины переменных определяются на основе матриц парной корреляции каждого из пороговых значений с биометрическими характеристиками лесов (Жирин и др., 2018).

Регрессионный анализ проведен программными средствами пакета STATISTICA на основе линейной и кусочно-линейной функций моделирования биометрических характеристик. Линейная зависимость между возрастом, высотой, диаметром стволов и параметрами сег-

ментации летнего и весеннего изображений выражена слабо (коэффициент детерминации  $R^2$  менее 0,42). Кусочно-линейная регрессионная модель значительно лучше описывает зависимости рассматриваемых параметров. Коэффициент детерминации для моделей возраста, высоты и диаметров стволов сосновых древостоев по снимкам марта и июня варьирует в пределах от 0,75 до 0,8, что характеризует достаточно высокую тесноту связи пороговых значений сегментации и биометрических характеристик. Для черноольховых лесов величины коэффициентов детерминации ниже как для июньского ( $R^2=0,53-0,69$ ), так и для мартовского изображений ( $R^2=0,48-0,70$ ). Средние квадратические ошибки (RMSE) моделей при определении высоты деревьев находятся в диапазоне от 2.2 до 2.6 м, а при определении диаметра стволов – в диапазоне от 3.8 до 4.1 см. Наиболее высокие значения RMSE отмечены при моделировании возраста древостоя: около 14 лет для сосняков, и около 12 лет для черноольшаников.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 17-05-01129 «Оценка биометрических и морфоструктурных параметров лесных фитоценозов на основе детальной аэрокосмической съемки» (тематическая обработка данных) и ГЗ ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7 «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем» (выбор и предварительная обработка дистанционных данных).

#### ЛИТЕРАТУРА

Жиринов В.М., Князева С.В., Эйдлиная С.П. Оценка биометрических параметров насаждений по изображениям межкоронового пространства на космических снимках сверхвысокого разрешения // Лесоведение. 2018. № 3. С. 163-177

Mora B., Wulder M., White J. Identifying leading species using tree crown metrics derived from very high spatial resolution imagery in a boreal forest environment // Can. J. Remote Sensing, 2010. Vol. 36. No. 4. P. 332–344

#### **ASSESSMENT OF BIOMETRIC PARAMETERS OF FOREST VEGETATION BY SATELLITE DATA RESOURCE-P1/GEOTON-L1 BASED ON THE METHOD OF THRESHOLD SEGMENTATION OF IMAGES**

A. D. NIKITINA, S. V. KNYAZEVA, N. V. KOROLEVA., S. P. EYDLINA

CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY RAS

The article deals with the results of assessing of the relationship between the biometric characteristics of pine and black alder forests (average age, height and diameter of tree trunks) in the Curonian Spit National Park and parameters of segmentation of the forest canopy image of ultra-high resolution satellite images Resource-P1 / Geoton-L1.  
УДК 528.88, 630\*524.4

#### **ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВЕТРОВАЛОВ С ПОМОЩЬЮ КОСМОСНИМКОВ SENTINEL-2В НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

С.С. ОГУРЦОВ<sup>1</sup>, В.А. ГОРЯИНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК»

<sup>2</sup> ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ВАЛДАЙСКИЙ»

С помощью данных спутника Sentinel-2В проведена оценка площади лесных вывалов Центрально-Лесного заповедника, произошедших после ветровалов в 2017 и 2018 гг. Наилучшие результаты достигнуты при двойной классификации на уровнях 10 и 20 м. Разность полигонов классификаций дала сплошные ветровальные участки

без ложных полигонов и частично стоячего леса. Применение таких индексов, как NBR, не позволило достоверно выделить поврежденные участки леса и зависило площади ветровалов.

Территория Центрально-Лесного биосферного заповедника (24 415 га; Тверская обл.) считается эталонным участком бореальных лесов южно-таежной группы. За последние годы здесь произошло два сильных ветровала (2 августа 2017 г. и 21 апреля 2018 г.), в результате которых выпала часть леса. Ветровалы оказывают сильное воздействие как на структуру, так и на функционирование лесных экосистем (Скворцова и др., 1983). Перед началом работ по оценке этого воздействия необходимо определить их масштаб и локализацию. На первом этапе было решено определить общую площадь сплошных вывалов леса с помощью данных дистанционного зондирования. Было поставлено 2 задачи: провести классификацию спутниковых снимков с выявлением участков ветровалов; провести оценку точности полученных участков и сравнить их с данными полевых наблюдений. Выполнение задач состояло из следующих этапов: 1) подбор сцен снимков; 2) выбор комбинаций каналов и индексов для классификации; 3) дешифрирование и классификация; 4) векторизация; 5) оценка точности результатов. Все процедуры проводили в ГИС ArcGIS 10.4 и QGIS 2.14.8.

Для оценки площадей вываленного леса в 2017 и 2018 гг. использовали мультиспектральные данные спутника Sentinel-2B (Earth Online, 2014) от 19 августа 2017 г. и 26 мая 2018 г. соответственно. Разрешение слоев составляло от 10 до 60 м. Классификацию проводили методом максимального подобия, для которой был создан слой обучающей выборки. Оценку классов в обучающей выборке проводили с помощью гистограммы и диаграммы рассеивания. Пост-классификационная обработка состояла из фильтрации (удаления лишнего шума), сглаживания границ классов (улучшения геометрического вида) и генерализации (доочистки изображения от остаточных изолированных регионов). Помимо этого, были применены спектральные вегетационные индексы, которые подходят для дешифрирования поврежденных лесных насаждений (Сидельник и др., 2018). Из всех индексов наиболее показательным для нашей территории оказался нормализованный разностной индекс гарей (NBR), который используется в процессе определения границ потенциальных лесных гарей, вырубок и потенциально – ветровалов.

Для набора растровых данных с разрешением 10 м была выбрана комбинация каналов B08, B04, B03. Для ветровалов 2017 г. она показала площадь 82 га, а в 2018 г. – 150 га. Для набора растровых данных с разрешением 20 м выбрана комбинация B12, B11, B04. Площади ветровалов в 2017 и 2018 гг. составили 160 и 256 га соответственно. При применении индекса NBR площади за 2017 и 2018 гг. составили 377 и 412 га. Из результатов видно, что с увеличением разрешения классифицируемого снимка, увеличивается площадь полигонов, по-

страдавших от ветровала. Наибольшие значения получились при использовании индекса NBR, но эти результаты не подтвердились полевыми обследованиями.

Кроме различий в площадях, отмечены различия в точности классификации участков ветровалов. Так, результаты классификации растрового набора с разрешением 10 м (классификация 1) включают ложные полигоны сосняков по верховым болотам, но участки ветровалов, которые вошли в слой, имеют четкие контуры. Результат классификации с разрешением 20 м (классификация 2) показал только участки ветровалов, однако контура генерализованные и захватывают не только сплошные ветровалы, но и частично стоячий лес. В результате, мы наложили два слоя друг на друга и оставили только те полигоны из классификации 1, которые пересекались с полигонами из классификации 2, удалив таким образом «ложные» сосняки и частично стоячий лес и уточнив контура сплошных ветровалов. Полученный результат составил 73,5 га в 2017 г. и 129,2 га в 2018 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

Скворцова Е.Б., Уланова Н.Г., Басевич В.Ф. Экологическая роль ветровалов. М.: Лесная промышленность, 1983. 192 с.

Сидельник Н. Я., Пушкин А.А., Ковалевский С. В. Картирование поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий с использованием материалов космической съемки и ГИС-технологий // Труды БГТУ. 2018. Серия 1. № 1. С. 5-12.

Earth Online. ESA EO Missions. Sentinel-2. <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2>

#### **ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF WINDFALLS USING SENTINEL-2B SATELLITE IMAGES ON THE TERRITORY OF THE CENTRAL FOREST NATURE RESERVE**

S.S. OGURTSOV<sup>1</sup>, V.A. GORYAINOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CENTRAL FOREST NATURE RESERVE

<sup>2</sup> NATIONAL PARK “VALDAYSKIY”

With the help of Sentinel-2B satellite data, an assessment was made of the area of forest damages occurring after windfalls, which happened in 2017 and 2018 years in the Central Forest Nature Reserve. The best results were achieved with a double classification at the levels of 10 and 20 m. The difference between the polygons of these classifications provided continuous windfalls without false polygons and partially standing forest. The use of such indices as NBR did not allow to reliably isolate the damaged forest areas and overestimated the area of windfalls.

УДК 581.52:528.88

#### **ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОГО МАКРОСКЛОНА ЗАПАДНОГО КАВКАЗА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Р.Х. ПШЕГУСОВ, Ф.А. ТЕМБОТОВА, Ю.М. САБЛИРОВА

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИМ. А.К. ТЕМБОТОВА РАН

В работе приводятся результаты оценки способов картографирования растительных сообществ в различных ландшафтно-климатических условиях Западного Кавказа при помощи данных дистанционного зондирования, а также вопросы пространственного распределения хвойных лесов.

Одним из вопросов в исследованиях лесных экосистем Северо-Западного Кавказа является отсутствие актуального картографирования хвойных лесов на всем протяжении Северного Кавказа (Темботова и др., 2012) в целом, и Западного Кавказа в частности. Выявление факторов, определяющих наличие тех или иных видов и их устойчивых комбинаций (растительных сообществ) в каждой конкретной точке – задача, важная как с практической (для мониторинга и сохранения биоразнообразия на всех уровнях, планирования хозяйственных мероприятий и т.д.), так и с теоретической (установление экологических параметров распространения видов, закономерностей формирования растительных сообществ) точки зрения.

В ходе исследования была поставлена задача определения параметрических переменных, отражающих наиболее значимые факторы распространения растительных сообществ на основе синтеза полевых и дистанционных данных.

Для оценки параметров текущей пространственной локализации использовались снимки среднего пространственного разрешения Landsat 8 OLI/TRS от 13 сентября 2018 г. (ID сцены LC81730302018256LGN00), пространственный анализ и интерполяция результатов осуществлялась посредством регрессионного и дискриминантного анализов и моделей регрессионных/классификационных деревьев (Пузаченко, 2004).

В результате регрессионного анализа из 60 переменных дистанционного зондирования, в совокупности характеризующих вегетационные, термодинамические составляющие и морфометрические характеристики рельефа, значимыми оказались 18. Так же отметим высокое значение коэффициентов регрессии ( $R=0,73$ ;  $R^2=0,7114$ ; накопленный  $R^2=0,7144$ ;  $F(19,43)=2929.4$ ), что указывает на высокую степень прогностической способности указанных переменных при моделировании пространственного распределения хвойных лесов на территории исследования.

С целью первичной классификации нами были построены общие регрессионные и классифицирующие деревья (ОР&КД). Результаты отображения важности переменных в классификационном анализе в целом соответствуют таковым в регрессионном, однако здесь значимыми оказались параметры рельефа (высота над уровнем моря и экспозиция склона), а из спектральных переменных - вегетационные индексы.

Для последующей классификации и моделирования типов леса нами был проведен дискриминантный анализ при оценочной вероятности встречаемости (строится на частоте встречаемости типов леса в обучающей выборке) с обратным пошаговым включением переменных при уровне F-критерия=1. В целом высокие результаты правильного распознавания (в среднем 95,5%), значения коэффициента регрессии и результаты построения классификационных деревьев указывают на высокую прогностическую

способность как обучающей выборки, так и созданной интерполяционной модели. Так согласно построенной модели площадь лесов с доминированием хвойных пород в районе исследований составляет 38,8 тыс. га (14% от площади территории исследования). Они преимущественно приурочены к крутым (25-30° и больше) северным и западным склонам (60-70% площадей склонов данных экспозиций), в интервале высот от 1000 до 2000 м над ур. м.

Полученные параметрические значения дискриминантных функций и средние значения предикторов позволяют использовать их в дальнейшем при распознавании и классификации типов леса снимков прошлого периода для формирования модели пространственно-временной динамики хвойных лесов Западного Кавказа.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 408 с.

*Темботова Ф.А., Пшегусов Р.Х., Тлупова Ю.М.* Леса северного макросклона Центрального Кавказа (эльбрусский и терский варианты поясности) // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. В 2-х кн. Кн. 1. М.: КМК, 2012. С. 227–251.

#### **THE MAIN REGULARITIES OF THE SPATIAL LOCALIZATION OF VARIOUS TYPES OF THE CONIFEROUS FORESTS OF THE WESTERN CAUCASUS BY REMOTE SENSING**

R.KH. PSHEGUSOV, F.A. TEMBOTOVA, Yu.M. SABLIROVA

TEMBOTOV INSTITUTE OF ECOLOGY OF MOUNTAIN TERRITORIES RAS

The paper presents the results of evaluation of methods of mapping plant communities in different landscape and climatic conditions of the west Caucasus using remote sensing data, as well as the spatial distribution of coniferous forests.

УДК 57.036:504.064.37

#### **ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНДЕКСА ЛЕСИСТОСТИ И ТЕМАТИЧЕСКОЙ РАЗНОСТИ ПИКСЕЛОВ В МОНИТОРИНГЕ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТ ПОЖАРОВ**

Ю.Ф.РОЖКОВ<sup>1</sup>, М.Ю.КОНДАКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК «ОЛЕКМИНСКИЙ»

<sup>2</sup> ФГБУ «ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Использование временных серий космических снимков Landsat позволяет проследить динамику процессов лесовосстановления, лесообразования. Проведена оценка использования кластерного анализа распределения пикселей (неуправляемой классификации методом ISODATA и тематической разности) для мониторинга процесса восстановления лесов от пожара. Рассчитан индекс лесистости участков гари. Рассмотрена взаимосвязь между изменением индекса лесистости во времени и тематической разностью пикселей.

Использование временных серий космических снимков позволяет проследить динамику процесса лесовосстановления после пожаров, оценить различные аспекты процесса лесообразования (Жиринов и др., 2013). Процессы лесовосстановления оцениваются по динамике



изменений спектральной яркости мультиспектральных снимков и индексов (Жири́н и др., 2013; Рожков, Кондакова, 2017). Целью настоящего исследования было сравнение динамики изменения индекса, характеризующего лесистость (Исаев и др., 2009) и тематической разности пикселей в процессе лесовосстановления после пожара.

При проведении неуправляемой классификации по методу ISODATA на два класса, в 1-й класс попадают пиксели с наименьшими и малыми значениями спектральной яркости (в случае покрытых лесом территорий – это площади с густым древостоем). Во 2-м классе сосредоточены пиксели с высокими значениями спектральной яркости (это площади с открытыми пространствами, редколесья и пустоши). Классификация на два класса позволяет определить индекс, характеризующий лесистость (Исаев и др., 2009) как отношение площади, покрытой лесной растительностью, к общей площади:  $D = df/S$ , где  $D$  – лесистость;  $df$  – площадь, покрытая лесной растительностью, м<sup>2</sup>;  $S$  – общая площадь территории, м<sup>2</sup>. Для установления связи между индексом, характеризующим лесистость и тематической разностью пикселей, была проведена классификация серии снимков Landsat и их фрагментов на 2, 4, 6 классов. При расчете тематической разности была определена разность между подклассами. При классификации на 4 класса получается пара разностей (разность между 1 и 4 рядом тематической разности и разность между 2 и 3 рядом). При этом сумма двух разностей равна разности при классификации на два класса. При классификации на 6 шесть классов получают две пары разностей. В результате анализа процесса лесовосстановления были установлены следующие закономерности изменения индекса, характеризующего лесистость и разности между классами тематической разности пикселей:

1. Индекс изменяется в широких пределах в диапазоне от 0 до +1. При этом синхронно изменяется показатель тематической разности между 1 и 2 классами при классификации на 2 класса. От отрицательных значений до 0 при значениях индекса – 0.5. Все положительные значения тематической разности отмечены при значениях индекса, характеризующего лесистость выше 0.5.

2. При восстановлении лесов после пожара увеличивается индекс лесистости во времени и показатель тематической разности между 1 и 2 классами при классификации на 2 класса. Чем более интенсивно идет процесс зарастания гари, тем более резко увеличивается индекс, характеризующий лесистость и разность между 1 и 2 классами.

3. В случае отрицательных значений разности между классами тематической разности увеличивается разброс между долей смешанных подклассов и долей подклассов с максимальными и минимальными значениями спектральной яркости пикселей при уменьшении индекса, характеризующего лесистость. При этом, доля подклассов с минимальными и мак-

симальными значениями спектральной яркости всегда больше доли смешанных подклассов (с промежуточными значениями спектральной яркости пикселей).

4. В случае положительных значений разности между классами тематической разности увеличивается разброс между долей смешанных подклассов и долей подклассов с максимальными и минимальными значениями спектральной яркости пикселей с увеличением индекса, характеризующего лесистость (от 0.5 и выше). При этом, доля смешанных подклассов всегда больше доли подклассов с минимальными и максимальными значениями спектральной яркости.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Жирин В.М., Князева С.В., Эйшлина С.П.* Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам // Лесоведение. 2013. № 5. С. 76–85.

*Исаев А.С., Князева С.В., Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В.* Использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия лесов // Исследование Земли из космоса. 2009. № 2. С. 1–12.

*Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.* Оценка процесса восстановления лесов после пожара с использованием кластерного анализа при дешифрировании космических снимков // Вестник Северо-Восточного федерального университета. 2017. № 2(58). С. 38–49.

### **INTERRELATION OF THE FORESTRY INDEX AND THEMATIC DIFFERENCE OF PIXELS IN MONITORING THE PROCESS OF FOREST RESTORATION FROM FIRE**

Y. F. ROZHKOV<sup>1</sup>, M. Y. KONDAKOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>STATE NATURAL RESERVE "OLEKMINSKY "

<sup>2</sup>HYDROCHEMICAL INSTITUTE

The use of time series of Landsat satellite images allows tracing the dynamics of reforestation and forest formation. An assessment of the use of cluster analysis of the distribution of pixels (uncontrolled classification by the ISODATA method and thematic difference) for monitoring the process of forest restoration from a fire was carried out. The forest cover index of burning areas is calculated. The relationship between the change in the forest cover index in time and the thematic pixel difference is considered.

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ**

С.Г. РУСЕЦКИЙ, Д.Ю. ЖИЛИНСКИЙ

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ НАН БЕЛАРУСИ

В докладе затронута проблема инвентаризации и оценки влияния мелиоративных каналов, расположенных в пределах болотных экосистем. Представлен метод дистанционной оценки локального влияния каналов на растительный покров, основанный на выявлении изменчивости растительности по градиенту расстояния от канала.

Антропогенная трансформация болотных экосистем главным образом связана с осушительной мелиорацией, при которой главным воздействующим фактором является создание сети мелиоративных каналов. В большинстве своем мелиоративные сети создавались в середине прошлого века и к настоящему времени значительная часть из них утратила свое хозяйственное значение, функциональность и доступность, и поэтому, в свете

нарастающей природоохранной активности, важным является вопрос инвентаризации и оценки отрицательного воздействия существующих мелиоративных систем на природные комплексы.

Для первичной широкомасштабной оценки текущего воздействия существующих мелиоративных сетей, которая сузила бы фокус внимания и наметила приоритетность природоохранных мероприятий, целесообразно использовать данные дистанционного зондирования. Вопросу их использования, с целью выявления зон влияния каналов на состояние растительного покрова, и посвящена данная работа.

Предлагаемый нами подход, опирается на свойство континуальности распространения растительного покрова. Воздействие локальных внешних факторов вносит возмущение в естественное распределение компонентов экосистемы, наиболее значимым из которых, в случае воздействия каналов, является гидрологический режим. Изменение гидрологических параметров характеризуется выраженным градиентом вдоль перпендикуляра к линии канала, что в свою очередь отражается на структуре и продуктивности растительных сообществ. Следовательно, при выявлении направленного изменения индикаторного показателя состояния растительности (мы использовали NDVI) по линии перпендикуляра к каналу, мы можем говорить о его влиянии на экосистему, определить его силу и дальность распространения.

Таким образом, определение зоны влияния канала в какой-либо его точке сводится к установлению дистанций вдоль противоположно направленных перпендикуляров, отложенных от точки канала, на которых отмечается максимальная корреляционная связь с NDVI, при условии отсутствия высокой корреляции по объединенной линии перпендикуляра.

Алгоритм выявления зон влияния каналов предполагает наличие векторного или растрового слоя канальной сети и выглядит следующим образом:

1. Генерируется растр расстояний до объектов линейной сети;
2. Для каждой точки линейного объекта определяются азимуты, указывающие направления противоположно направленных перпендикуляров в данной точке;
3. Для каждого азимута из соответствующих растров производится выборка всех пар значений *дистанция – индикатор* в пределах контура прямоугольника, длинной стороной ориентированного по азимуту, и опирающегося на текущую точку серединой короткой стороны;
4. Выборка всех пар значений упорядочивается по возрастанию значения *дистанция* и начиная с некоторого заданного  $n$  (мы принимали равным 9) до  $N$ , равного размеру выборки с некоторым шагом  $i$ , формируются подвыборки пар значений, для каждой из которых

рассчитываются параметры линейной аппроксимации (коэффициент детерминации –  $r^2$  и угол наклона линии регрессии –  $k$ );

5. *Дистанция*, для которой  $r^2$  оказывается максимальным, принимается как определяющая зону влияния (предварительно).

6. Выборки пар для каждой точки по обоим азимутам объединяются и для этой объединенной выборки так же рассчитываются параметры линейной модели.

7. Для точек со значением  $r^2 > 0.7$  по одному, или  $r^2 > 0.7$  по обоим азимутам и  $r^2 < 0.7$  для объединенного перпендикуляра, по соответствующему направлению строится отрезок длиной, определенной на шаге 5 со значением, равным  $k$ .

Длина отрезка интерпретируется как дальность зоны влияния, а значение как изменение на единицу длины. Следует отметить, что необходимыми условиями применимости данного подхода являются непрерывность и условная однородность растительного покрова в зоне исследования предполагаемого влияния, поскольку наличие резких смен растительности (например, минеральный остров среди болота) приводит к «ограничению» выделяемой зоны.

## **INFLUENCE ASSESSMENT OF DRAINAGE CANALS ON VEGETATION USING REMOTE SENSING DATA**

S.G. RUSSETSKI, D.YU. ZHYLINSKI

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

The report concern with a problem of inventory and impact assessment of drainage canals located within bog ecosystems. A remote assessment method of the canals local influence on vegetation cover based on identifying the variability of vegetation along a gradient of distance is presented.

УДК 504.3;574:528

## **ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОГО САХАЛИНА ПОЖАРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Р.Н. САБИРОВ<sup>1</sup>, В.А. МЕЛКИЙ<sup>2</sup>, А.А. ВЕРХОТУРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ДВО РАН ИНСТИТУТ МОРСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО САХАЛИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Приводятся результаты оценки нарушений лесного покрова многолетними природными пожарами в северной части Сахалина, включающей Ногликский и Охинский районы. Здесь господствуют лиственные леса, которые в засушливые периоды обладают очень высокой степенью горимости. В лесах Северного Сахалина за последние тридцать лет регулярно происходили пожары, которыми, по данным дистанционного зондирования, уничтожена лесная растительность на 18% ее общей площади.

Леса на острове Сахалин являются господствующим типом растительности, из которых около 80% составляют хвойные леса. За свою многолетнюю историю развития таежные леса региона регулярно подвергались лесным пожарам. С 1945 года, когда начали проводить учет

лесных пожаров на Сахалине, по настоящее время произошло более 6 тыс. возгораний и ими было пройдено около 25% площади гослесфонда (Сабилов, Сабирова, 2011). За последние полвека лесные пожары происходили, главным образом, на Северном Сахалине, в состав которого входят Охинский и Ногликский районы с одноименными лесничествами.

Господствующее положение среди лесной растительности в северной части острова занимают лиственничники, сформированные из *Larix cajanderi* Mayr. Так, доля лиственничных лесов в Охинском районе достигает 70% лесопокрытой площади, а в Ногликском районе – 64%. Темнохвойные леса с доминированием *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.) и *Abies sachalinensis* Fr. Schmidt, занимают 12% лесопокрытых земель в Охинском и 28% – в Ногликском районах. Каменноберезовая формация в двух рассматриваемых районах покрывает небольшие площади и составляет по 2% их лесного фонда. При этом после лесных пожаров часто наблюдается расширение площадей каменноберезняков за счет сгоревших лиственничных или темнохвойных лесов. Осиновые и белоберезовые леса в северной части острова встречаются лишь фрагментарно, общая площадь их не превышает 1,5% лесопокрытых земель. Формация кедрового стланика в Ногликском и Охинском районах занимает, соответственно, 5 и 13% лесопокрытой площади.

Таким образом, в северной части Сахалина в растительном покрове господствуют хвойные леса из лиственничной, пихтово-еловой и кедровостланиковой формаций, суммарная площадь которых в Ногликском районе составляет 649047 га или 97% покрытых лесом земель, а в Охинском – 792858 га (95%). Сложившаяся структура лесной растительности в целом и предопределяет частоту и степень горимости лесов в северной части острова. При этом около 33% лесов Охинского района характеризуются высокой и очень высокой степенью горимости, а в Ногликском районе к высоким I–II классам пожарной опасности (Стародумов, 1966) относятся 48% площади лесов, основная часть которых представлена сухими типами лесов – лишайниковыми и кедровостланиковыми лиственничниками.

По данным Министерства лесного и охотничьего хозяйства Сахалинской области за последние 30 лет в каждом из указанных районов произошло более 400 пожаров. Наиболее крупные лесные пожары произошли в 1989, 1998 и 2004 гг.

Исследование космических изображений территории Северного Сахалина, полученных со спутников Terra и Landsat в период с 1998 по 2018 г., с последующим картографированием лесного покрова (Барталев, Ершов, 2001; Сабиров, Мелкий, 2006; Lessel, Seccato, 2016) позволило определить, что частые и масштабные пожары в северных районах острова привели к существенной трансформации лесной растительности и весьма значительному увеличению безлесных площадей. В настоящее время на рассматриваемой территории насчитывается около 419353 га гарей, что составляет почти 18% ее общей площади. При этом на отдель-

ных участках, пройденных пожарами, происходят начальные стадии послепожарных лесовосстановительных сукцессий, площадь которых в целом достигает 52488 га (2,24%).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Барталев С.А., Ершов Д.В.* Картографирование бореальных лесов Евразии с использованием спутниковых данных SPOT/VEGETATION // Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами. Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Муром, ВлГУ, 2001. С. 183–186.

*Сабиров Р.Н., Сабирова Н.Д.* Многолетняя динамика лесных пожаров на Сахалине // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2011. С. 179–180.

*Сабиров Р.Н., Мелкий В.А.* Оценка продуктивности лесов острова Сахалина по данным дистанционного зондирования // Природопользование на Дальнем Востоке России: материалы научной конференции. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. С. 90–93.

*Стародумов А.М.* Новая шкала пожарной опасности лесных участков для условий Дальнего Востока // Сборник трудов ДальНИИЛХ. Вып. VIII. Хабаровск. 1966. С. 399–406.

*Lessel J., Ceccato P.* Creating a basic customizable framework for crop detection using Landsat imagery // International journal of remote sensing, 2016, No 37 (24), pp. 6097-6107

### **AEROSPACE METHODS OF EVALUATION OF DISORDERS BY FIRES OF THE FOREST COVER OF NORTHERN SAKHALIN**

R.N. SABIROV<sup>1</sup>, V.A. MELKIY<sup>2</sup>, A.A. VERKHOTUROV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTE OF MARINE GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF FEB RAS

<sup>2</sup> SAKHALIN STATE UNIVERSITY

The results of the assessment of violations forest cover by long-term natural fires in the of the Northern part of Sakhalin, including Nogliki and Okhinsky districts, are presented. Is dominated by larch forest, which in dry conditions have very high degree of goremote. Over the past half-century, fires regularly occur in the forests of Northern Sakhalin, which destroyed the woody vegetation to 18%.

УДК 630.9

### **СТРУКТУРА ТИПОВ ЛЕСОВ КЛАСТЕРНОГО УЧАСТКА «ШАНЧЫ» ПРИРОДНОГО ПАРКА «ТЫВА» ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ**

А.Д. САМБУУ

ТУВИНСКИЙ ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СО РАН

Большая часть территории кластерного участка "Шанчы" (площадь 49000 га) природного парка "Тыва" расположена на землях лесного фонда государственного казенного учреждения Республики Тыва "Сут-Хольское лесничество" и "Ак-Дуругское лесничество" (28454,0 га). В растительном покрове четко проявляется вертикальная поясность, на которую накладывается влияние зоны степей. На ее формирование оказывает влияние гумидный климат равнин Сибири и аридный котловин Монголии. В вертикальном распространении растительности огромную роль играют инверсии температур, свойственные районам с континентальным климатом. Растительность кластера наименее изменена антропогенным воздействием.

В результате исследования растительного покрова кластерного участка «Шанчы» в период 2015-2018 гг. на основе интерпретации материалов дистанционных съемок была выявлена структура основных типов лесов:

Ирисово-злаковый (8,6 %) занимает средние части западных и юго-западных, нижние части крутых северных склонов, пологие шлейфы северных, восточных и западных склонов, обращенных к узким меридианальным межгорным депрессиям в Тувинскую котловину на высоте 900–1700 м НУМ. Почва горная дерновая, горно-лесная серая от легкосуглинистой до среднесуглинистой, III–V класс бонитета. Возобновление удовлетворительное или слабое со средней густоты подлеском, подвержено сильной пастбищной нагрузке. Покров: осока, ирис, мятлик, овсяница, прострел, вероника, тимофеевка.

Ирисово-разнотравный (11,9 %) имеет наибольшее распространение и занимает днища глубоких балок в полосе лесостепных холмистых предгорий на высоте 900–1000 м НУМ. Почвы серые лесные супесчаные свежие, II–IV класс бонитета. Удовлетворительный подрост с редким подлеском, испытывающим пастбищную нагрузку. Покров густой: ирис, костер, осока, костяника, вейник.

Зеленомошно-багульниковый (21,9 %) занимает нижние пологие части крутых западных и верхние пологие части северных склонов на высоте 1000–1500 м НУМ. Почва от горно-таежной кислой неоподзоленной среднесуглинистой до горной мерзлотно-таежной торфянисто-перегнойной легкосуглинистой, III–V класс бонитета. Подрост слабый, подлесок редкий. Покров средней густоты: багульник, брусника, голубика, зеленые мхи.

Разнотравно-брусничный (22,7 %) занимает северные части крутых западных, средние крутые части северных и среднекрутые северные склоны на высоте 1500–1700 м НУМ. Почвы дерновые неоподзоленные или слабо оподзоленные легкосуглинистые свежие, III–V класс бонитета. Благонадежный подрост с густым подлеском и напочвенным покровом из брусники, вейника, майника, грушанки, овсяницы, мятлика.

Рододендроново-брусничный (12,1 %) занимает северные склоны крутых гребней гор и верхние части крутых юго-западных склонов на высоте 1700–2100 м НУМ. Почва горная дерновая неоподзоленная маломощная или скелетная, IV–Va класс бонитета. Удовлетворительный, реже слабый подрост с подлеском средней густоты. Покров: бадан, брусника, осока, мятлик, ирис, вероника.

Зеленомошно-бадановый (10,9 %) занимает крутые привершинные части, верхние пологие части, седловины и их пологие части северных склонов на высоте 2000–2100 м НУМ. Почва от горной легкосуглинистой до мерзлотно-таежной торфянисто-перегнойной суглинистой, V–Va класс бонитета. Подрост слабый, реже удовлетворительный с редким подлеском. Покров: зеленые мхи, сфагнум, бадан, злаки, брусника, багульник.

Другие типы леса составляют 11,9 % (злаково-карагановый остепненных южных склонов, редкотравно-злаковый, долгомошно-багульниковый, мятликосый, осочково-

вейниковый, ерниковый на мерзлотных почвах депрессий, бруснично-рододендроновый, ирисово-осочковый, долинный.

Покрытые лесом земли лесного фонда Шагонарского лесхоза составляют 80,6 %. Не покрытые лесом составляют 3,8 %, в том числе: редины – 1 %, гари и погибшие лесонасаждения – 2,4 %, вырубki – 0,2 % и прогалины – 0,2 %. Нелесные земли – 15,5 %.

Средний класс бонитета по всем породам – IV,3. Наибольшее распространение имеют насаждения III класса бонитета – 20,3 %, IV – 36,2 %, и V – 28 %. Средняя полнота 0,59. Низкополнотные насаждения (0,3–0,4) составляют 13,4 %, с полнотами 0,5–0,7 – 76,9 %, 0,8 и выше – 9,7 %. По породному составу (площади и запасу) преобладают хвойные породы (90,2 %), в том числе лиственница – 65 %, кедр – 26 %. По возрастной структуре древостои представлены: I–II классы возраста – 11 %, III–IV – 35,2 %, IV – 10,1 %, VII–VIII – 26,3 %, IX–X – 13,2 %, и XI класс возраста и выше – 4,2 %. В лиственничных насаждениях преобладают приспевающая и спелая группа возраста (61,4 %).

Исследования выполнены при поддержке РФФИ № 18-44-170001– «р\_а».

## **THE STRUCTURE OF THE FOREST TYPES OF CLUSTER PLOT "SHANCHY" NATURE PARK "TYVA" USING REMOTE SENSING DATA**

A.D. SAMBOU

TUVAN INSTITUTE FOR THE EXPLORATION OF NATURAL RESOURCES SB RAS

Most of the territory of the cluster site "Shanchi" (area 49000 ha) of the natural Park "Tuva" is located on the lands of the forest Fund of the state state institution of the Republic of Tuva "Sut-Khol forestry" and "AK-Durug forestry" (28454.0 ha). In the vegetation of the pronounced vertical zoning, which is the influence of the steppe zone. Its formation is influenced by the humid climate of the plains of Siberia and arid basins of Mongolia. In the vertical distribution of vegetation play a huge role temperature inversions characteristic of areas with continental climate. The vegetation of the cluster is the least changed by anthropogenic impact.

УДК 621.317.3

## **МИКРОВОЛНОВЫЙ РАДИОМЕТР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С МАЛОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬ- НОГО АППАРАТА**

А.В.УБАЙЧИН

ФГАОУВО НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В докладе приводится описание нового микроволнового радиометра, предназначенного для исследования лесных и сельскохозяйственных угодий. Использование метода нулевых измерений в разработанном радиометре позволяет повысить его устойчивость к изменяющимся факторам внешней среды. Оригинальная конструкция разработанного радиометра позволяет понизить энергопотребление и реализовать мультиспектральные исследования с малых летательных аппаратов с автономным питанием.



Для проведения пассивных дистанционных исследований лесных массивов и сельскохозяйственных угодий с борта малого беспилотного летательного аппарата разработан многоспектральный микроволновый радиометр с пониженным энергопотреблением. Реализованный мультиспектральный принцип исследований позволяет получать информацию о глубинной структуре исследуемой поверхности за один измерительный цикл.

По сравнению с существующими микроволновыми радиометрами (Camps et al., 2010), использование метода нулевых измерений в предложенном радиометре позволяет повысить устойчивость к изменяющимся факторам внешней среды без термостатирования радиометрического приемника (Убайчин и др. 2016). Это приводит к улучшению энергопотребления радиометра и повышает эффективность применения малых беспилотных летательных аппаратов с автономным питанием в исследовательских задачах.

В классических нулевых радиометрах (Filatov et al., 2012) во входной высокочастотной части используются направленные ответвители, активные генераторы шума и переключатели для управления действием мощности генераторов шума на входе радиометрического приемника. Для использования в составе бортовой аппаратуры малых беспилотных летательных аппаратов подобная структура является избыточной – увеличивает размеры и массу измерительного прибора. Для решения этой проблемы предложено использование специализированных опорных генераторов низкотемпературного шума на основе комбинированных активных источников, что позволило упростить входную высокочастотную часть до уровня модуляционных радиометров.

Отличительной особенностью предложенного микроволнового радиометра является упрощение низкочастотной измерительной части за счет отсутствия аналого-цифрового преобразователя. Использованный принцип уравнивания вольт-секундных площадей измеряемых сигналов основывается на измерении опорного сигнала пассивного генератора шума с потенциалом общей шины по принципу простого сравнения. Это подход позволяет использовать компаратор нуля в качестве устройства преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Заложенный принцип уравнивания энергии измеряемого сигнала при помощи опорных источников шума позволяет линейно связать сигнал антенны со скважностью периодической импульсной последовательности, осуществляющей управление процессом уравнивания. На разработанном радиометре проведена серия лабораторных испытаний по оценке флуктуационной чувствительности и устойчивости к изменяющимся факторам внешней среды. Результаты измерений показали, что флуктуационная чувствительность разработанного радиометра находится на уровне существующих стационарных радиометрических систем. Влияние изменяющихся факторов внешней среды (температуры) минимизировано до уровня единиц процентов от величины измеряемого динамического диапазона входных шумовых

температур. Реализованный принцип мультиспектральных измерений позволяет использовать предложенный микроволновый радиометр в качестве основы для создания бортовых микроволновых гиперспектрометров, позволяющих проводить исследования в десятках и сотнях спектральных диапазонов.

В настоящее время проводится оптимизация массогабаритных параметров антенной системы для проведения летных испытаний. Использование предложенного радиометра очевидно найдет свое место в задачах экологического мониторинга лесных массивов и сельскохозяйственных угодий, оценке интегральной влажности подстилающей поверхности, исследовании интенсивности подповерхностного горения и других актуальных областях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00045).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Убайчин А.В., Абдирасул уулу Т., Алексеев Е.В., Данилов Д.Н., Жук Г.Г., Ташходжаев А.С., Филатов А.В.* Бортовая микроволновая радиометрическая система с высокой динамикой измерения // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 4.С. 62-65.

*Camps A., Tarongi J.M.* Microwave radiometer resolution optimization using variable observation times // Remote Sensing. 2010. Vol. 2. pp. 1826–1843.

*Filatov A.V., Ubaichin A.V.* The dynamic properties of a digital radiometer system and its operating efficiency // Measurement Techniques. 2012. Vol.54. No. 10. pp. 1-6.

### **NEW MICROWAVE RADIOMETER FOR EARTH REMOTE SENSING BY SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLE**

A.V. UBAYCHIN

NATIONAL RESEARCH TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY

The report describes the new microwave radiometer intended for the study of forest and agricultural land. Using the method of zero measurements in the developed radiometer allows to increase its stability to changing environmental factors. The original design of the developed radiometer allows to reduce power consumption and to implement multi-spectral studies from small unmanned aircraft with autonomous power supply.

УДК 630.

### **МОНИТОРИНГ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЛЕСОВ МЕТОДАМИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Н.Б. ФАДЕЕВ <sup>1</sup>, Т.Н. СКРЫПИЦЫНА <sup>2</sup>, В.М. КУРКОВ <sup>2</sup>, В.А. ЛЕБЕДЕВ <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕКАРСТВЕННЫХ И АРОМАТИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ (ВИЛАР)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ (МИИГАИК)

Многие виды деревьев являются лекарственными растениями и в медицине применяются их части. Для адекватной характеристики лесных биоценозов необходимо определение высоты деревьев и площади сообществ. В нашем исследовании использована комбинация различных методов высокодетального дистанционно зондирования (в том числе, лазерное сканирование) для локализации конкретных видов деревьев, их подроста, а также определения их высоты, площади биоценозов и биомассы по высотным характеристикам.

Одним из ключевых параметров экосистем является их биомасса (накопление углерода, запас воды, и т.д.). Многие виды деревьев (береза бородавчатая, дуб черешчатый, тополь, пихта сибирская, рябина обыкновенная, сосна обыкновенная) и кустарников (боярышник, жостер) являются лекарственными растениями и в медицине применяются их части – листья, почки, плоды, кора, сок, эфирные масла, смола (живица). Кроме того, деревья являются субстратом для роста грибов, многие из которых являются лекарственными (чага, березовая губка, лиственничная губка, шиитаке и др.).

Для определения биомассы деревьев и кустарников одним из важнейших показателей является их высота и площадь их сообществ.

При использовании дистанционных методов зондирования лесных биоценозов мы сталкиваемся с рядом проблем. Среди них: выделение границ лесных биотопов в смешанных лесах, из-за большой трудоемкости интерактивного визуального дешифрирования (Архипов и др., 2014; Haijian and Changshan, 1991); учет влияния рельефа при определении высоты деревьев дистанционными методами (сложность выделения реального рельефа, который скрыт под кронами деревьев); высокие требования по качеству аэрофотоснимков (детализация, отсутствие смаза изображения, светотеневая обстановка).

В нашем исследовании использована комбинация различных методов высокодетального дистанционно зондирования для локализации конкретных видов деревьев, их подроста, а также определения их высоты и биомассы по высотным характеристикам.

Объектом исследования являются лесные сообщества на территории Заокского геополгона МИИГАиК в Заокском районе Тульской области. На территории геополгона представлены различные формы рельефа (в долине рек Оки и Скниги) – пересеченный рельеф с надпойменными террасами и оползневыми склонами, оврагами (Фадеев и др., 2016). Эта территория относится к подзоне южной тайги и большинство лесов здесь представлены вторичными лесами (осинник березовый, осинник сосновый, березняк (подрост), березняк осинный, осинник, ивняк пойменный).

На данную территорию имелись данные воздушного лазерного сканирования (ВЛС) 2012 Leica RS-150, материалы съемки с БВС разных сезонов года (апрель 2016 г., июль 2015 г.) Все материалы были привязаны по наземным опорным данным в единую систему координат (WGS 84/UTM 37N). Фотограмметрическая обработка данных производилась в системах Photomod 6 и AgiSoft Photoscan. Для анализа данных использовалась ГИС MapInfo 16 Pro.

После анализа данных ВЛС были получены цифровые модели рельефа (ЦМР) под лесным покровом. По данным летней аэрофотосъемки с БВС (июль 2015 г.) была построена цифровая модель поверхности по кронам деревьев и верхушкам травянистых растений (раз-

мер пикселя – 0,5 м). По результатам весенней съемки с БВС (апрель 2016 г.) в стереорежиме была выполнена верификация точности ЦМР – проведены контрольные измерения высот деревьев и дифференциация хвойных и лиственных пород деревьев.

Так как для определения породного состава деревьев и их биомассы важно вычленить их высотные градации, то было выполнено вычитание моделей поверхности и ЦМР. По полученной матрице разности высот производилась высотная классификация растений и картирование границ конкретных лесных сообществ по породному составу.

В результате проведенных исследований удалось выделить области древесной растительности различной высоты и определить площади их произрастания. Площади определялись по количеству и размеру ячейки (0,25 м) матрицы разности высот. Таким образом, получились следующие величины: подрост деревьев 2,5-10 м -136370 м<sup>2</sup> (10,24%), лиственный лес 10-28 м -779355 м<sup>2</sup> (58,72%), сосновый лес 28-38 м -159804 м<sup>2</sup> (11,99%). Средняя плотность березняка – 86 деревьев на 1 га (площадь проекции кроны 1 дерева – 15 - 20 м<sup>2</sup>); плотность соснового смешанного леса – 29 сосен на 1 га (площадь проекции кроны 1 дерева – 25 м<sup>2</sup>).

Далее, по стереоизображениям летней и весенней съемки был определен видовой состав древесной растительности в выделенных участках. Присутствовали следующие виды деревьев: береза бородавчатая, осина обыкновенная, сосна обыкновенная, ель европейская, ива.

Для проверки точности и достоверности вычислений, высота растительности была так же измерена в стереорежиме (в системе Photomod 6) в количестве 3000 измерений. Таким образом, еще одним способом была определена биомасса деревьев. Разность определения двумя методами составила по визуальным контрольным измерениям 0,5-1,5 м. Полученная разность в 3 – 5 % является допустимой ошибкой для учета биомассы природных биотопов.

Для определения биомассы лесных биотопов было использовано несколько методов дистанционного зондирования – воздушное лазерное сканирование, одновременная съемка с БВС. Общая обследованная площадь лесных сообществ составила 107,5 га, из них, подрост деревьев - 10,24%, лиственный лес - 58,72%, сосновый лес - 11,99%. Площади лесных биотопов определялись по разности высот ЦМР и ЦМП и верифицировались по стереоизображениям, полученным с БВС. Биомасса вычислялась двумя способами – разница составила 12 %.

Метод определения биомассы по стереоизображению является высокоточным и объективным, но требует дополнительного оборудования, программного обеспечения и квалифицированных специалистов. Тогда, как использование метода сравнения матриц высот (рельефа и растительного покрова), дает возможность автоматизации и упрощения выполняемых работ.

## ЛИТЕРАТУРА

*Архинов В.И., Березин В.И., Черниковский Д.М.* Новая технология стереоскопической таксации лесов «От съемки - к проекту». // Геопрофи. 2014. №4. С. 17-22.

*Фадеев Н. Б., Скрыпичкина Т. Н., Курков В. М.* Современные геоинформационные технологии в ресурсо-ведении лекарственных растений // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. № 6. С. 68–73.

*Haijian Liu, Changshan Wu.* Incorporating Crown Shape Information for Identifying Ash Tree Species // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2018. Vol. 84. No.8. P. 495–503. DOI: 10.14358/PERS.84.8.495.

## MONITORING OF MEDICINAL PLANTS OF THE FORESTS BY PHOTOGRAMMETRIC METHODS

N.B. FADEEV<sup>1</sup>, T.N. SKRYPITSYNA<sup>2</sup>, V.M. KURKOV<sup>2</sup>, V.A. LEBEDEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS (VILAR), RUSSIA

<sup>2</sup>MOSCOW STATE UNIVERSITY OF GEODESY AND CARTOGRAPHY, MOSCOW, RUSSIA

The many species of trees are medicinal plants and their parts are used in medicine. To adequately characterize forest biocenoses, it is necessary to determine the height of trees and the area of communities. In our study, a combination of various highly detailed photogrammetric methods (including laser scanning) was used to localize specific tree species, their undergrowth, as well as determine their height, area of the biocenoses and biomass using altitude characteristics.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT 8 И SENTINEL-2 ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СПЛОШНЫХ И ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК ЛЕСА

Т.С. ХОВРАТОВИЧ, С.А. БАРТАЛЕВ, А.А. ИВАНОВА

ФГБУН ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

В докладе приводится сравнение результатов применения метода выявления изменений лесов, разработанного в ИКИ РАН, для детектирования сплошных и выборочных рубок леса в 2016 году на тестовых участках в Приморском крае и Республике Удмуртия. Анализируются основные причины различия точности детектирования изменений на двух тестовых участках: доминирующий способ рубки, пространственное разрешение спутниковых данных, выбор даты съемки и влияние рельефа местности.

Метод выявления изменений в лесу, разработанный в ИКИ РАН, был протестирован на двух, различающихся характером рубки, тестовых участках, в северо-западной части Приморского края и Республики Удмуртия. Согласно данным лесохозяйственных регламентов, на территории первого тестового участка доминирует выборочный способ рубки, в то время как на территории второго преобладают сплошные рубки. В качестве входных данных для детектирования изменений лесов использовались разновременные данные Landsat-OLI и Sentinel-2 2015-2017 годов, полученные в период с декабря по конец февраля с наличием снежного покрова на земной поверхности. На территорию тестовых участков с помощью информационной системы ВЕГА-Приморье (Лупян и др., 2016) и спутниковых данных, предоставляемых Центром коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015), построены карты рубок леса за 2016 год.

Общая площадь выявленных рубок леса в 2016 году на территории Республики Удмуртия составила 10761,6 га и 20061,9 га -- на территории тестового участка в Приморском крае. На тестовом участке в Республике Удмуртия отношение площади детектированных изменений в лесу, связанных с рубками, к общей вырубленной площади по официальным данным составляет 114,2%. Для тестового участка в Приморском крае, с долей выборочных рубок в составе рубок более 85%, аналогичный показатель равен 67,95%.

Различия результатов детектирования рубок на двух тестовых участках вызваны рядом причин. Во-первых, полнота и точность детектирования рубок зависит от размеров последних и преимущественно используемого в регионе способа рубки (сплошной или выборочный). Для фиксации изменений проективного покрытия полога леса с помощью спутниковых данных величина соответствующих различий значений коэффициента спектральной яркости должна превышать погрешность, вносимую другими мешающими факторами (Барталев и др., 2005). Поэтому точность детектирования участков переходных изменений, т.е. не приведших к образованию непокрытых лесом территорий, сильно зависит от выбора спутниковых данных. Использование данных, полученных в зимний период, дает возможность исключить влияние фенологических изменений состояния растительного на получаемый результат. Во-вторых, пространственное разрешение спутниковых изображений накладывает ограничения на вероятность выявления выборочных рубок. Проведенные эксперименты показали, что переход к более детальному пространственному разрешению спутниковых данных способен существенно повысить уровень детальности детектируемых участков выборочных рубок. В третьих, существенным мешающим фактором при анализе спутниковых изображений в Приморском крае является рельеф местности, особенно сильно проявляемый в данных зимнего периода съемки из-за низкой высоты Солнца. Хотя искажения вносимые рельефом местности частично компенсируются выбором близких дат разновременной спутниковой съемки, данный фактор оказывает значительное влияние и приводит к ложному выявлению изменений лесов. Проведенные эксперименты по оценке влияния распространенных методов топографической коррекции C-factor, Cosine, Percent и Minnaert на результат детектирования изменений продемонстрировали, что применение рассматриваемых методов топографической коррекции не улучшает точность и полноту детектирования изменений в регионе исследования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-77-30015).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Барталев С.А., Курятникова Т.С., Стибиг Х.Ю.* Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики рубок таежных лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса/ 2005. Выпуск 2. Т. 2 С. 217-227. 4.

Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Кашицкий А.В., Колбудаев П.А., Крамарева Л.С., Мазуров А.А., Оксюкевич А.Ю., Плотников Д.Е., Прошин А.А., Сенько К.С., Уваров И.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов "Вега-Приморье" // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 11-28. 5.

Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.

## **APPLICATION OF THE ALGORITHM OF CHANGING BY THE SATELLITE DATA OF LANDSAT 8 AND SENTINEL-2 FOR DETECTING CLEAR-CUTTING AND SELECTIVE LOGGING**

T. S. KHOVRATOVICH, S. A. BARTALEV, A. A. IVANOVA

SPACE RESEARCH INSTITUTE RAS

The presentation is devoted to application the method of change detection in forest, developed at IKI RAS for detecting clear-cutting and selective logging. The investigated method of detecting changes was tested on test sites in Primorsky Krai and the Republic of Udmurtia to map forest changes in year 2016. The differences in the accuracy of detecting changes in two test sites are analyzed: the dominant cutting method, the spatial resolution of satellite data, the choice of the shooting date and the influence of the terrain.

УДК 630\*1

## **ПОСТРОЕНИЕ ПЛАН-СХЕМЫ ПРОЕКЦИЙ КРОН ПОЛИДОМИНАНТНОГО ШИРОКОЛИСТВЕННОГО ДРЕВОСТОЯ ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ**

М.П. ШАШКОВ<sup>1,2</sup>, Н.В. ИВАНОВА<sup>1,2</sup>, В.Н. ШАНИН<sup>1,2,3</sup>, М.Н. СТАМЕНОВ<sup>1</sup>, П.Я. ГРАБАРНИК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПОЧВОВЕДЕНИЯ РАН

<sup>2</sup>ИНСТИТУТ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ БИОЛОГИИ РАН –  
ФИЛИАЛ ИПМ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН

<sup>3</sup>ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

Апробированы возможности визуального выделения проекций кроны и идентификации видов деревьев в полидоминантном широколиственном лесу по материалам ортофотопланов, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов — квадрокоптеров. Показано, что данный метод позволяет идентифицировать в основном деревья верхнего яруса. Выделение проекций кроны сильно затрудняется в случае группового произрастания деревьев одного вида. Для уверенной идентификации видов широколиственных деревьев необходима серия снимков разных сезонов.

В работе изучали возможность использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для получения ортофотопланов с целью выделения проекций кроны и идентификации видов деревьев. Объект исследований – постоянная пробная площадь (ППП) в 10.8 га, заложенная в широколиственном полидоминантном лесу в заповеднике «Калужские засеки». При закладке площади в 1988 г. был проведен пересчет древостоя, с помощью рулетки картографировано местоположение каждого дерева, для живых деревьев измерены радиусы проекций кроны на горизонтальную плоскость по 16-ти направлениям. Для каждого учетного дерева был определен вид и указан ярус. В 2016-2018 гг. выполнена актуализация исходного передела, в ходе которой указывался жизненный статус деревьев (живое / мертвое).

Для аэрофотосъемки использованы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) типа «квадрокоптер» фирмы DJI (КНР) моделей Phantom 4 и Phantom 4 Pro. Аэрофотосъемка ППП проводилась 1, 3 и 5 мая, а также 14 августа 2018 г. Полеты выполнялись в автоматическом режиме по широко используемому сценарию съемки mosaic flight mode (Shuhua, 2017) с перекрытием снимков 80–95%. Для избежания артефактов по краям ортофотоплана полетный план строился с учетом буферной зоны вокруг ППП шириной минимум в 2–3 полосы снимков (100–300 м, в зависимости от высоты и площади съемки).

Обработка изображений выполнена в программе для фотограмметрической обработки Agisoft PhotoScan, версия 1.4.2 Professional, и проходила в несколько этапов. На первом этапе выполнено автоматическое выравнивание изображений (*Align photos*) и построено разреженное облако точек в трехмерном пространстве. Затем, на основе данных о положении камеры, полученных на предыдущем этапе, и используемых фотографий, создано плотное облако точек (*Dense point clouds*), после чего построена цифровая модель поверхности (*Digital elevation model, DEM*). На заключительном этапе на основе выровненных фотографий и DEM построен ортофотоплан исследуемого участка.

При помощи визуального дешифрирования ортофотоплана в среде Quantum GIS 3.6 выполнена ручная векторизация проекций крон и экспертная идентификация видов деревьев. Полученная план-схема сравнивалась с результатами наземной съемки 1988 г. Сравнение проводилось на части пробной площади (2.4 га), где данные по проекциям крон были наиболее полными и представлены измерениями 1534 деревьев, из которых ко времени актуального перечета 543 погибло. Погибшие деревья были исключены из сравнения.

Результаты показали частичное соответствие между данными наземной съемки и план-схемой, построенной на основе современных ортофотопланов. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, по ортофотопланам в основном можно идентифицировать кроны деревьев 1 и 2 яруса. В анализируемой выборке измеренных наземными методами проекций крон только 48% деревьев относились к верхним ярусам древостоя. Во-вторых, в случае соседства деревьев одного вида сложно отделить кроны разных деревьев от обособленных частей кроны одного дерева. В-третьих, в процессе актуализации первичного перечёта стало очевидно, что местоположение некоторых деревьев было определено со значительной погрешностью, и требует корректировки. Анализ результатов работы также показал, что для уверенной идентификации видов широколиственных деревьев необходима серия снимков разных сезонов (от начала распускания листьев до начала листопада).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-14-00362).



## ЛИТЕРАТУРА

*Shuhua Yi*. FragMAP: a tool for long-term and cooperative monitoring and analysis of small-scale habitat fragmentation using an unmanned aerial vehicle // International Journal of Remote Sensing. 2017. V. 38:8–10. P. 2686–2697. DOI: 10.1080/01431161.2016.1253898.

### **RECOGNIZING OF CROWN PROJECTIONS IN POLYDOMINANT BROAD-LEAVED FOREST ON THE BASIS OF AERIAL PHOTOGRAPHY**

M.P. SHASHKOV<sup>1,2</sup>, N.V. IVANOVA<sup>1,2</sup>, V.N. SHANIN<sup>1,2,3</sup>, M.N. STAMENOV<sup>1</sup>, P.Y. GRABARNIK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTE OF PHYSICOCHEMICAL AND BIOLOGICAL PROBLEMS IN SOIL SCIENCES OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCE

<sup>2</sup> INSTITUTE OF MATHEMATICAL PROBLEMS OF BIOLOGY RAS – THE BRANCH OF KELDYSH INSTITUTE OF APPLIED MATHEMATICS OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

<sup>3</sup> CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCE

We tested the possibilities of applying the visual analysis to determine crown projections and identify tree species in polydominant broadleaved forest using the orthophotographs obtained with unmanned aerial vehicles – quadrocopters. We showed that the methods allows identifying mainly the trees in upper canopy layers. The determination of crown projections is more difficult when several trees of the same species are growing closely to each other's. For reliable identification of tree species the series of orthophotographs taken in different seasons of the year are required.

УДК 528.8

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СЕРВИС МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ LANDSAT 8, SENTINEL 2**

Д.А. ШЕВЕЛЕВ<sup>1</sup>, Е.Д. ДЕГТЯРЕВА<sup>1</sup>, А.Р. НИЗАМОВА<sup>1</sup>, С.И. МИХАЙЛОВ<sup>2</sup>

АНО ВО УНИВЕРСИТЕТ ИННОПОЛИС<sup>1</sup>  
ООО ИНТТЕРРА<sup>2</sup>

В докладе рассматриваются проблемы дистанционного мониторинга лесной растительности. Рассказано про разработку автоматизированного сервиса мониторинга лесной растительности по космическим снимкам. Приводятся результаты тестирования сервиса на пилотном участке Республики Татарстан.

В настоящее время в лесном хозяйстве данные дистанционного зондирования Земли применяются для инвентаризации и мониторинга лесного покрова, изучения воздействия на леса природных факторов и хозяйственной деятельности, исследования структуры и производительности лесной растительности (Сухих, 2005).

Создание и развитие современных информационных систем и технологий в лесном хозяйстве обусловлено необходимостью иметь оперативную и достоверную информацию о текущем состоянии лесов, используемую органами управления лесным фондом РФ.

Развитием в решении задач мониторинга лесов, управления лесным фондом и контроля лесохозяйственной деятельности может являться автоматизация процессов получения, предварительной и тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли. Автоматизация позволяет ускорить процессы обработки и классификации космических снимков, сократить количество экспертов-дешифровщиков и упростить процесс внедрения автомати-

зированных сервисов мониторинга лесного фонда в регионы с различными характеристиками лесного покрова.

Университетом Иннополис в рамках проекта «Цифровая модель Республики Татарстан», реализуемого согласно дорожной карте «Аэронет» Национальной технологической инициативы, для нужд Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан был разработан автоматизированный сервис мониторинга изменений в лесной растительности по космическим снимкам Landsat 8 и Sentinel 2.

В состав сервиса входит 5 взаимосвязанных модулей. Первый модуль позволяет производить ежедневный опрос источников космических снимков Landsat и Sentinel, их скачивание и каталогизацию. Модули 2 и 3 предназначены для предварительной обработки, тематической обработки и классификации снимков. На этапе предварительной обработки производится радиометрическая калибровка снимков, фильтрация облачности и выбор лесных кварталов, в пределах которых отсутствуют облака или тени от них. На этапе тематической обработки формируются аналитические продукты в виде мультитременных композитов космических снимков, индексов NDVI и CVI, RGB композитов с комбинацией 6-5-4 для Landsat 8 и 11-8A-4 для Sentinel 2. В модуле 4 реализованы алгоритмы пороговой классификации на основе аналитических продуктов. В результате классификации формируется векторный слой лесоизменений. Заключительный 5 модуль представляет собой рабочее место эксперта-дешифровщика для работы с результатами классификации и публикации данных в картографическом веб-вьюере. Сервис предназначен для оперативного выявления таких изменений в лесной растительности как вырубки, гари, лесопатология, карьеры и ветровалы.

На стадии прототипа сервиса проведен анализ 58 897 гектар лесного фонда пилотного Заинского лесничества Республики Татарстан. Для анализа и визуализации отраслевой информации было оцифровано по материалам Министерства лесного хозяйства РТ порядка 1456 объектов с границами участков и 406 объектов лесопатологии, гарей, карьеров для территории Заинского лесничества.

Прототип автоматизированного сервиса мониторинга лесного фонда позволил получить актуальную информация о состоянии лесного фонда пилотного лесничества. За период с 2013 по 2018 гг. по космическим снимкам было выявлено 352 объекта вырубок, в т.ч. 158 объектов вне границ отвода лесосек. По состоянию на 31.07.18 был выявлен 101 объект усыханий древесной растительности в Заинском лесничестве. Площадь выявленных объектов – от 0,2 до 26,5 га. Для 150 объектов вырубок и усыханий было проведено натурное обследование, 96 % всех обследованных объектов подтвердились. Также было установлено, что из 1456 объектов планируемых участков, 199 объектов не вырублено, из них 40 объектов санитарные рубки.

Использование автоматизированного сервиса мониторинга изменений позволит усилить контроль за использованием лесного фонда, повысить оперативность реагирования на возникающие нарушения, а также получать оперативную информацию о лесопатологическом состоянии лесов.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Сухих В. И.*, Проблема незаконных рубок в России и пути ее решения // Лесное хозяйство. 2005. № 4. С. 2-7.

*Петухов И.Н., Немчинова А.В., Грозовский С.А., Иванова Н.В.* Характер и степень повреждения лесных фитохор на участке массового ветровала Костромской области // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2011. № 5-6. С. 23-32.

#### **USING OF LANDSAT 8, SENTINEL-2 SATELLITE IMAGES FOR AUTOMATION MONITORING CHANGES IN FOREST VEGETATION**

D.A. SHEVELEV<sup>1</sup>, E.D. DEGTYAREVA<sup>1</sup>, A.R. NIZAMOVA<sup>1</sup>, S.I. MIKHAILOV<sup>2</sup>

INNOPOLIS UNIVERSITY<sup>1</sup>  
INTTERRA<sup>2</sup>

The report is considered the problem of remote monitoring of forest vegetation. It is told about the development of an automated service of monitoring forest vegetation using satellite images. The results of service testing on the pilot site of the Republic of Tatarstan are also given.

# **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ**

УДК 630\*160.2

## **ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГИС ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Ю.М. АВДЕЕВ, С.М. ХАМИТОВА, А.С. ПЕСТОВСКИЙ

ФГБОУ ВО ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В докладе приводится краткий обзор инновационных продуктов, широко применяющихся в современном лесном хозяйстве, таких как электронные ресурсы, географические информационные системы (ГИС-технологии) в области создания и редактирования картографического материала. Цифровая карта приходит на смену бумажному носителю. При использовании цифровой карты в качестве рабочего материала в нее можно вносить текущие изменения в лесном фонде.

Современное лесопользование базируется на решении разноплановых задач: рациональное использование лесного фонда, удовлетворение потребностей социума в древесном сырье и других недревесных продуктах леса, повышение защитных параметров насаждений, увеличение продуктивности лесных насаждений, охрану лесов от очагов пожаров, защиту от фито- и энтомо насекомых вредителей, воспроизводство и приумножение лесных ресурсов.

Планирование, проектирование и реализация мероприятий в лесном хозяйстве, контроль за качеством их выполнения, невозможны без применения карт с разной тематикой, точностью и масштабом. Лесные и тематические карты, схемы, абрисы, планшеты - это основной продукт лесоустройства, получаемый при государственной инвентаризации лесного фонда, также карты входят в состав проектов освоения лесов и используются службой авиалесоохраны.

В современном лесном хозяйстве широко применяются инновационные продукты, электронные ресурсы, географические информационные системы (ГИС-технологии) в области создания и редактирования картографического материала. Цифровая карта приходит на смену бумажному носителю. При использовании цифровой карты в качестве рабочего материала в нее можно вносить текущие изменения в лесном фонде.

В настоящее время применяется много программных продуктов от разных производителей: MapInfo, TopoL, ГеоГраф/GeoDraw, ЛабМастер, WinGIS/WinMap, ArcInfo, ArcView, MapEDIT, Easy Trace, ForsGIS, AviaFireProc, ERDAS, ГИС «Лесные пожары», ГИС «Лесные ресурсы» и т.д. Однако, как показывает опыт, проблема внедрения информационных систем при исследовании лесных и городских насаждений присутствует.

В условиях современности ГИС, которые применяются в лесном хозяйстве и лесоустроительных мероприятиях, имеют высокую востребованность и интенсивное развитие.

Лучше всего они могут использоваться для процесса автоматизации внесения изменений в лесоустроительные материалы и оптимизации управленческих решений в лесном фонде. Главное направление развития ГИС в ближайшем будущем – это улучшение интерфейса, повышение уровня надежности и степени автоматизации программ.

Зеленые городские насаждения - это типичный пример антропогенного воздействия на экосистемы, существенно влияющее на микроклимат и экологию города.

Городские зеленые насаждения смягчают суточные перепады температуры воздуха и понижают скорость ветра; теневые зоны растений и увеличение скорости испарения оказывают местный охлаждающий эффект территории, который создается только вблизи зеленых насаждений, поэтому в странах Европы крупные городские парки рассматриваются как производители прохладного воздуха, поступающего в летнее время в близлежащие здания. Эти парки могут быть созданы на основе естественных растительных массивов или насаждены искусственно.

Деревья и живые изгороди также издавна используются как защита от ветра. Снижение скорости ветра и изменения турбулентности воздуха значительно влияют на эффективность, с которой деревья очищают загрязненный воздух городской среды. Кроме того, изменяется местный ветровой климат, так как ветровые потоки влияют на концентрацию загрязнителей воздуха в зоне посадки.

Позитивные побочные эффекты линейных зеленых насаждений – это защита от шумового воздействия автотранспорта.

На формирование структуры зеленых насаждений и особенностей их функционирования влияет целый ряд антропогенных факторов: загрязнение атмосферы промышленными и автомобильными выбросами, техногенные загрязнения почв, недостаточно продуманные мероприятия по озеленению, в ходе которых структура местных растительных сообществ может нарушаться чужеродными видами или видами, не способными успешно существовать в загрязненной городской среде.

Наличие защитных насаждений не каждый раз приводит к понижению концентраций загрязняющих веществ на территории. У деревьев с обрезанными сучьями и густыми кронами, которые формируют классические аллеи в городах, большая часть загрязненного воздуха проходит под кроной и не очищается. Это необходимо компенсировать обильными посадками кустарников.

Ландшафтное планирование городских зеленых зон нельзя сводить к простому выбору местоположения площадок и составлению перечня видов, закупаемых для высаживания.

Необходимо стремиться спроектировать комплексную сбалансированную экосистему, сбалансированный видовой состав которой будет обеспечивать ее устойчивое суще-

ствование в черте города в течение десятков лет, вопреки загрязнению компонентов окружающей среды и рекреационной нагрузке.

Решить проблемы экологии городской среды позволит внедрение в сферу благоустройства и озеленения современных ГИС, применение которых, обеспечит получение систематизированной информации о состоянии озеленения в целом, площадях озелененных объектов, структуре насаждений.

## **REVIEW OF GIS APPLICATIONS IN THE STUDY OF FOREST STANDS**

YU.M. AVDEYEV, S. M. KHAMITOVA, A. S. PESTOVSKIY

VOLOGDA STATE UNIVERSITY

The report provides a brief overview of innovative products that are widely used in modern forestry, such as electronic resources, geographic information systems (GIS) in the creation and editing of cartographic material. Digital card comes to replace the paper. If you use a digital map as a working material, you can make current changes to the forest Fund.

УДК 630\*5/6

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ ВНЕДРЕНИЯ В ПРАКТИКУ ЛЕСОУЧЕТНЫХ РАБОТ УРАВНЕНИЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИАМЕТРА КРОН ДЕРЕВЬЕВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТАКСАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ В СЕВЕРО-ТАЕЖНОМ ЛЕСНОМ РАЙОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

А.П. БОГДАНОВ<sup>1</sup>, Р.А. АЛЕШКО<sup>1,2</sup>, А.С. ИЛЬИНЦЕВ<sup>1</sup>, ВАЦИЕТИС С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФБУ СЕВЕРНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО СЕВЕРНЫЙ АРКТИЧЕСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

В связи с развитием новых методов оценки насаждений, изучение степени тесноты и формы взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями не утратило свою актуальность. Для повышения точности оценки лесных насаждений по аэрофотоснимкам методом автоматизированного дешифрирования необходимо глубокое изучение степени тесноты и формы взаимосвязи между указанными показателями. Разработанные зависимости предполагают разработку методики и программы внедрения в практику лесоучетных работ уравнений зависимости диаметра кроны деревьев с различными таксационными показателями. Исследования направлены на реализацию идеи о выявлении наиболее достоверных (оптимальных) зависимостей между таксационными показателями и последующей разработкой уравнений при расчете искомых таксационных показателей.

Технологический цикл в лесной промышленности включает множество этапов: от заготовки лесных ресурсов до выпуска готовой продукции. Процессы в лесном хозяйстве как в России, так и в большинстве зарубежных стран характеризуются традиционным подходом к учету, обновлению и использованию информации о лесных ресурсах. Но в условиях конкурентной борьбы, существует острая необходимость во внедрении новых средств сбора и обработки данных. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) стало и остается одним из главных объективных источников информации о земной поверхности (Барталев С. А., Лупян Е. А., 2017; Сочилова Е.Н. и др., 2018; White J. C. et al., 2016; Hüttich C. Et al., 2014). Фактически, внедрение космических систем съемки высокого разрешения в совокупности с развити-

ем методов автоматизированной интерпретации цифровых изображений стало одним из главных двигателей цифровой трансформации производственных процессов. Однако, многолетний опыт применения систем спутникового мониторинга позволил выявить и ряд недостатков, в числе которых недостаточное пространственное разрешение данных, продолжительное время ожидания съемки, зависимость от облачности и других атмосферных процессов. С развитием технологий аккумуляции электрического заряда, электроники, появлением новых материалов, а также в процессе технического совершенствования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), цифровых камер, систем точного геопозиционирования появились новые средства сбора актуальной пространственной информации. Перечисленные технические и технологические новшества не привнесут изменений в существующую модель хозяйственной деятельности без создания эффективных методик обработки, анализа и интерпретации получаемых данных.

В последние несколько лет в международных научных исследованиях (Franklin S. E. et al., 2017; Valbuena R. et al., 2017; Giannetti F et al., 2018) все чаще применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для решения задач, требующих высокой детальности. Однако, методы и программные системы, предназначенные для интерпретации данных такого рода пока слабо представлены на международном рынке. А законченные программные решения, позволяющие с достаточным уровнем достоверности решать задачи в предметных областях, таких как лесное хозяйство, фактически отсутствуют.

Для изучения морфологической структуры полога древостоев, основных таксационных и дешифровочных показателей и взаимосвязей между ними использовались материалы обследования двенадцати (12) таксационно-дешифровочных пробных площадей (ТДПП) и десяти (10) таксационно-дешифровочных выделов (ТДВ). Пробные площади заложены в модальных насаждениях и характеризуют все наиболее распространенные по составу и возрасту, типам леса и группам полнот древостои Архангельского лесничества. Для проведения анализа зависимостей между таксационными показателями у основных лесобразующих пород обработаны значения диаметров крон, таксационных диаметров и высот у различных пород в количестве: ель – 305 шт; сосна – 133 шт; береза – 229 шт; осина – 88 шт. На территории дендросада ФБУ «СевНИИЛХ» с целью изучения возможностей использования съемки с БПЛА для проведения таксационного дешифрирования была выполнена аэросъемка участка, где заложены 15 пробных площадей размером 10 м на 10 м. В результате совместного изучения и анализа таксационных и дешифровочных показателей на пробных площадях и таксационных выделах, пройденных выборочно-перечислительной таксацией изучены взаимосвязи между дешифровочным и таксационным показателями.

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания №5.

## ЛИТЕРАТУРА

Барталев С. А., Лулян Е. А. Основные направления и результаты развития методологии спутникового картографирования растительного покрова России //7-я международная научно-техническая конференция "КЭ Циолковский-160 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика". 2017. С. 74-79.

Сочилова Е.Н., Сурков Н.В., Еришов Д.В., Хамедов В.А. Оценка запасов фитомассы лесных пород по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения (на примере лесов Ханты-Мансийского АО) // Вопросы лесной науки. 2018. №1.

White J. C. et al. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review //Canadian Journal of Remote Sensing, 2016. Т. 42. No. 5. P. 619-641.

Hüttich C, Korets M., Bartalev S., Zharko V., Schepaschenko D., Shvidenko A., Schmilliu C. Exploiting growing stock volume maps for large scale forest resource assessment: cross-comparisons of ASAR-and PALSAR-based GSV estimates with forest inventory in central Siberia //Forests, 2014. Т. 5. No. 7. P. 1753-1776.

Franklin S. E., Ahmed O. S., Williams G. Northern Conifer Forest Species Classification Using Multispectral Data Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle //Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2017. Т. 83. No. 7. P. 501-507.

Valbuena R. Maltamo M., Mehtätalo L., Packalen P. Key structural features of boreal forests may be detected directly using L-moments from airborne lidar data //Remote Sensing of Environment. 2017. Т. 194. P. 437-446.

Giannetti F. Gobakken T., Chirici G., Næsset E. A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data //Remote Sensing of Environment. 2018. Т. 213. P. 195-205.

УДК 592; 574.22

### **ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АРЕАЛОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДСТИЛОЧНЫХ ВИДОВ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ МЕТОДАМИ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕСНОМ ПОЯСЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

А.П. ГЕРАСЬКИНА, Н.Е. ШЕВЧЕНКО

ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

На основе данных полевых исследований и с помощью ГИС моделирования дана оценка современных потенциальных ареалов двух подстилочных видов дождевых червей *Dendrobaena octaedra* and *D. attemsi* в лесах Северо-Западного Кавказа. С помощью программы Maxent созданы карты потенциальных ареалов. Проведен анализ вклада климатических показателей и высоты над уровнем моря в построение ГИС моделей современного ареала *D. octaedra* and *D. attemsi*.

В современных почвенно-зоологических исследованиях все шире применяются методы моделирования потенциальных ареалов почвенных беспозвоночных (Crawford, Hoagland, 2010; Marek et al. 2012). Несмотря на обоснованные подходы применения методов ГИС моделирования для оценки распространения мезофауны в настоящее время число подобных работ невелико, поскольку трудоемкие почвенно-зоологические методы сбора материала ограничивают число мест находок ряда видов (Smith et al., 2008). Моделирование ареалов дождевых червей с помощью программы Maxent показано в небольшом числе работ (Marchan et al., 2016, Latif, 2017, Hughes et al., 2018).

Известно, что горные районы Кавказа – один из центров видообразования дождевых червей (Квавадзе, 1985). На Северо-Западном Кавказе из сего. Lumbricidae обитает 22 вида, очень часто в лесных сообществах по биомассе и численности доминируют эндемичные виды (Рапопорт, Цепкова, 2015; Гераскина, Шевченко, 2018 и др.). Из группы подстилочных



видов дождевых червей чаще всего встречаются *D. octaedra* и *D. attemsi* – мелкие пигментированные черви, обитают в горизонте подстилки (Перель, 1979).

Полевой материал собран в ходе экспедиций в весенне-летние сезоны с 2014 по 2018 гг. на территории Северо-Западного Кавказа (Краснодарский край, республика Адыгея, республика Карачаево-Черкесия). Исследования проведены в лесном поясе на высотах от 42 до 1965 м. н.у.м. Обследованы буковые, смешанные, темнохвойные и сосновые леса. Учеты дождевых червей выполнены в 1028 точках лесного пояса Северо-Западного Кавказа.

С помощью программы Maxent 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) созданы карты потенциальных ареалов двух подстилочных видов дождевых червей. Результаты пространственного моделирования показали, что современные потенциальные ареалы видов *D. octaedra* и *D. attemsi* в целом совпадают между собой (уровень вероятности 56-74%), но намного шире современных реальных ареалов и охватывает большие массивы смешанных и темнохвойных лесов от равнинных предгорных ландшафтов до высокогорий. Два вида различаются по приуроченности к разным высотам. Для *D. attemsi* показана высокая вероятность обитания (более 74 %) в высокогорных районах центральной части Северо-Западного Кавказа в диапазоне высот 1500-2500 м н.у.м., что соответствует современному ареалу темнохвойных лесов (верховья рек Теберда, Аксаут, Большой Зеленчук, Уруп и Большая Лаба). Также показана высокая вероятностью обитания *D. attemsi* в предгорных районах в долине реки Большая Лаба на уровне высот 200-500 м н.у.м., где также сохранились большие массивы смешанных и темнохвойных лесов. Для *D. octaedra* показан наиболее вероятный потенциальный ареал на большей части горной территории северо-Западного Кавказа в диапазоне высот 1000-1500 м. н.у.м. (уровень вероятности 56-74%) и также, как и для *D. attemsi* – фрагментарно в предгорных районах в долине Большой Лабы в смешанных и темнохвойных лесах.

Анализ вклада климатических показателей и высоты над уровнем моря в построение ГИС моделей современного ареала *D. octaedra* and *D. attemsi* показал, что наибольшее значение имеет сумма осадков в наиболее сухом месяце года (34.4-36.3%). Высокий вклад вносят такие показатели, как высота над уровнем моря (10.1-17.7%), изотермичность (7.6-11.7%), рассматриваемая как отношение средней температуры к годовой амплитуде температур и стандартное отклонение температур (9.7-12.1%).

Работа выполнена в рамках проекта FP7 ERA – Net Sumforest-POLYFORES при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61618X0101).

## ЛИТЕРАТУРА

- Гераськина А.П., Шевченко Н.Е. Биотопическая приуроченность дождевых червей в малонарушенных лесах Тебердинского биосферного заповедника // Лесоведение. 2018. № 6. С. 464-478.  
Квавадзе Е.Ш. Дождевые черви Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1985. 238 с.

Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. М.: Наука, 1979. 272 с.

Ранопорт И.Б., Ценкова Н.Л. Структура населения и топические преферендумы дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в почвах эталонных лесных формаций бассейнов рек Теберда и Большой Зеленчук (Тебердинский заповедник, Северо-Западный Кавказ) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6-1. С. 33-39.

Crawford P.H., Hoagland B.W. Using species distribution models to guide conservation at the state level: the endangered American burying beetle (*Nicrophorus americanus*) in Oklahoma // *Journal of Insect Conservation*. 2010. V. 14 (5). P. 511-521.

Hughes F.M., Cortes-Figueira J.E., Drummond M.A. Anticipating the response of the Brazilian giant earthworm (*Rhinodrilus alatus*) to climate change: implications for its traditional use // *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 2018. V. 91 (1). P. 1-13.

Latif R., Malek M., Csuzdi C. When morphology and DNA are discordant: Integrated taxonomic studies on the *Eisenia fetida/andrei* complex from different parts of Iran (Annelida, Clitellata: Megadrili) // *European Journal of Soil Biology*. 2017. V. 81. P. 55-63.

Maxent software for modeling species niches and distributions (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>).

Marchan D.F., Refoyo P., Fernandez R., Novo M., de Sosa I., Cosin D.J.D. Macroecological inferences on soil fauna through comparative niche modeling: the case of Hormogastridae (Annelida, Oligochaeta) // *European Journal of Soil Biology*. 2016. V. 75. P. 115-122.

Marek P.E., Shear W.A., Bond J.E. A redescription of the leggiest animal, the millipede *Illacme plenipes*, with notes on its natural history and biogeography (Diplopoda, Siphonophorida, Siphonorhinidae) // *ZooKeys*. 2012. V. 241. P. 77.

Smith J., Potts S., Eggleton P. Evaluating the efficiency of sampling methods in assessing soil macrofauna communities in arable systems // *European Journal of Soil Biology*. 2008. V. 44 (3). P. 271-276.

## **EVALUATION OF MODERN POTENTIAL AREAS OF EPIGEIC SPECIES OF EARTH-WORMS BY GIS MODELLING IN THE FOREST BELT OF THE NORTHWEST CAUCASUS**

A.P. GERASKINA, N.E. SHEVCHENKO

CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY FORESTS RAS

Evaluation of spatial distribution of two epigeic species of earthworms *Dendrobaena octaedra* and *D. attemsi* in the belt forests of the Northwest Caucasus have been on our own natural data and with using GIS modeling of modern potential distributions. Maps of potential ranges has been created by Maxent program. It has been performed the analysis of the contribution of climatic parameters and height above sea level to the construction of GIS models of modern potential distributions of *D. octaedra* and *D. attemsi*.

## ОТРАЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В БИОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ОБРАЗАХ БЕРЕЗЫ ПУШИСТОЙ (*BETULA PUBESCENS* EHRR S.L.) (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Е.И. ГОЛУБЕВА, М.В. ЗИМИН, Ю.И. ТИМОХИНА

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

В докладе приведены результаты оценки влияния техногенного воздействия комбината «Североникель» (Мурманская область) на содержание и соотношение пигментов (хлорофилла *a* и *b* и каротиноидов *k*) в листьях березы пушистой методами наземного спектрометрирования.

При оценке воздействия антропогенных факторов на состояние растений используются различные индикационные признаки, среди которых особое место занимает исследование физиологических процессов, в частности процесс фотосинтеза. Как правило, морфологические изменения в растениях отражают происходящие биохимические процессы. Каждое растение имеет определенное количество пигментов, и их соотношения изменяются при антропогенном воздействии.

Цель нашего исследования – отражение в спектральном образе листьев березы пушистой особенностей пигментного состава в сфере влияния комбината «Североникель» на Кольском полуострове (Мурманская область). Для этого определено содержание и соотношение пигментов (хлорофилла *a* и *b* и каротиноидов) в листьях березы и измерены спектральные образы березы по градиенту загрязнения, выявлены некоторые особенности влияния техногенного воздействия на эти характеристики.

Для оценки влияния техногенного воздействия на спектральные образы березы по градиенту загрязнения выбросами с комбината «Североникель» (г. Мончегорск) и с учетом ветрового режима проведены измерения вдоль трансекта, исследования на котором проводятся в течение ряда лет. На каждой пробной площадке собраны листья березы с 15 модельных деревьев в трехкратной повторности для спектрометрирования в лабораторных условиях. Полученные кривые спектральной яркости листьев березы хорошо индицируются по морфологическим признакам (наличию хлороза и некроза на листовой пластинке). Достаточно четко различаются спектральные кривые в диапазоне 750—1350 нм на площадках, по мере удаления от комбината отражательная способность листьев уменьшается. Можно отметить значительные различия отражательной способности листьев по трансекте. Усредненные значения пигментного состава листьев березы представлены в диапазоне 530—670 нм, но без четкой зависимости по мере удаления от комбината. Показатели пигментного состава листьев березы пушистой (*Betula pubescens Ehrh S.L.*) следующие: сумма хлорофиллов *a* и *b* составляет 4.61, соотношение хлорофиллов *a/b* – 3.30, отношение суммы хлорофиллов *a* и *b* к содержанию каротиноидов *k* – 4.50 (единицы измерения пигментов – мг/г абсолютно сухого веще-

ства). При этом надо отметить, что отклонения от средних значений показателей суммы хлорофиллов и их отношения могут составлять 1,5 – 2 раза, тогда как отношение суммы хлорофиллов *a* и *b* к содержанию каротиноидов незначительно отличаются в зависимости от степени техногенного воздействия.

Особенность работы фотосинтетического аппарата растения непосредственно влияет на его спектральный образ. Исследования показали, что результаты наземного спектрометрирования березы можно использовать для дешифрирования космических снимков по кривым их спектральной яркости. Гиперспектральные данные, полученные при помощи гиперспектрометра, дают новую дополнительную информацию в ближней и средней инфракрасной частях спектра, интерпретация которой требует дополнительных исследований. По изменениям коэффициентов спектральной яркости листьев березы четко индицируются хлорозы и некрозы, даже при поражении их малой части.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 18-05-60221 Арктика «Методология оценки состояния и динамики наземных экосистем Арктики в условиях антропогенного воздействия по данным ДЗЗ». Авторы благодарны О. В. Ермолаевой и Н. Ю. Шмаковой за помощь в проведении анализов по определению пигментного состава растений и обсуждение результатов.

## **REFLECTION OF TECHNICAL INFLUENCE IN BIOCHEMICAL FEATURES AND SPECTRAL IMAGES OF BIRCH FOR FUELS (BETULA PUBESCENS EHRH S.L.) (KOLA PENINSULA)**

GOLUBEVA E.I., ZIMIN M.V., TIMOKHINA Y.I.

The report presents the results of an assessment of the impact of the technogenic impact of the Severonikel plant (Murmansk region) on the content and ratio of pigments (chlorophyll a and b and carotenoids k) in fluffy birch leaves using ground-based spectrometry.

## **ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ МГЭИК**

В.И. ГРАБОВСКИЙ, Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ

ФБГУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

Потепление климата неизбежно приведет к изменению границ климатических зон. Лесные районы, границы которых установлены приказом министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 августа 2014 г. N 367, в значительной степени отражают положение природно-климатических зон. Прогнозы изменений климата, сделанные на пятом оценочном докладе МГЭИК позволили бы оценить изменения границ лесных районов, если бы была известна модель связи климатических параметров и границ лесных районов. Попытка оценить эти связи и изменения предпринята нами в этом докладе.

В связи с этим решаются две задачи.

1. Поиск модели, связывающей параметры климата и границ лесных районов
2. Прогноз изменения границ лесных районов в соответствии с полученной моделью и прогнозами изменения климата, сделанными МГЭИК.

Исходными данными были шейп файлы для лесных районов и лесхозов, а также климатическая база данных, содержащая базовые климатические характеристики текущего климата и климатический прогноз до 2100 года сделанный МГЭИК (Данные были предоставлены ФГБУ "Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля"). Данные в базе привязаны к узлам координатной сетки с шагом в 1 градус и включают среднемесячные температуры и количество осадков за базовый период (1980-2000 гг.) и на периоды прогноза:

- s2 - 2011-2030
- s3 - 2034-2053 для RCP45 или 2028-2047 для RCP85 (переход глобальной температуры через 2°C)
- s4 - 2041-2060
- s5 - 2080-2099

Лесхозы – более мелкие пространственные единицы, чем лесные районы: каждый лесной район включает множество лесхозов. На первом этапе списки лесхозов были сопоставлены лесным районам в ArcGIS инструментами «Анализ – Наложение – Пространственное соединение». Применение этого инструмента позволяет получить списки лесхозов, составляющие каждый лесной район.

Конечная задача - прогноза изменения границ лесных районов по климатическим сценариям - сводится к поиску перераспределения лесхозов по лесным районам. Иными словами, необходимо получить новые списки соответствий лесхозов лесным районам.

На втором этапе решается задача поиска климатических характеристик отдельных лесхозов. Эта задача решается средствами ArcGIS с использованием следующих приемов.

1. Строится градусная сетка с ценой деления в 1 градус (используется инструмент 2 «Управление данными – Класс пространственных объектов – Построить сетку»).
2. С сеткой связываются необходимые климатические параметры, полученные из исходной базы данных. Мы использовали среднегодовые температуры (tas) и количество осадков (pre), а также разность между среднеиюльскими и среднеянварскими температурами (DIF).
3. С использованием инструмента «Управление данными – Пространственные объекты – Объект в точку» из ячеек сетки создаются точечные объекты.
4. Применяя инструмент «Spatial Analyst – Интерполяция – Сплайн» создаются градиентные поля каждого климатического параметра.

5. Далее, применяем методы зональной статистики («Spatial Analyst - Зональные – Зональная статистика в таблицу) для создания усредненных для искомым пространственных единиц (лесхозов) климатических параметров.

В итоге для каждого лесхоза получили описание климата как для базового периода, так и для прогнозов по сценариям МГЭИК RCP4.5 и RCP8.5. Причем, для базового климата получены данные по принадлежности каждого из лесхозов к тому или иному лесному району (см. выше). Распределение лесхозов и лесных районов в пространстве первых двух главных компонент показало относительно компактное распределение лесхозов по лесным районам, за исключением района степей европейской части РФ и Северо-Кавказского горного района, которые перекрывают широкий спектр значений первых двух главных компонент и, очевидно, климатических параметров.

На следующем этапе были найдены уравнения регрессии связывающие базовый климат лесничеств с их принадлежностью к лесным районам, а затем, используя новые (прогнозные) климатические данные предсказать лесной район, к которому будет принадлежать данное лесничество в будущем. Эта задача решается при помощи дискриминантного анализа, который на первом этапе подбирает коэффициенты дискриминантной функции, наилучшим образом (с максимальной предсказательной силой) объясняющие связь климатических характеристик с принадлежностью к тому или иному лесному району. На втором этапе, дискриминантный анализ, используя полученные функции, строит модель предсказаний относительно принадлежности лесхозов к лесным районам при изменениях климата. Предварительные исследования задачи показали, что наилучшие результаты дает квадратичный дискриминантный анализ.

Задача решалась в среде R функциями `qda()` и `predict()` из пакета MASS. Базовый климат и распределение лесхозов по лесным районам использовалась как «обучающая» выборка и функцией `qda()` подбирались коэффициенты дискриминантных уравнений, а функция `predict()` использовала результаты работы функции `qda()` и новые климатические данные и строила предсказания относительно нового соответствия лесничеств и лесных районов.

Найдено, что существенные изменения положения лесных районов будут происходить уже в ближайшем прогнозном периоде при обоих климатических сценариях. Наряду с ожидаемой тенденцией смещения лесных районов к северу, очевидны менее ожидаемые результаты. А именно: широкого распространения степей вплоть до арктического побережья (2099 г по сценарию RCP8.5); фрагментацией и резкому сокращению площадей Лесостепного района и районов хвойно-широколиственных лесов и южной тайги европейской части РФ; сокращению площадей и постепенному полному исчезновению средне- и северотаежных лесных районов; полному исчезновению по обоим сценариям района притундровых лесов и

редкостойной тайги Европейско-Уральской части РФ уже в первый прогнозный период (к 2030 г).

При оценке полученных результатов следует учитывать следующие обстоятельства. Во-первых, местоположение лесных районов определяются не только характеристиками климата, но и другими причинами как природными (типами ландшафтов, почв и т.д.), так и политическими. Во-вторых, экосистемы, характеризующие лесные районы, обладают характерными временами реакции на изменения климатических параметров, и скорости их адаптации к изменяющемуся климату могут быть существенно меньшими скорости собственно климатических изменений. Это обстоятельство создает лаг (задержку) реакции растительности на климатические изменения. Таким образом, скорость реального изменения границ природных зон в целом и лесных районов в частности, может быть существенно ниже, описанной в предлагаемом прогнозе. Для того, чтобы понять так ли это и, если да, то насколько ниже, нужны дополнительные исследования.

УДК 502.13(1-751.1); 502.171

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»**

Д.Г. ГРУММО, Н.А. ЗЕЛЕНКЕВИЧ, Р.В. ЦВИРКО

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ НАН БЕЛАРУСИ

В докладе на примере национального парка «Беловежская пуца» рассматривается опыт инвентаризации биологического разнообразия с использованием современных информационных технологий. Работа состояла из 2 этапов: 1) «инвентаризационный» – составление крупномасштабных карт, отражающих состояние и функции элементов биологического разнообразия; 2) «синтетический» – предусматривал интеграцию аналитических (поэлементных) тематических карт в комплексную карту.

Последние годы знаменуются все более широким применением информационных технологий для решения задач изучения и управления биологическим разнообразием. Особенно стремительно развиваются инновации, связанные с: созданием и интерактивным обновлением тематических специализированных баз данных; многофункциональным картографированием с применением средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем; использованием интерактивных web-gis проектов для мониторинга и контроля над состоянием природных ресурсов (в т. ч. через социальные сети); «облачными вычислениями».

В настоящем докладе на примере национального парка «Беловежская пуца» рассмотрен опыт инвентаризации биологического разнообразия с использованием современных информационных технологий. Основная цель исследований – создать карту ключевых (важных)

для сохранения биоразнообразия) местообитаний и разработать научно-обоснованный подход к функциональному зонированию особо охраняемой природной территории (ООПТ).

Работа состояла из 2 этапов: «инвентаризационного» и «синтетического».

Первый этап «Инвентаризационный» предусматривал составление крупномасштабных (М 1: 100 000) аналитических карт, отражающих современное состояние и функции элементов биологического разнообразия национального парка «Беловежская пуца».

1. *Карта растительности*. Легенда карты составлена на основе флористического подхода к классификации растительности (метод Браун-Бланке). При картографическом изучении растительности применялась контролируемая классификация изображения с предварительной сегментацией по методу суперпикселей (SNIC-Simple Non-Iterative Clustering).

Геоботаническая карта и сопряженной с нею базы данных являются основой для создания других тематических карт (№2-8).

2. *Карта биотопов* составлена на основе классификации системы EUNIS и состоит из 47 единиц (4-7 уровни системы EUNIS).

3. *Карта «Редкие и типичные биотопы»* составлена в соответствии с требованиями национального законодательства (ТКП 17.12-06-2014 «Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких природных ландшафтов»).

4. *Карта «Редкие и охраняемые виды растений и животных»* включает места произрастания дикорастущих видов растений и места обитания диких животных, включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

5. *Карта «Видовое разнообразие растительного покрова»* построена на основе показателя  $\alpha$ -разнообразия – среднее число видов (высших сосудистых растений, мохообразных) на единицу площади (100 м<sup>2</sup>).

6. *Карта «Разнообразие местообитаний»* – специальная тематическая карта, отражающая количество местообитаний системы EUNIS на единицу площади (регулярная сеть 1×1 км).

7. *Карта «Современное состояние растительности»* отражает степень нарушенности растительного покрова в результате негативного воздействия антропогенных и естественных факторов. При составлении карты использовались как результаты собственных наземных исследований, так и доступных web-gis проектов для мониторинга биоразнообразия (Global Forest Watch, Land Cover Dynamics и др.).

8. *Карта «Экологические функции растительности»* – отражает средообразующий, биоресурсный и ландшафтно-защитный потенциал местообитаний ООПТ.

Второй этап «Синтетический» предусматривал интеграцию поэлементных тематических карт в итоговую комплексную карту. Для этих целей: а) были получены бинарные сце-



ны, отражающих наличие или отсутствие признака важного для биоразнообразия; б) формировалась единая мозаика с учетом «весовой» значимости того или иного индикаторного признака.

Тематическая интегральная карта, отражающая пространственное распространение, важных для сохранения биологического разнообразия местообитаний, может быть использована для проектирования природоохранных и хозяйственных мероприятий на территории ООПТ, а также для разработки новой схемы функционального зонирования национального парка «Беловежская пушча».

## **EXPERIENCE OF USING REMOTE AND GEOINFORMATIONAL METHODS FOR INVENTORING AND EVALUATING THE MODERN CONDITION OF BIOLOGICAL DIVERSITY OF THE NATIONAL PARK "BELOVEZHSKAYA PUSHCHA"**

D.G. GRUMMO, N.A. ZELIANKEVICH, R.V. TSVIRKO

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF NAS OF BELARUS

The experience of the inventory of biological diversity of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" using modern information technologies is considered in the report. The work consists 2 stages: 1) "Inventory" – compilation of large-scale maps showing the status and functions of the elements of biological diversity; 2) "Synthesis" – the integration of analytical (element-wise) thematic maps into a comprehensive map.

УДК: 530.5 (083.74)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ДРЕВОСТОЯ ПО ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЮ**

В.Ф. ДАВЫДОВ, Н.В. ГРЕНЦ

ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА»

Получают видеоизображение древесного полога. Программным методом восстанавливают его пространственный спектр и размеры крон деревьев. По таксационным таблицам и размерам крон определяют параметры модельных деревьев. Программным методом вычисляют все локальные максимумы изображения и отождествляют их с количеством деревьев. Умножают кубатуру модельного дерева на количество деревьев, отображаемых на снимке.

Текстура видеоизображения древесного полога повторяет его геометрию. Чтобы без искажений преобразовать геометрию древостоя в функцию яркости изображения, необходимо обеспечить требуемое разрешение снимка. Согласно теореме отсчетов Котельникова-Шеннона, элемент разрешения ( $\Delta$ ) должен удовлетворять условию  $\Delta \leq 1/2 F_{max} \cdot F_{max}$  – максимальная пространственная частота (величина обратная размеру кроны отдельного дерева). Таблицы (Общесоюзные нормативы..., 1992) общесоюзных нормативов для таксации лесов начинаются с размера кроны 50 см. Следовательно, пространственное разрешение изображения должно составлять 0,25 м. Восстановление пространственного спектра древесного полога осуществляют программным методом двумерного Фурье – преобразования с использова-

нием специализированного программного обеспечения МТН КАД или ER MAPPER (Давыдов В.Ф. и др., 2004). Получают огибающую пространственного спектра функции яркости изображения. Разбивают весь интервал частот на 5 поддиапазонов, определяют средневзвешенную частоту в каждом поддиапазоне и находят размер кроны модельного дерева в поддиапазоне.

Используя таксационные таблицы (Общесоюзные нормативы..., 1992), определяют средний диаметр сечения ( $D$ , см) и высоту модельного дерева. Известна огиба насаждения (Анучин Н.П., 1982) утверждающая, что в каждом массиве независимо от возраста и состава пород 40 % толстых и 60 % тонких деревьев. Уточняют параметры модельного дерева анализируемого снимка. Затем программным методом (Давыдов В.Ф., Корольков А.В., 2008) вычисляют все локальные максимумы изображения и отождествляют их с вершинами крон, подсчитывают их число  $N_1$ .

Специализированной программой вычисляют среднее расстояние между локальными максимумами  $a$  [м]. Рассчитывают  $N_2 = S/a^2$  – количество деревьев,  $S$  – геометрическая площадь снимка. Количество деревьев в анализируемом изображении определяют как среднее геометрическое  $N = \sqrt{N_1 \times N_2}$ . Запас массива находят умножением кубатуры модельного дерева на количество деревьев.

#### ЛИТЕРАТУРА

- «Общесоюзные нормативы для таксации лесов». Справочник, изд-во «Колос». М.: 1992 г.;  
Анучин Н.П. «Лесная таксация». Учебник. 5-е изд. М.: Лесная промышленность, 1982 г.;  
Давыдов В.Ф., Гренц Н.В., Корольков А.В. «Способ вычисления запаса лесных массивов». Патент Ru № 2.242.867, 2004 г.;  
Давыдов В.Ф., Корольков А.В. Способ определения количества деревьев в лесном массиве. Патент Ru № 2.359.229, 2008 г.

#### ASSESSMENT OF THE GROWING STOCK OF THE STANDS ON ITS IMAGE

V.F. DAVYDOV, N.V. GRENTS

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Get a video of the canopy. By its program method, its spatial spectrum and tree crowns sizes are restored. According to the valuation tables and sizes of crowns, the parameters of model trees are determined. Programmatically calculate all local maxima of the image and identify them with the number of trees. Smartly grow the cubature of a model tree for the number of trees displayed in the image.

## ОБОСНОВАНИЕ УЧЕТА ОСВЕЩЕННОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.А. ДУЛИНА<sup>1</sup>, С.И. ЧУМАЧЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

<sup>2</sup>МФ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

В докладе представлены результаты анализа условий, наиболее благоприятных для роста и плодоношения ягод и грибов. Изучены показатели урожайности пищевых ресурсов. Предложено использовать для моделирования динамики продуктивности пищевых ресурсов такой информативный параметр как освещенность на уровне напочвенного покрова. Рассчитав его, возможно более точно оценить урожайность пищевых ресурсов не только в одноярусных, но и в насаждениях, имеющих подрост и подлесок, а также в многоярусных насаждениях.

Интерес к использованию недревесных ресурсов возобновился, в связи с заинтересованностью лесопользователей в получении максимальной выгоды с арендного участка. Из всех возможных ресурсов леса, помимо древесины, наиболее востребованы на рынке пищевые ресурсы (ягоды и грибы). Ранее методы управления лесами во всем мире традиционно ориентировались на производство древесины, но с переходом на многоцелевое лесопользование обнаружено, что вопрос оценки и прогноза динамики недревесных ресурсов является весьма актуальным (Vasik, H et al., 2017; Huber et al., 2016). Одним из современных подходов к решению этого вопроса является моделирование.

Основными переменными, влияющими на урожайность грибов и ягод, являются лесоводственные и таксационные характеристики лесных участков. Используя их, можно с определенной вероятностью прогнозировать продуктивность недревесных ресурсов.

Ягода клюква является эндемичным видом для А5 и В5, не произрастая больше ни в каких типах лесорастительных условий (ТЛУ). Также преобладающая порода оказывает значительное влияние на произрастание многих ресурсов. Особенно это отражается на грибах. Некоторые виды, например, подберезовик образуют симбиоз только с одной породой деревьев – березой, а белый гриб предпочитает смешанные насаждения (Паутов, 2009).

Возраст насаждения также определяет возможность появления грибов и ягод. Основная масса лесных ягод (брусника, голубика, морошка, черника) достигают производственных запасов в лесу, где возраст древостоев старше 40-60 лет. Это связано с достижением оптимального светового режима и ослаблением конкуренции с травянистыми растениями.

От полноты древостоя зависит поступление под полог леса световой, тепловой энергии и количества осадков, а также состав и развитие растений, которые могут создавать конкуренцию ягодным кустарничкам (Малиновских, 2017). Это можно объяснить тем, что при высокой полноте отсутствие растений связано с недостатком света. При низкой полноте является большое количество конкурирующих видов, которые вытесняют ягодные кустарнички. Например, черника не переносит прямого солнечного освещения, для нее оптимальный

световой режим создается при полноте 0.6-0.8 (Никитенко, 2016). Брусника, морошка и клюква - более светолюбивые растения, хорошо плодоносят в насаждениях при полноте 0.3 - 0.5 и на открытых местах (Горобец, 2013).

Но в известных до настоящего времени российских и зарубежных методиках не уделено должного внимания сложным древостоям, с несколькими ярусами. При одинаковой полноте в многоярусном насаждении, поток света, доходящий до напочвенного покрова, может значительно отличаться от чистого насаждения, а значит и продуктивность ягодников и грибов будет не одинаковой. Таким образом, использование показателя полноты, влияющего на продуктивность ягод и грибов, без учета света не совсем корректно.

На основе полноты древостоя, породного состава 1 и 2 ярусов, а также подлеска и подраста, возможно рассчитывать освещенность, как более информативный фактор, влияющий на развитие ягод и грибов. Тогда интенсивность освещенности будет учитываться не на уровне верхнего яруса древесных пород, а на уровне напочвенного покрова, что позволит более точно оценить продуктивность и перспективы роста травяно-кустарничкового яруса, а также дать рекомендации формирования условий для развития многоресурсного лесопользования.

Работа выполнена в рамках проекта FP7 ERA - Net Sumforest-POLYFORES при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61618X0101).

## ЛИТЕРАТУРА

*Горобец В.А., Славский В.А.* Недревесная продукция леса. Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2013. 169 с.

*Малиновских А.А.* Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность черники в условиях Средне-обского бора Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (152). С. 87-92.

*Никитенко Е.Б.* Недревесные ресурсы леса: Учебное пособие. Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. 222 с.

*Паутов Ю.А., Засухин Д.П.* Рекомендации по выделению участков массового сбора грибов и ягод местным населением. Сыктывкар: Коми региональный некоммерческий фонд "Серебряная тайга", 2009. 17 с.

*Huber P., Kurttila M., Hujala T., Wolfslehner B., Vacik H.* Managing for NWFPs - an assessment on the forest holding level. Book of Abstracts // Wild Forest Products in Europe, Barcelona, SEP 13-14, 2016, p. 9.

*Vacik, H., Huber P., Kurttila M., Hujala T., Wolfslehner B., la Sánchez-González M., Pasalodos-Tato M., de Miguel S., Bonet J.A., Marques M., Borges J.G., Enescu M.C., Dinca L.* Comparing the potential of on-Wood Forest Products across case studies in Europe // Conference on Non-Timber Forest Products and Bioeconomy, Rovaniemi, Nov 28 -30, 2017. P. 201-204.

## JUSTIFICATION OF ACCOUNTING OF LIGHTING FOR MODELING THE FOOD RESOURCES OF FORESTS OF THE CENTRAL PART OF RUSSIA

A.A. DULINA<sup>1</sup>, S.I. CHUMACHENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RAS

<sup>2</sup>MB OF BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY

The report presents the results of the analysis of the conditions most favorable for the growth and fruiting of berries and mushrooms. The indicators of productivity of food resources are studied. The Russian and foreign models of forest food resource productivity are considered. It is proposed to use such an informative parameter as the illumination at the level of the ground cover to simulate the dynamics of food resource productivity. Having calculated it, it is possible to more

accurately estimate the yield of food resources not only in single-tiered, but also in plantations with undergrowth and undergrowth, as well as in multi-tiered plantations.

## **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕСТООБИТАНИЙ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ОБЪЕКТАМ БИОРАЗНООБРАЗИЯ**

А. ЗАГИДУЛЛИНА<sup>1</sup>, Н. ДИНКЕЛАКЕР<sup>4</sup>, Т. СИТНИКОВ<sup>3</sup>, В. МАМОНТОВ<sup>2</sup>, Р. РЕМПЕЛЬ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>СПБГУ

<sup>2</sup> УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

<sup>3</sup> НОУ ЦПКЭ, Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

<sup>4</sup> ВОДЛОЗЕРСКИЙ НП, Г. ПЕТРОЗАВОДСК

<sup>5</sup> – OMNR, ONTARIO

Нами предпринята попытка выполнить дистанционное выделение классов местообитаний и их эколого-экономическую оценку для природоохранного зонирования малонарушенной лесной территории (междуречье р. Двины и Верхней Вашки, Архангельская обл, респ. Коми). Классификация растительного покрова и картографирование местообитаний выполнялось с помощью средств NextGis и ArcGis 10-х на основе полевых данных и ДДЗЗ (LANDSAT 5-8, Sentinel 2), ЦМР (LANDSAT DEM) с разрешением 30 м в пикселе и данных лесоустройства (2007). Для классификации пикселей Landsat 8 были использованы наземные полевые описания с привязкой GPS, выполненные в 2013-2017 гг (около 400 полевых наземных описаний). Эти данные использовались совместно со снимками высокого разрешения Sentinel 2. Для классификации ДДЗЗ использовался алгоритм случайного леса (RF), реализованный в NextGis, который применялся на основе обучающих последовательностей (размер обучающей выборки, построенной на основе – около 2000 точек). Часть данных была использована для проверки качества классификации.

Местообитания были предварительно разбиты на крупные классы в соответствии с требованиями основных уязвимых групп видов и на основе дистанционной классификации лесной растительности, принятой в Канаде. Выделение классов местообитаний уровня выдела и выше регионы анализировались по соотношению разных классов пикселей. Проведена интеграция экологических требований видов, баз данных их точечных ареалов и полученных картосхем местообитаний, в результате чего были получены картосхемы потенциальных местообитаний редких и уязвимых видов на площади около 1 млн га.

Для обработки этой информации была создана реляционная база данных (БД). Основная таблица с данными содержит информацию по участкам (лесничество, квартал, выдел, номер участка, возраст древостоя, площадь, тип местообитания и т.д.), для вырубленных или сгоревших участков указывается также тип местообитания до имевших место нарушений. В полях логического типа указывается наличие рубок и пожаров разной давности, прогнозные данные по вхождению участков в рубку, буферные зоны дорог и рубок. Справочные таблицы содержат списки редких видов с указанием Красных книг и параметры местообитаний редких видов, дополнительные таблицы служат для установления связей между справочными таблицами и основной таблицей данных. SQL-запросы к базе данных позволяют получить актуальные площади местообитаний редких видов, а также утерянные и находящиеся под угрозой уничтожения.

С помощью БД выполнена эколого-экономическая оценка неизбежного ущерба уязвимым компонентам экосистем малонарушенного лесного массива с учетом зон с различной степенью негативного воздействия с использованием утвержденных такс и методик расчета вреда животному миру и охраняемым видам растений и грибов. Основным источником негативных воздействий на популяции уязвимых видов в малонарушенных массивах является лесохозяйственная деятельность, в первую очередь ведение сплошных рубок без исключения важных местообитаний и коридоров миграции.

В настоящее время в природоохранной практике денежная компенсация вреда этим группам организмов предусмотрена только при выявлении правонарушений и не предусмотрена для проектов лесохозяйственной деятельности. Выявлено сложившееся противоречие в законодательстве, связанное с тем, что компенсация неизбежного вреда при намечаемой хозяйственной деятельности в настоящее время возможна, но не необходима при реализации проекта в виде выплаты ущерба. Единственным механизмом снижения негативного воздействия на стадии проектирования является планирование и расчет стоимости природоохранных мероприятий, которому должно уделяться особое внимание при разработке проектов хозяйственной деятельности.

## **HABITAT MAPPING OF FOREST AREAS ON THE BASE OF REMOTE SENSING AND MONETARY ESTIMATION OF EXPECTED DAMAGE FOR BIODIVERSITY**

ASIA ZAGIDULLINA<sup>1</sup>, NATAIA DINKELAKER<sup>4</sup> VIKOR MAMONTOV<sup>2</sup>, ROBERT REMPEL<sup>3</sup> T.SITNIKOV

1- ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY, SAINT-PETERSBURG

2- VODLOZERSKIY NATIONAL PARK, PETROZAVODSK

3- OMNR, ONTARIO

4- ITMO UNIVERSITY, SAINT-PETERSBURG

5- HEAD EDUCATION CENTER OF POWER INDUSTRY, SAINT-PETERSBURG

Habitat loss is globally a threat to biodiversity and in managed boreal forests a loss of habitats is the most common factor affecting species diversity. We made an attempt to implement classification of habitats and their ecological assessment regimes of the pristine forests landscape of Barents region. The watershed forests are home to one of the last and the most southern remaining populations of listed wild forest reindeer (*Rangifer tarandus*) and other vulnerable and protected species. To prepare maps for wildlife habitat assessment we mapped vegetation cover, disturbances, sandy soils and roads. Classification of vegetation cover was carried out on the base of remote sensing, forestry maps and big series of field data. To assign the classes for the selected Landsat 8 pixels, we used the following data. GPS ground data series were available for different years. This information was used jointly with high-resolution images Sentinel 2. To classify the Landsat 8 imaging the random forest algorithm (RF in NextGis) was used on the base of training. To generalize the vegetation map LSL tool was used). Modern conservation planning often uses a particular type of habitat model called a resource selection function (RSF) or a resource selection probability function (RSPF). These functions can estimate the probability that a particular piece of land will be selected for use by the species of interest. The models can be used to estimate changes in expected patterns of use based on forecast changes to the landscape. With using of habitat map and database we made monetary estimation of expected damage on different scenario of forest use.

## КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ СЕРВИС ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ, ЭМИССИЙ И БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ

Т.А. ЗОЛИНА<sup>1</sup>, А.С. ЦЫПЛЕНКОВ<sup>2</sup>, Н.В. МАЛЬШЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА» (ФБУ ВНИИЛМ)

<sup>2</sup>НИЛ ЭРОЗИИ ПОЧВ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ИМ. Н.И. МАККАВЕЕВА, ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ, МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

Картографический сервис представляет собой инструмент, позволяющий просматривать наборы карт, которые последовательно знакомят с пространственным представлением результатов расчетов углеродного баланса в лесах России. Последовательность перехода от одного набора карт к другому наглядно демонстрирует поэтапные результаты расчетов показателей в соответствии с методикой учета поглощения CO<sub>2</sub> лесами России. Наборы карт объединены в тематические разделы и подразделы. Структура разделов и подразделов, в которые сгруппированы интерактивные карты, идентична структуре веб-сайта и являет собой иерархическую систему HTML-страниц.

Картографический сервис представляет собой набор карт информационно-справочного типа, созданных в среде ArcGIS, визуализированных с помощью библиотеки с открытым кодом Leaflet.js и языка программирования R 3.5.2 (R Core Team, 2018) в интерактивную форму и далее объединенных с помощью HTML-страниц в иерархическую структуру, подобную атласу. Карты предназначены для интерактивного просмотра результатов расчетных работ по оценке запасов углерода, годовичного накопления запасов углерода, эмиссий углерода и чистого поглощения углерода биомассой лесов России. Результаты расчетов получены с помощью алгоритмов Методики количественной оценки поглощения CO<sub>2</sub> лесами РФ (Методика, 2017) и ее программной реализации по данным Государственного лесного реестра на 01.01.2016.

Пространственной основой для создания карт служит полигональный слой с границами лесничеств и лесопарков России. Расчетные оценки запасов и годовичного приращения запасов углерода представлены в границах территориальных единиц управления лесами (лесничеств), расчетные показатели потерь углерода в биомассе лесов в результате воздействия рубок, пожаров и прочих антропогенных факторов, нетто-поглощения углерода – чистой биомной продукции (*NBP*) также представлены на картах в границах лесничеств. В силу особенностей исходных данных эмиссии углерода рассчитаны по субъектам Российской Федерации.

Макеты карт подготовлены в программной среде ГИС ArcGIS. Здесь были построены картограммы по расчетным показателям, выбран метод классификации и разработано оформление карт. Далее карты визуализированы в среде программирования R при помощи библиотеки *Leaflet* (Cheng et al., 2018), которая позволяет создавать интерактивные карто-схемы. Для удобства анализа информации и упрощения привязки к пространственной основе с помощью библиотеки *htmlwidgets* (Vaidyanathan et al., 2018) были добавлены слои базовых

карт от ESRI (топографическая карта, физическая карта, спутниковый снимок и др.). Для экспорта из среды R в формат HTML-страниц, применялась библиотека *rmarkdown* (Xie et al., 2018) с использованием формата *flexdashboard* (Iannone et al., 2018). Пример кода доступен по ссылке (<https://github.com/atsyplenkov/forestry-carbon>).

В картографическом сервисе карты сгруппированы в 4 тематических раздела: запас углерода в биомассе, годовое накопление запасов углерода, годовые потери запасов углерода и баланс углерода. Каждый раздел включает подразделы с показателями, дифференцированными по пулам углерода: надземной фитомассы, подземной фитомассы, мертвой древесины (сухостой, валежник) и лесной подстилки. При работе с картами в интерактивном режиме возможно получение численных показателей по определенному пространственному объекту. Во всплывающем окне при указании курсором на пространственный объект отображаются количественные характеристики запасов углерода, годового поглощения, эмиссий и баланса углерода для выбранного объекта. Работа с картографическим сервисом в интерактивном режиме возможна на любом компьютере с помощью WEB-браузера.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Методика учета поглощения CO<sub>2</sub> в лесах Российской Федерации / А.А. Мартынюк, А. Н. Филипчук, Б. Н. Моисеев, Н. В. Малышева, В.В. Страхов [и др.]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2017. 82 с.
- R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing., 2018.
- Cheng J., Karambelkar B., Xie Y. leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript “Leaflet” Library. 2018.
- R Markdown: The Definitive Guide / Xie Y., Allaire J.J., Grolemund G. – Boca Raton, Florida: Chapman and Hall/CRC. 2018.
- Iannone R., Allaire J.J., Borges B. flexdashboard: R Markdown Format for Flexible Dashboards. 2018.
- Vaidyanathan R., Xie Y., Allaire J.J., Cheng J., Russell K. htmlwidgets: HTML Widgets for R. 2018.

### **CARTOGRAPHIC SERVICE FOR VISUALIZATION OF CALCULATIONS OF ABSORPTION, EMISSIONS AND CARBON BALANCE IN THE FORESTS OF RUSSIA**

T.A. ZOLINA<sup>1</sup>, A.S. TSYPLENKOV<sup>2</sup>, N.V. MALYSHEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF SILVICULTURE AND MECHANIZATION OF FORESTRY  
(FBU VNIILM)

<sup>2</sup>LABORATORY OF SOIL EROSION AND FLUVIAL PROCESSES, FACULTY OF GEOGRAPHY,  
LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

Abstract. The map service is a tool that allows you to view and investigate the spatial distribution of the carbon balance calculations for the forests of Russia. The sequence of transition from one map to another clearly demonstrates the CO<sub>2</sub> absorption by Russian forests. Maps are combined into thematic sections and subsections. The structure of sections and subsections in which interactive maps are grouped is identical to the structure of the website and is a hierarchical system of HTML pages. Maps were prepared in ArcGIS and further visualized in R using *leaflet* and *flexdashboard* libraries.



## **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВЯЗНОСТИ ОХРАНЯЕМЫХ УЧАСТКОВ РАЗЛИЧНОГО СТАТУСА НА ПРИМЕРЕ КОНДОПОЖСКОГО РАЙОНА, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ**

О. В. ИЛЬИНА

ФГБОУВО «ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», КРОО «СПОК»

В докладе приводятся результаты картографирования и анализа связности охраняемых участков различного статуса в Кондопожском районе Республики Карелия.

В российской практике охраны природы основным инструментом для охраны видов и их местообитаний является создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Однако же во многих регионах их доля остается довольно низкой. В Республике Карелия (РК), по состоянию на 2011 г. доля ООПТ составляла 4,5 %, что существенно ниже, чем в большинстве прилегающих регионов и по России в целом (Кобяков, 2009). Существующие планы по развитию сети ООПТ реализовываются медленно и не в полном объеме, в связи с чем возрастает значимость других охраняемых участков, в том числе лесов высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ), выделяемых арендаторами лесного фонда, имеющих сертификат Forest Stewardship Council (FSC). Мы попытались оценить вклад ЛВПЦ в общую сеть охраняемых участков по территориальному критерию (площади) и по их влиянию на связность участков между собой. У арендаторов лесного фонда была запрошена информация о выделенных ЛВПЦ типов 1-3. В качестве модельной территории был выбран Кондопожский район (КР), имеющий относительно развитую сеть ООПТ и двух арендаторов, сертифицированных по системе FSC.

Площадь КР составляет 595 тыс. га, из них 294 тыс. га — аренда сертифицированных компаний. На территории КР расположено 20 ООПТ общей площадью 45 тыс. га (7,6 % от площади КР). Арендаторами в КР было выделено 2,2 тыс. га ЛВПЦ, что составляет 0,4 % от площади лесного фонда. Размер ЛВПЦ варьируется от 0,5 до 1535 га, большая часть участков имеет размер от 1 до 10 га.

Возможной мерой связности может служить расстояние между участками, потенциально пригодными для обитания того или иного вида (Хански, 2010). Для оценки связности охраняемых участков было рассчитано расстояние до первого ближайшего участка. Так, для всей РК расстояния между существующими ООПТ составили (минимум/среднее/максимум) 0,5/13,7/111,1 км, для КР — 1,1/9,7/34,5 км, для КР с учетом ЛВПЦ — 0,095/2,9/25,1 км. Возможность расселения растений и грибов на новые участки определяется дальностью переноса спор или семян. Для большинства растений она лежит в пределах до 1,5 км (Vittoz et al., 2007), для видов трутовых грибов, связанных с участками старых лесов - до нескольких со-

тен метров (Jönsson et al., 2008; Norros et al., 2012), для ряда эпифитных лишайников - несколько десятков метров, хотя легкие споры других видов могут переноситься на значительные расстояния (Öckinger et al., 2005; Gjerde et al., 2015). Таким образом, имеющееся количество и пространственное расположение существующих ООПТ как в РК в целом, так и в КР не отвечает минимальным принятым порогам по площади (Стратегия и План действий ..., 2014) и не обеспечивает достаточную связность этих территорий. До создания более обширной сети ООПТ, небольшие по площади участки, сохраняемые на территориях с активным лесопользованием, могут иметь важное значение для поддержания популяций некоторых лесных видов растений и грибов. Проведенный анализ дает только предварительную и завышенную оценку связности местообитаний, поскольку в реальных ландшафтах на связность будут влиять множество дополнительных факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Кобяков К. Н. (Ред.). Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга. СПб : КЦОДП, 2011. 505 с.

Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации. МПР РФ. 2014. 256 с.

Хански, И. Ускользящий мир: экологические последствия утраты местообитаний: пер. с англ. М.: КМК, 2010. 340 с.

Gjerde I., Blom H. H., Heegaard E., Sætersdal M. Lichen colonization patterns show minor effects of dispersal distance at landscape scale // *Ecography*. 2015. V. 9, N 38. P. 939–948.

Jönsson, M. T., Edman M., Jonsson D. G. Colonization and extinction patterns of wood-decaying fungi in a boreal old-growth *Picea abies* forest // *Journal of Ecology*. 2008. V. 96, N 5. P. 1065–1075.

Norros V., Penttilä R., Suominen M., Ovaskainen O. Dispersal may limit the occurrence of specialist wood decay fungi already at small spatial scales // *Oikos*. 2012. V. 121, N 6. P. 961–974.

Öckinger, E., Niklasson M., Nilsson S. G. Is local distribution of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* limited by dispersal capacity or habitat quality? // *Biodiversity & Conservation*. 2005. V. 14, N 3. P. 759–773.

Vittoz, P., Engler R. Seed dispersal distances: a typology based on dispersal modes and plant traits // *Botanica Helvetica*. 2007. V. 117, N 2. P. 109–124.

#### MAPPING AND CONNECTIVITY ASSESSMENT OF DIFFERENT CONSERVATION AREAS IN KONDOPOZHSKIJ DISTRICT, REPUBLIC OF KARELIA

O. V. ILINA

PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY, NATURE CONSERVANCY «SPOK»

The report presents the results of mapping and connectivity assessment of different protected areas in the Kondopozhskij region of the Republic of Karelia.

## **ОПЫТ ПОЛЕВОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ**

В.Н. КАРМИНОВ, О.В. МАРТЫНЕНКО, П.В. ОНТИКОВ, А.А. БАРАНЕНКОВА, А.Н. МАКСИМОВА

МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

В докладе рассматриваются практические аспекты применения современных геоинформационных технологий при проведении почвенных обследований в учебных и практических целях. Обсуждаемые технологические подходы непосредственно апробированы авторами в практической деятельности и показали свою эффективность и удобство.

Уже на протяжении по меньшей мере целого столетия профильный и морфологический методы изучения почв, предложенные ещё В.В. Докучаевым, являются базовыми при изучении пространственного распределения почвенного покрова. С годами практические реализации этих методов совершенствовались, однако, базовые подходы сохранялись без существенных изменений. Традиционная критика этих подходов, прежде всего, апеллирует к известному субъективизму, присущему этим методам. Попытки перейти от качественных оценок к более рациональным и воспроизводимым качественным показателям неоднократно предпринимались и предпринимаются. Однако, все они требуют применения дополнительного оборудования и его калибровки для получения сопоставимых результатов. Таким образом, на данном этапе технического развития классические методы почвоведения, в особенности, что касается их практического применения для решения производственных задач, остаются востребованными и практически безальтернативными. Однако, современные информационные технологии позволяют повысить качество и уменьшить непроизводственные затраты времени на выполнение полевых и камеральных работ. В последнее десятилетие системы спутниковой навигации достаточно плотно вошли в практическую жизнь почвоведов. Наиболее известным производителем подобного оборудования в мире по праву считается компания Garmin. Её оборудование соответствует самым высоким требованиям по надёжности и защищённости. Но, наряду с неоспоримыми преимуществами, это оборудование имеет довольно высокую стоимость и не самый дружелюбный интерфейс. В этом отношении, заметную конкуренцию “профессиональному” оборудованию могут составлять обычные смартфоны (в том числе и бюджетные модели), снабжённые мобильным приложением NextGIS, разработанным под операционную систему Android. Особенно актуальным подобный подход является в образовательной среде, где снабдить каждого студента профессиональным оборудованием не всегда возможно, а смартфон, удовлетворяющий системным требованиям NextGIS будет практически у каждого.

Принципиально работа с мобильным приложением NextGIS не отличается от работы с любым навигационным оборудованием, но при этом имеет ряд положительных моментов. Прежде всего, это способность смартфона при наличии доступа к сети Интернет обеспечивать обновление картографической основы в реальном времени. При необходимости синхронизировать картографическое обеспечение между несколькими рабочими группами это также осуществляется с помощью стандартного функционала. Работа может осуществляться как по принципу “выкопал разрез – отметил координаты”, так и по принципу – “вышел на точку с заданными координатами – выкопал разрез”. При этом, обмен данными между рабочими группами и центром может осуществляться в самом оперативном режиме. При использовании облачных технологий обмен информацией может вообще практически переходить в режим реального времени. Указанное программное обеспечение позволяет фиксировать географическое положение точек, запоминать треки, по которым осуществляется обследование, или оконтурить границы пробных площадей и др. Считается, что “профессиональное” навигационное оборудование обеспечивает более высокую точность при определении географических координат, нежели “бытовые” смартфоны. Однако, мобильное приложение NextGIS имеет специальную функцию для уточнения получаемых координат путём их усреднения. Длительность усреднения может устанавливаться в широких пределах. Кроме того, использование в качестве геоподосновы общедоступных снимков высокого и сверхвысокого разрешения, зачастую позволяет визуально оценить точность определения местоположения по имеющимся ориентирам на местности (отдельно стоящие деревья, дороги, строения) и, в случае выявления погрешностей, произвести повторное определение координат.

Базовым форматом данных для мобильного приложения NextGIS является формат GeoJSON. Это открытый формат, предназначенный для хранения географических структур данных. Данный тип данных напрямую поддерживается наиболее известной открытой системой Quantum GIS, что делает использование приложения NextGIS ещё более привлекательным.

## **EXPERIENCE OF FIELD GEOGRAPHIC INFORMATION MAPPING OF FOREST SOILS**

V.N. KARMINOV, O.V. MARTYNENKO, P.V. ONTIKOV, A.A. BARANENKOVA, A.N. MAKSIMOVA

MYTISCHI BRANCH OF BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY)

The report examines the practical aspects of the application of modern geo-information technologies when conducting soil surveys for educational and practical purposes. The discussed technological approaches are directly approved by the authors in practical activities and have shown their efficiency and convenience.

# ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ДРЕВЕСНО-ВЕТОЧНЫХ КОРМОВ И РАСЧЕТОВ ДОПУСТИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ КОПЫТНЫХ

В.В. КИСЕЛЕВА<sup>1,2</sup>, А.Д. КОЙНОВ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА, Г. МЫТИЩИ МОСКОВСКОЙ ОБЛ.

<sup>2</sup>ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, Г. МОСКВА

<sup>3</sup>ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЛОСИНЫЙ ОСТРОВ», Г. МОСКВА

Предложен подход, позволяющий использовать атрибутивную информацию ГИС национального парка «Лосиный остров» для оценки запасов древесно-веточных кормов диких копытных. Созданы карты распространения основных кормовых растений по территории парка, карта запасов древесно-веточных кормов в молодняках и нижних ярусах леса. По мере обновления атрибутивной информации возможно скорректировать рассчитанные величины и их картографическое представление, а также сделать прогноз изменения кормовой базы с учетом динамики растительности.

Для национального парка «Лосиный остров», являющегося «островной» особо охраняемой природной территорией, остро стоит вопрос о предельно допустимой плотности популяции крупных млекопитающих, в частности, копытных-дендрофагов. Необходима разработка стратегии управления популяциями копытных, которая невозможна без актуальных данных о состоянии кормовой базы.

Для создания информационной основы стратегии управления популяциями копытных был создан ГИС-проект по состоянию кормовой базы на территории национального парка с возможностью последующей актуализации по мере изменений в составе растительности. На первом этапе проведена актуализация векторных и атрибутивных данных лесоустройства 1998 г. На основе космического снимка 2018 г. в программном обеспечении ArcMap 10.1 отрисованы границы насаждений, погибших от урагана, вырубок и участков, непригодных для обитания крупных млекопитающих. На вырубках в 2017-2018 гг. проводились полевые исследования успешности возобновления и породного состава формирующихся биоценозов. Внесены изменения в базу данных таксационных показателей, на основе актуализированной информации в атрибутивной базе данных проведена классификация лесных и нелесных земель парка по категориям среды обитания животных.

По базам данных лесоустройства построены карты распространения основных видов кормовых растений лося и пятнистого оленя – древесных, кустарниковых и травянистых.

На основании данных о составе, высоте, густоте подроста и подлеска, а также данных о массе кормовых побегов растений разных пород (Смирнов, 2007) подсчитаны запасы древесно-веточных кормов в ярусах подроста, подлеска и в молодняках на зарастающих вырубках, обеспечивающие существование копытных в наиболее критический для их выживания зимний период. Общий запас кормов в подросте по предварительным оценкам составляет 46 т, в подлеске – 107 т, в молодняках на вырубках – около 450 т. Этого количества достаточно для обеспечения потребностей 30 взрослых лосей при условии ежегодного потребления ими 20%

доступных запасов. При этом численность лося в национальном парке оценивается в 45 особей, а пятнистого оленя – в 120-150 особей, что указывает на необходимость регулирования численности и обязательной организации подкормки.

Карта запасов древесно-веточных кормов показывает, что на территории парка преобладают выделы с низкими запасами древесно-веточных кормов, которые не могут рассматриваться как кормовые угодья, а участки с высокими запасами распределены мозаично, что требует от животных дополнительных перемещений в поисках кормов.

Наложение подобной карты на картосхему мест концентрации копытных в зимний период, построенной по данным зимних маршрутных учетов, позволяет определить оптимальные места для организации зимней подкормки. При этом из расчетов исключаются участки, где лесной массив Лосиногостовского Острова перемежается с элементами застройки, или кварталы, являющиеся местами массового отдыха, т.к. у потревоженных животных в 2-3 раза возрастает протяженность суточного хода, а, следовательно, и энергозатраты, что сводит на нет дополнительную подкормку (Глушков, 2003).

На данный момент исследования носят скорее методический характер. Тем не менее, предложенный подход позволяет по мере получения более достоверной информации о состоянии нижних ярусов леса и актуализации данных о лесном фонде скорректировать рассчитанные величины и их картографическое представление, а также сделать прогноз изменения кормовой базы в будущем с учетом динамики растительности на вырубках и общего старения леса.

## ЛИТЕРАТУРА

*Глушков В.М.* Экологические основы управления популяциями лося в России: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 06.02.03. Москва, 2003. 44 с.

*Смирнов К.А.* Опыт оценки запасов веточного корма лесных копытных с использованием связи между диаметром побегов и их массой // Зоологический журнал. 2007. Т. 86. № 7. С. 883-890.

## USING GIS FOR THE EVALUATION OF WOODY FORAGE STOCKS AND CALCULATION OF ACCEPTABLE POPULATION DENSITY OF UNGULATES

V.V. KISELEVA<sup>1,2</sup>, A.D.KOINOV<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> MYTISHCHI BRANCH, BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MYTISHCHI

<sup>2</sup> CENTER OF FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, MOSCOW

<sup>3</sup> FEDERAL STATE BUDGET INSTITUTION NATIONAL PARK LOSINYI OSTROV, MOSCOW

The approach suggested makes it possible to use the attributive information of GIS of National Park Losinyi Ostrov for the evaluation of stocks of woody forage of wild ungulates. The maps are created representing the distribution of the most important forage species across the park territory and the stocks of woody forage in young stands and understorey. As far as the attributive information is actualized, the calculated values and their visual representation can be revised and the changes of forage stocks following vegetation dynamics can be predicted.

## **ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ВЕСНЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ EVI ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Г.В. ЛОБАНОВ, Н.Н. ДРОЗДОВ, А.Ю. ЧАРОЧКИНА

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.Г. ПЕТРОВСКОГО»

Приводятся сведения о влиянии метеорологических условий весны 2010-2015 гг на распределение значения EVI пахотных угодий Брянской области с разными ландшафтными условиями (свойства почв, топография поверхности, условия поверхностного стока). Анализируются причины сезонных и многолетних различий значений индекса.

Различия сезонной динамики вегетационных индексов пахотных угодий могут, в относительно короткий период года – от завершения вегетации до начала снеготаяния, использоваться как источник сведений о физическо-химических и некоторых иных свойствах почв (Cabello et al, 2012; Emran et al, 2017). Распределение отражающих свойств открытой почвы, зависит от водно- и теплофизических свойств, задающих энергетические характеристики потока эффективного излучения и значения индекса спектральной яркости в разных областях спектра. Колебания метеорологических особенностей этого периода – средней температуры, условий увлажнения, существенно ограничивают возможность однозначной интерпретации данных.

Особенности географического распределения вегетационного индекса EVI пахотных угодий Брянской области в разные по метеорологическим условиям годы - 2010-2015 гг. рассматриваются нами как следствие действия двух групп факторов – погодных условий и свойств почв. Объём выборки, оценивающей влияние ландшафтных условий, на распределение EVI пахотных земель Брянской области составляет 255 ключевых участков, для которых определены топографические особенности поверхности, содержание гумуса и механический состав почв. Сведения о метеорологических условиях весны 2011-2015 гг. представлены наблюдениями трёх пунктов, наилучшим образом отражает отражающих мезоклиматические различия.

Направление динамики изменений метеорологических условий весны совпадает в разных частях Брянской области. Средняя температура периода от завершения снеготаяния до начала вегетации изменяется следующим образом: очень тёплый 2014 г., умеренно-тёплые 2010, 2012, 2015, прохладные 2011 и 2013; сумма осадков весной и в предыдущую зиму: очень влажные 2012 и 2013 г, умеренно влажные 2010, 2011 и 2015, сухой 2014.

К первой половине марта глубина снежного покрова составляет от нескольких до первых десятков сантиметров, в зависимости от метеорологических условий последних недель зимы. В тёплые годы к началу марта снежный покров разрушается полностью (2014, 2015

гг.). Среднее значение EVI снежного покрова на пахотных землях несущественно отличается от нуля. Различия индекса между открытыми поверхностями пашни сравнительно невелики. Более высокие значения характерны только для участков пашни у границы леса, или окружённых перелесками. Причина низкой спектральной яркости снежного покрова – насыщение талой водой.

Средние значения EVI в марте 2014 и 2015 г (снежный покров разрушился в конце февраля, среднесуточная температура выше 0) составляют 0,30-0,35; в прохладную весну 2010-2013 гг (снежный покров разрушился в конце марта – начале апреля, среднемесячная температура воздуха от -5,0 до -1,5) значения EVI близки к нулю. Пространственные различия EVI несущественны.

Сроки завершения снеготаяния и устойчивого перехода среднесуточных температур через 0 различаются на 10 дней в северной и юго-западной части области (градиент температур направлен с юго-запада на северо-восток, градиент увлажнения – с северо-запада на юго-восток). Соответственно, территориальные различия значений EVI в начале климатической весны могут быть весьма велики. Поскольку на севере области ещё сохраняется снежный покров, значения EVI здесь близки к нулю; тогда как на юго-западе уже составляют 0,35. После освобождения поверхности земли от снега – в конце марта (начале марта в тёплые годы) распределение EVI определяется эдафическими факторами, поскольку, активная вегетация ещё не началась. Диапазон EVI меньше, чем во время завершения снеготаяния, но выделяются участки, на которых значения индекса заметно отличаются от среднего. На территориальные различия индекса влияет уклон, экспозиция поверхности, механический состав, водно-физические свойства почв. Невысокими значениями EVI отличаются слабо дренированные участки пашни на плоских водоразделах или северных склонах; преимущественно суглинистого или глинистого состава. Здесь, высокая влажность почвы снижает EVI за счёт низкой спектральной яркости поверхности в ближнем инфракрасном диапазоне, соответственно, относительно невысокие значения EVI.

На высоких водоразделах со смытыми почвами значения EVI могут быть низкими, вследствие высокой яркости поверхности в красном диапазоне спектра. При пахоте смытых почв захватывается и переносится к поверхности светлоокрашенный материал горизонта вымывания. Тёмная поверхность почвы отличается низким альбедо, большей плотностью потока энергии в ближнем инфракрасном диапазоне.

Таким образом, невысокие значения EVI могут быть диагностическим признаком смытых почв, с учётом особенностей рельефа и увлажнения соседних участков. На дренированных водоразделах низкие значения EVI с высокой вероятностью могут интерпретироваться как участки смытых почв. На плоских водоразделах интерпретация, очевидно иная – низкие



значения EVI характерны для избыточно увлажнённых участков. Возможность использовать пространственные различия EVI для количественной диагностики иных свойств почв ограничена большим разнообразием сочетаний факторов спектральной яркости поверхности. Парные корреляционные связи между содержанием гумуса, плотностью, иными механическими характеристиками верхних горизонтов почв несущественны. В частности, влияние содержание гумуса нередко на спектральную яркость поверхности маскируется влажностью или механическим составом верхних горизонтов. После начала вегетации (конец апреля-май) значительное количество участков сохраняет относительно более высокие или низкие значения EVI. Прежде всего, это участки пашни на выпуклых водоразделах с большим содержанием гумуса (высокие значения EVI) и плоских избыточно увлажнённых поверхностях (низкие значения EVI). Распределение изменяется прежде всего за счёт участков, на которых начало вегетации задерживалось низкими температурами, большим увлажнением верхних горизонтов почв. В мае высокие значения EVI широко распространяются на водораздельных поверхностях уже с разными эдафическими условиями.

Факторы географического распределения EVI сохраняют значение в разных метеорологических условиях. Различаются сроки наступления, продолжительность интервалов времени с низкой и высокой вегетацией в регионе исследования в целом и на отдельных ключевых участках. Средние температуры, количество осадков зимой и весной определяют различия увлажнения пахотных земель, и соответственно различия распределения индекса. Для некоторых участков характерны ритмические колебания EVI – в прохладные и влажные весенние месяцы низкие значения индекса в тёплые сухие – высокие.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Ferrero, R., Castro, A.J., Liras, E.* The role of vegetation and lithology in the spatial and inter-annual response of EVI to climate in drylands of Southeastern Spain // *Journal of Arid Environments*. 2012, V. 79, P. 76-83.

*Emran A., Roy S., Bagmar S.H., Mitra C.* Assessing topographic controls on vegetation characteristics in Chittagong Hill Tracts (CHT) from remotely sensed data // *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2018, V. 11, P. 198-208.

УДК 528+502+581

### **ДИСТАНЦИОННО-НАЗЕМНЫЕ МЕТОДЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ**

МАКАРОВА М. А.

БОТАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В. Л. КОМАРОВА РАН

Картографирование растительности проводилось в неоднородных условиях в сельгово-ложбинном ландшафтном районе Северо-Западного Приладожья. Разработаны графические возможности отображения разнообразия растительного покрова на картах и в легендах к картам растительности в зависимости от масштаба (1:5000, 1:25000, 1:100000, 1:500000).

Исследуемая территория находится области выходов на дневную поверхность фундамента древних платформ Балтийского кристаллического щита, в виде каменистых гряд (сельг), сложенных плотнокристаллическими гранитами и гранитогнейсами архейского периода. Рельеф местности сильно пересечен, что приводит к формированию на такой небольшой территории местоположений с разнообразными условиями среды, и, соответственно, к пестроте растительности. Сельговые холмы чередуются с торфянистыми межсельговыми понижениями и озерными глинистыми террасами. Для вершин сельг характерны среднетаежные леса – сосняки лишайниковые и кустарничково-зеленомошные. На склонах сельг развиваются богатые южнотаежные леса: ельники кисличные, мелколиственно-сосновые чернично-неморальнотравные леса, осинники кислично-папоротниковые. Также значительно участие в составе лесов древостоев смешанного состава (ель, сосна, береза, осина). В межсельговых ложбинах встречаются заболоченные сосновые, березовые сфагновые низкобонитетные леса или мезотрофные осоково-сфагновые болота. Озерные глинистые террасы заняты мелколиственными молодняками снытевыми, ивняками влажнотравными или разнотравно-злаковыми лугами. Современная растительность сформировалась в условиях, как ландшафтной неоднородности, так и вследствие интенсивной антропогенной нагрузки (верховые и низовые пожары, выборочные и сплошные рубки, карьерная выработка гранитов, осушение межсельговых болот, освоение озерных террас под сельскохозяйственные угодья и дальнейшее их забрасывание). Такая пестрота ландшафтных условий и антропогенных воздействий ведет к усложнению структуры растительного покрова территории.

Для выявления закономерностей в пространственном распределении растительных сообществ были проведены полевые и дистанционные исследования, картирование проведено в масштабах 1:5000 и 1:25000. Легенды к карте растительности включает единицы эколого-фитоценотической классификации, подразделения легенды включают как гомогенную, так и гетерогенную растительность (или территориальные единицы растительности), широко используемые картографами-геоботаниками при показе сложной структуры растительного покрова (Сочава, 1962; Исаченко, 1969; Лавриненко, 2015; Холод, 2015, и др.). Полученные карты были генерализованы в среднемасштабные карты (1:100000, 1:500000).

Карта масштаба 1:5000 выполнялась наиболее детально, был выбран модельный участок (площадью 1км<sup>2</sup>), исследованный наземными методами с целью выявления максимального фитоценотического разнообразия, а также выявления пространственных закономерностей в структуре растительного покрова. В качестве основы для отрисовки контуров использовалась карта местоположений (Исаченко, Резников, 1996). В результате выделено 24 гомогенных и 2 гетерогенных подразделения легенды (Makarova, 2016). Наиболее сложная про-

пространственная структура растительности отмечена на вершинах сельг и представлена на карте как скальные комплексы. Неровности поверхности кристаллических пород влияют на условия накопления влаги и мелкозема, здесь в пределах десятков квадратных метров формируются микрокомплексы от выпуклых гранитных «лбов» с лишайниковым покровом и отсутствием почв до понижений с торфом мощностью до 0,5 м (Исаченко, 2018).

Для создания карты масштаба 1:25000 (участок площадью 35 км<sup>2</sup>) исследования проводились дистанционно-наземными методами, на топографической основе, с привлечением спектроанализальных АФС. Выявленное в ходе полевых исследований фитоценотическое разнообразие и особенности пространственной структуры растительного покрова были показаны на карте и в легенде в виде гомогенных и гетерогенных подразделений (Макарова, 2010). В легенде приводятся 52 типа фитоценозов (группы ассоциаций) и 56 их модификаций (ассоциации и суб-ассоциации). 8 номеров легенды использованы для показа антропогенно нарушенной растительности. Неоднородность растительного покрова представлена 16 номерами легенды: комплексы, сочетания, ряды. Например, скальный комплекс растительности, экологический ряд сообществ склонов сельг, эколого-динамический ряд стадий лесовосстановления после рубок. Леса (66,7% от площади карты) преобладающий тип растительности, сосновые (30,1%), и еловые (13%) леса относятся к основным типам лесов, мелколиственные леса (16,3%) состоят в основном из березы, осины и серой ольхи, местами с примесью рябины и ивы козьей. Болота не имеют широкого распространения (3%), но их структура достаточно неоднородна, для ее выявления были составлены схемы мелкоконтурных болот (Макарова, Галанина, 2012). Примерно 20% приходится на долю использования земель (населенных пунктов, сельхоз земель и гранитных карьеров).

Созданные крупномасштабные карты были генерализованы в среднемасштабные. При генерализации карты до масштаба 1:100000 леса и луга озерных террас, отдельные болота межсельговых ложбин еще сохранились на карте, но все многообразие лесной растительности сельговых местоположений было преобразовано показано в литогенные комплексы растительности вершин, склонов и подножий сельг. Легенда карты этого масштаба сильно упрощена. При следующей генерализации карты до масштаба 1:500000 легенда еще больше обобщается и на карте представлены только сочетания растительности сельговых холмов и озерных террас. Мелкоконтурные болота и луга уже нет возможности показать в таком масштабе.

Проведенные в Северо-Западном Приладожье исследования послужат одним из ключевых участков для создания в дальнейшем карты растительности Ленинградской области.

Работа выполнена по плановой теме № АААА-А19-119030690002-5 «Пространственная организация, разнообразие и картографирование растительного покрова северной Евразии».

## ЛИТЕРАТУРА

- Исаченко Т. И.* Сложение растительного покрова и картографирование // Геоботаническое картографирование 1969. Л. 1969. С. 20–33.
- Исаченко Г. А., Резников А. И.* Динамика ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России. СПб. РГО. 1996. 166 с.
- Исаченко Г. А.* Многолетняя динамика ландшафтов Северо-Западного Приладожья по данным стационарных наблюдений // Вестник СПбГУ. Науки о земле. 2018. Т. 63. Вып. 1. С. 3-21.
- Лавриненко И. А.* Типология территориальных единиц растительности для целей крупномасштабного картографирования (на примере острова колгуев) // Геоботаническое картографирование. СПб. 2015. С. 95-119.
- Makarova M.* Large-scale mapping of actual vegetation in heterogeneous landscape conditions (NW Ladoga region, Russia) // Conf. proc. «Mapping and monitoring of Nordic vegetation and landscapes». 115, NO-1431 As, Norway. Norsk institutt for skog og landskap. Viten fra Skog og landskap. 2010. № 01(10). P. 75-79.
- Макарова М. А., Галанина О. В.* Изучение растительного покрова малых болот Северо-Западного Приладожья для целей крупномасштабного картографирования // Ботанический журнал. 2012. Т. 97. № 1. С. 44-58.
- Makarova M. A.* Vegetation map of the Experiment Site of the Landscape-Ecological Field Experiment Station of the Faculty of Geography and Geoecology // Atlas of Ecology. Ed. Hu Mengchun, Ma Ronghua / Ministry of Science and Technology of the Peoples Republic of China. 2016. p. 71-80.
- Сочава В. Б.* Вопросы картографирования в геоботанике // Принципы и методы геоботанического картографирования. М.-Л. 1962. С. 5-27.
- Холод С. С.* Синузии в территориальных единицах растительного покрова арктических тундр // Ботанический журнал. Т. 100. № 2. 2015. С. 81-113.

## REMOTE AND FIELD METHODS OF THE VEGETATION MAPPING OF THE NORTH-WEST LADOGA REGION

MAKAROVA M. A.

KOMAROV BOTANICAL INSTITUT OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENSE

Vegetation mapping was carried out in heterogeneous conditions in hilly-hollow landscape of the North-Western Ladoga. The graphic possibilities of displaying the diversity of vegetation cover on maps and legends to vegetation maps depending on the scale are developed (1:5000, 1:25000, 1:100000, 1:500000).

УДК 630

## WEB-РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТКРЫТОСТИ ДАННЫХ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Е.Г. МАЛАХОВА

ФГБУ «РОСЛЕСИНФОРГ»

В докладе автором рассматривается важность и необходимость формирования системы публикации актуальной информации о лесах в геопространственной среде. Представлен обзор информационных ресурсов, размещенных в сети Интернет органами государственной власти субъектов Российской Федерации и наличие данных лесной отрасли.

В России технологическое развитие и современные потребности общества позволяют реализовывать на федеральном и региональном уровнях программно-технические решения для представления геоинформации. Всё более широкое распространение получает пространственное представление статистических данных, что позволяет проводить не только стандартный анализ информации, но и пространственно-временной, включающий сведения о точном местоположении объектов изучения. Повсеместное развитие информационно-

телекоммуникационной сети «Интернет» обеспечило доступ к «мировой паутине» большей части населения России. Именно поэтому web-технологии набирают всё большую популярность (Андреева, 2015; Якубайлик, 2018). Геопорталы и иные интерактивные картографические ресурсы являются одним из новых широко используемых популярных web-решений. Сервисы интерактивного получения и анализа информации реализуются в нашей стране как на локальных, так и на региональных и федеральных уровнях. По данным А. Пирогова (2018), геопорталы регионального уровня реализованы местными органами власти в некоторых случаях в виде инфраструктуры пространственных данных (ГИС и геопорталы - в 38 регионах).

Вопросы по составу и содержанию информации о лесах регулируются приказом Минприроды России от 29.06.2018 № 301 «Об утверждении Состава и содержания информации о лесах». В нем перечислен состав данных, который должен быть размещен на сайтах органов государственной власти субъектов РФ. В приказе отмечено, что содержание должно включать геоинформационные, пространственные и атрибутивные данные. Была поставлена задача проведения мониторинга размещения информации о лесных ресурсах в сети Интернет. Проведен анализ наличия на региональных геопорталах органов государственной власти информации о лесах России.

В большинстве регионов на интерактивных ресурсах не размещено информации о лесных ресурсах. В составе данных геопорталов в 13 субъектах размещены границы лесничеств, в 6 регионах – границы участковых лесничеств, в 6 регионах – границы квартальной сети. Тематическая информация о категориях лесов размещена у 4 субъектов. Сведения о мероприятиях по охране и защите лесов размещены на геопорталах 10 субъектов РФ. Карты растительности представлены на 7 ресурсах. Данные, касающиеся инвестпроектов, – на 4 ресурсах. Информация о границах арендованных лесных участков визуализирована на 4 ресурсах. Единично представлена информация о ведении сельского хозяйства на территории лесного фонда, оценка лесных ресурсов по породно-качественным показателям и транспортной доступности, аукционные участки, реестр лесонарушений, лесные маршруты. Отдельные георесурсы создали в Кировской области «ГИС Лес». Подробно представлены данные о границах лесничеств, кварталов, об использовании, охране и защите лесов, мероприятиях по воспроизводству лесов. В составе данных открытого геопортала Московской области «РГИС» представлены интерактивные карты о мероприятиях по охране, защите, использованию и воспроизводству лесов.

В результате анализа не обнаружено ни одного информационного ресурса, полностью отвечающего требованиям Приказа Минприроды № 301 и содержащего полный набор информации. Развитие данного направления возможно в двух вариантах: разработка каждым

регионом информационных ресурсов самостоятельно или создание единого федерального портала, включающего данные субъектов РФ.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Андреева Т.А.* и др. Региональный геопортал «Невский край»: структура, содержание и технологии создания // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Вып. 3. 2015. С. 73-83

*Пирогов А.Н.* Геопорталы России. Классификация. Часть 1 // Вестник ГЛОНАСС. № 4. 2018. С. 44-49.

*Якубайлик О.Э.* Особенности построения программного обеспечения геоинформационных веб-систем// Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 5 (71). С. 62-64.

#### WEB SOLUTIONS FOR INCREASING OPENNESS OF THE FORESTRY DATA

E.G. MALAKHOVA

FSBI «ROSLESINFORG»

The author considers the importance and necessity of forming a system for publishing relevant information about forests in the geospatial environment. An overview of information resources posted on the Internet by state authorities of the constituent entities of the Russian Federation and forest industry data is presented.

УДК 58.084/528.855

#### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ГРАНИЦЕ ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.В. МАТЕЛЕНОК, В.В. МЕЛЕНТЬЕВ

ФГАОУ ВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Рассматривается распространение солнечного излучения в растительном покрове в зависимости от параметров его структуры в модельном приближении Ламберта-Бера. В ходе полевых и камеральных работ исследуются распределения фитоэлементов по углам наклона в покрове участков на границе тундры и лесотундры. Производится оценка применимости типовых распределений для описания структуры реальных фрагментов покрова и моделирования переноса излучения.

Пространственная структура растительного покрова посредством регуляции переноса солнечного излучения определяет фотосинтетическую активность фитоэлементов, характер накопления биомассы, микроклимат на занимаемой сообществами территории, влияет на отражательные свойства поверхности суши. Изучение структуры покрова и ее влияния на распространение света важно для понимания протекающих в биогеоценозах процессов. Наименее исследованным в этом ключе остается растительный покров тундр и лесотундр.

В плоскостойких горизонтально-непрерывных и блочных моделях растительного покрова вероятность прохождения луча света через слой или блок описывается законом Ламберта-Бера. Показатель степени экспоненты содержит интегральную G-функцию Росс-Нильсона, которая описывает зависимость доли площади, занимаемой фитоэлементами при

проецировании на перпендикулярную направлению визирования (падения) плоскость, и зависит от распределения фитоэлементов по углам наклона (РФУН) (Wilson, 1960).

При моделировании распространения солнечного излучения в растительном покрове для выражения РФУН чаще всего используются функции типовых распределений (эректофильного, плагиофильного, экстремофильного, планофильного, сферического) и более гибкие адаптивные функции. Однако такие расчеты, не подкрепленные полевыми изысканиями, для конкретных участков имеют лишь приблизительный характер.

Целью настоящей работы является определение возможности использования типовых теоретических РФУН для моделирования распространения солнечного излучения в растительном покрове на границе тундры и лесотундры. Было запланировано выполнение комплекса полевых работ для получения реальных РФУН с последующим их сравнением с типовыми в рамках описанного модельного приближения.

Для автоматизированного исследования структуры покрова в ходе полевых изысканий и камеральной обработки данных использован описанный в публикациях (Мателенок, Мелентьев, 2018, Matelenok, Melentyev, 2018) программно-аппаратный комплекс. Полевые работы проводились в 2016-2017 гг. на участках, находящихся на территории Ненецкого автономного округа и Мурманской области. Были исследованы четыре участка с ерниковым покровом и шесть участков с покровом, в травяно-кустарничковом ярусе которого доминируют осоки.

В результате обнаружено, что формы кривых РФУН слабо соответствуют характерным для типовых РФУН, и для описания распределений больше подходят гибкие функции (эллипсоидная – для ерникового покрова, а повернутая эллипсоидная – для покрова, сформированного осоками).

Как показало моделирование, кривая G-функции как для ерникового покрова, так и для покрова с доминированием осок отличается от таковой для типовых РФУН, преимущественно используемых для описания распределения по углам наклона фитоэлементов растительности тундр (равномерного и сферического). Кривая для ерника занимает промежуточное положение между указанными типовыми кривыми, кривая для осок оказывается ближе к характерной для эректофильного распределения.

Анализ зависимостей коэффициента пропускания излучения растительным покровом от угла падения луча показал, что при одинаковом значении листового индекса покров с доминированием осок будет лучше пропускать свет в направлении почвы. Различия значений коэффициента для покрова, сформированного осоками, и ерникового покрова проявляются в области углов падения от 0 до 40 градусов и составляют для нулевого угла падения в среднем 0,08 при величине коэффициента для ерникового покрова 0,31 и листовом индексе 2,0.

## ЛИТЕРАТУРА

*Мателенок И.В., Мелентьев В.В.* Исследование трехмерной структуры растительного покрова ерниковых тундр с применением фотографической съемки и методов автоматизированной обработки изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 100-111.

*Matelenok I.V. Melentyev V.V.* Three-dimensional structure of tundra vegetation cover dominated by sedges // Arctic Environmental Research. 2018. No. 4. P. 132–140.

*Wilson J.W.* Inclined point quadrats // New Phytologist. 1960. Vol. 59. No. 1. P. 1-7.

### **SPATIAL STRUCTURE OF VEGETATION COVER ON THE BOUNDARY BETWEEN TUNDRA AND FOREST TUNDRA AND ITS EFFECT ON THE SOLAR RADIATION TRANSFER**

I.V. MATELENOK, V.V. MELENTYEV

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF AEROSPACE INSTRUMENTATION

The propagation of solar radiation through vegetation cover in its dependence on the parameters of the cover structure in the frame of Lambert-Beer model schema is considered. During the field survey and desk study, the phytoelement angle distributions in the cover of the sites on the boundary between tundra and forest tundra are investigated. An assessment of the applicability of standard distributions to describe the structure of real fragments of the cover and simulate radiation transfer is made.

УДК 911.52

### **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛЕСОВ (НОВОСИБИРСКИЙ АКАДЕМГОРОДОК)**

Ю.С. ОТМАХОВ, Т.С. ЧЕРНИКОВА

ФГБУН ЦЕНТРАЛЬНЫЙ СИБИРСКИЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД СО РАН

В докладе приведены результаты исследования городских лесов на основе комплексного геоинформационного анализа. На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с российского космического аппарата «Ресурс-П» рассчитаны спектральные (вегетационные) индексы, на основании ЦМР созданы производные рас-тры показателей морфометрических характеристик: рельеф, экспозиция и пересечённость. Для исследуемого участка построена тепловая карта (Heatmap), которая позволяет оценить активность внедрения чужеродных древесных растений в городские леса.

Древесная растительность является радикальным средством оздоровления городской среды благодаря своим газопоглощающим и пылеаккумулирующим свойствам. Основной задачей городских лесов является выполнение ими экологических (средообразующих, санитарно-гигиенических, рекреационных и др.) функций (Коропочинский, 2005). Постоянные нарушения вследствие вмешательства в естественную экосистему могут привести к ее трансформации и последующей необратимой деградации. Изучение трансформации и устойчивости лесных сообществ на урбанизированных территориях проводится многими исследователями (Бурова и др., 2007; Шергина и др., 2007; Яборов, 2011).

В настоящее время использование дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) помогает в исследованиях, направленных на изучение динамики природных явлений, что позволяет оперативно разработать охранной комплекс мероприятий.



Поэтому целью исследования настоящей работы является выявить наиболее уязвимые участки естественной растительности с помощью данных дистанционного зондирования земли для разработки рекомендаций по охране городских лесов.

Новосибирск (55°00'01"N, 82°55'00"E) крупнейший город Западной Сибири. В качестве объекта исследования была выбрана правобережная часть Советского района. Площадь исследованной территории составляет около 2500 га. Район расположен в 20 километрах к югу от центра преимущественно на правом берегу Обского водохранилища. Территория относится к Приобскому сосново-боровому лесостепному району (Крылов, 1961).

В основу работы легли 232 геоботанических описания выполненных в течение полевых сезонов 2015-2017 гг. по общепринятым геоботаническим методам (Корчагин, 1964). В каждом описании учитывались все сосудистые растения. Названия таксонов высших сосудистых растений приведены по сводке С.К. Черепанова (1995).

На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космического аппарата «Ресурс-П» (дата съёмки 03.06.2017 г.) рассчитаны спектральные (вегетационные) индексы (GRVI – смена типов растительности, GNDVI – активность фотосинтеза). Источником информации о рельефе (ЦМР) были открыто распространяемые высотные данные SRTM с пространственным разрешением 90 м/пиксель (Jarvis и др., 2008). На основании ЦМР были созданы производные растры показателей морфометрических характеристик: рельеф, экспозиция и пересечённость. По данным о чужеродных древесных растениях (*Acer ginnala*, *Acer negundo*, *Amelanchier spicata*, *Juglans mandshurica*, *Malus baccata*, *Padus maackii*, *Quercus robur*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*) для исследуемого участка построена тепловая карта (Heatmap), которая позволяет оценить активность их внедрения в городские леса.

Впервые проведён комплексный геоинформационный анализ и выявлены факторы, оказывающие влияние на распространение инвазионных видов в городских лесах. В результате работы выявлено, что наибольшая концентрация чужеродных древесных растений на исследованной территории отмечена в центральной части между двумя овражными системами. Участки естественных лесов с наибольшей фрагментацией наиболее уязвимы и испытывают антропогенный прессинг. Ключевым фактором среды является тип растительного сообщества, так единично отмечено внедрение в берёзовые травяные леса и в кустарниковые заросли, где отмечается наибольшая активность фотосинтеза.

## ЛИТЕРАТУРА

Бурова Н.В., Феклистова П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.

Коропачинский И.Ю. От редактора // Парадоксы в решении экологических проблем Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2005. С. 7-8.

- Корчагин А.А.* Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Е.М. Лавренко, А.А. Корчагин (Ред.) Полевая геоботаника. Т. 3. М.-Л.: Изд-во Наука, 1964. С. 39–62.
- Крылов Г.В.* Леса Западной Сибири. М.: Из-во АН СССР, 1961. 255с.
- Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.
- Шергина О.В., Михайлова Т.А.* Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. 200 с.
- Яборов В.Т.* Особенности трансформации лесных экосистем // Дальневосточный аграрный вестник. 2011. №2(18). С. 53-57.
- Jarvis A.* Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIARCSI SRTM 90m [Электронный ресурс] / A. Jarvis, H.I. Reuter, A. Nelson, & E. Guevara. 2008. Database: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

## **GIS-ANALYSIS OF URBAN FORESTS (NOVOSIBIRSK AKADEMGORODOK)**

Y.S. OTMAKHOV, T.S. CHERNIKOVA

CENTRAL SIBERIAN BOTANICAL GARDEN SB RAS

The article presents the results of the study of urban forests based on integrated GIS-analysis. Spectral indices calculated from remote sensing data from the Resurs-P satellite. Raster models of morphometric characteristics (relief, exposure, ruggedness) created based on a digital elevation model. The heat map made for the investigated area, and it allows estimating the activity of introduction of alien plants in urban forests.

УДК 630\*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНОВ НА ГОРИМОСТЬ И ПОТЕРИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ЮЖНО-СИБИРСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ**

Е.А. ПАВЛИЧЕНКО, Л.В. БУРЯК

ФИЛИАЛ ФБУ ВНИИЛМ ЦЕНТР ЛЕСНОЙ ПИРОЛОГИИ, РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ, ОХРАНЫ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ, ЗАЩИТЫ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ.

Выявлены зависимости наблюдений лесных пожаров и потери лесного покрова от экспозиции склонов в лесных районах Южно-Сибирской горной зоны по спутниковым данным с 2001 по 2018 гг. Установлено, что большая степень горимости в горных системах юга Сибири отмечается на южных склонах, а большие потери лесного покрова – на северных склонах при самом высоком приросте растительности на северо-восточных склонах.

В России горные леса занимают около трети лесного фонда. Наибольший ущерб лесным экосистемам в горных условиях наносят пожары – до полного обезлесивания крутых склонов и эрозии почв. В каждом географическом районе горные лесные пожары имеют свои специфические черты и по характеру развития, и по последствиям. При этом, главная особенность горных лесов – тесная связь пожарной характеристики с рельефом (Софронов и др., 2008). Вследствие этого оценивать горимость и последствия пожаров в горных лесах необходимо по лесным районам в тесной связи с характеристиками рельефа. В работе проведено исследование горимости и поврежденности горных лесов в лесных районах Южно-Сибирской горной зоны в зависимости от экспозиции склонов. Установленные закономерности могут послужить основой научно-обоснованного прогнозирования горимости горных лесов и поврежденности лесного покрова пожарами в зависимости от геоморфометрических

параметров и могут быть использованы при организации охраны лесов от пожаров, учете лесного фонда, планировании и проведении лесовосстановительных работ.

В исследовании, для описания рельефа, использовались открытые данные цифровой модели рельефа Земли Shuttle Radar Topographic mission (SRTM) (Jarvis A. et al., 2008. Данные доступны по адресу: <http://srtm.csi.cgiar.org>). Используются данные о горимости лесов Fire Information for Resource Management System (FIRMS) с 2000 по 2018 гг. (LANCE FIRMS operated by NASA's ESDIS). И данные потерь лесного покрова Global Forest Change (GFC) с 2001 по 2017 гг. (Hansen, M. C. et al. 2013. Данные доступны по адресу: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>).

В качестве объектов исследования выбраны горные леса Южно-Сибирской горной зоны. Границы области исследования построены по границам горных лесных районов.

Данные цифровой модели рельефа Земли подготовлены для анализа – объединены в мозаику и обрезаны по границам выбранной территории. По данным SRTM построены растры с геоморфометрическими параметрами рельефа – углом и экспозицией склона.

На основе данных горимости лесного покрова построены растровые изображения с разрешением равным среднему размеру точки наблюдения пожара, вычисленному для выбранных данных FIRMS.

Данные потерь лесного покрова GFC также объединены в мозаику и обрезаны по границам выбранной территории.

По данным потерь лесного покрова GFC и данным о лесных пожарах FIRMS были построены гистограммы распределения по экспозиции склонов.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты.

- Распределение пожаров VIIRS FIRMS по экспозиции склонов показало преобладание пожарных точек на южных склонах с плавным уменьшением к северным склонам.
- Потери лесного покрова по данным GFC за 2001-2017 гг. показали наибольшие значения площади потерь на северо-западных склонах с плавным последовательным уменьшением к южным, и с минимальными потерями на южных склонах. Потери лесного покрова по годам повторяют общую картину с переходом максимума от северо-западного (2001, 2004, 2007, 2013, 2016, 2017) к северо-восточному (2003, 2005, 2008, 2010-2012 гг.) или северным (2009, 2014 и 2015 гг.) склонам.
- Максимальный прирост лесного покрова по данным GFC на северо-восточных склонах с плавным уменьшением к западным склонам.
- Распределения пожаров по данным MODIS FIRMS не показали никаких выделенных направлений, скорее всего по причине низкого пространственного разрешения данных MODIS – 1000 м и более.

В дальнейшем планируется в исследовании горимости склонов и потери лесного покрова в горных лесных районах учесть высотно поясной комплекс (ВПК) и крутизну склонов, а также использовать данные наземных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М.* Пожары в горных лесах. Красноярск, 2008. 387 с.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend.* 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
- Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara,* 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Reuter H.I, A. Nelson, A. Jarvis,* 2007, An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data // *International Journal of Geographic Information Science*, 21:9, 983-1008.

### ESTIMATION OF THE SLOPE EXPOSITION INFLUENCE ON FOREST FIRES AND FOREST COVER LOSS OF THE SOUTH SIBERIAN MOUNTAIN COUNTRY

<sup>1</sup> PAVLICHENKO E.A., <sup>1</sup> BURYAK L.V.

<sup>1</sup> THE BRANCH OF FBU VNIILM «CENTER OF THE FOREST PIROLOGY».

Wildfires and loss of forest cover dependencies on the aspect of slopes in forested areas of the mountain zone in Southern Siberia were estimated on the basis of satellite data from 2001 to 2018. It has been established that more wildfires were registered on southern slopes and more extensive forest cover losses were observed on northern slopes, the highest growth of forest cover being on northeast slopes.

УДК 630\*43; 630\*421

### МЕТОДОЛОГИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОЖАРНЫХ РЕЖИМОВ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЕ

ПЛОТНИКОВА А.С., ХАРИТОНОВА А.О., ЕРШОВ Д.В.

ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

Доклад раскрывает содержание методических подходов к динамическому картографированию пожарных режимов лесных экосистем на локальном уровне: выделение пространственных единиц, применение классификации LANDFIRE, определение FRCC. Рассмотрены необходимые пространственные данные: ЦМР, гидрографическая сеть, карта растительности, пожарная история территории исследования.

Экосистемы лесных ландшафтов подвержены влиянию пожаров, возникновение, распространение и длительно-временные последствия которых определяет исторически сложившийся процесс – пожарный режим (Валендик, Иванова, 2001). Определение и картографирование пожарных режимов актуальны при оценке состояния и прогнозе постпирогенной динамики лесных экосистем, биологического разнообразия растительности, при анализе климатических изменений

Настоящий доклад содержит методические подходы к динамическому геоинформационному картографированию пожарных режимов лесных экосистем на локальном простран-

ственном уровне с использованием классификации LANDFIRE (Landscape Fire and Resource Management Planning Tools).

Во-первых, выделение пространственных единиц картографирования пожарных режимов, под которыми понимается наибольшая площадь с относительно однородным характером повреждений (Price, Daust, 2003). На локальном уровне предлагается выделять пространственные единицы на основе границ водосборных бассейнов рек (Плотникова, Харитонова, 2018). Во-вторых, определение пожарных режимов пространственных единиц в соответствии с классификацией LANDFIRE, которая включает пять классов в зависимости от периода повторяемости пожаров (0-35 лет; 36-200 лет; более 200 лет) и степени повреждения растительного покрова (низкая, смешанная, высокая) (Barrett et al., 2010). В-третьих, получение класса состояния пожарного режима FRCC (Fire Regime Condition Class) – качественная мера отклонений современного пожарного режима от исторических значений в пределах пространственных единиц. Отмечается, что существенные отклонения приводят к изменению ключевых компонентов экосистем: видового состава, структуры и возраста растительного покрова, сомкнутости крон, наличия и состава горючего материала, что влияет на изменение частоты возникновения и интенсивности распространения пожара (Schmidt et al., 2002). Для каждого пожарного режима определяется три класса условий, от которых зависят потенциальные риски для экосистем.

Разработанные методические подходы подразумевают использование ряда пространственных данных (Плотникова и др., 2018). Для выделения границ пространственных единиц на территории исследования необходимы: цифровая модель рельефа и векторные данные о гидрографической сети, находящиеся в открытом доступе, а также цифровая тематическая карта наземных экосистем, созданная, в частности, по спутниковым данным Landsat-TM\ETM+ (Гаврилюк и др., 2018). Анализ периода повторяемости пожаров и степени повреждения возможен при наличии пространственно-координированных данных о пожарной истории территории. Такими данными могут являться результаты визуального дешифрирования космических снимков и анализа архивных материалов (Алейников и др., 2015); спутникового, авиационного и наземного способов мониторинга (Лупян и др., 2017), а также дендрохронологической реконструкции пожаров (Ваганов и др., 1999; Drobyshev et al., 2004; Tautenhahn et al., 2016; Bobrovsky, 2019).

Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 17-05-00300).

## ЛИТЕРАТУРА

*Алейников А.А., Тюрин А.В., Симакин Л.В., Ефименко А.С., Лазников А.А.* История пожаров в темнохвойных лесах Печоро-Илычского заповедника со второй половины XIX века по настоящее время // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 31–42.

Ваганов Е.А., Хьюс М.К., Шаикин А.В., Арбатская М.К. Дендрохронологические методы в оценке углеродного цикла лесных экосистем // Круговорот углеродного цикла на территории России. М.: Наука, 1999. С. 96-123

Гаврилюк Е.А., Плотникова А.С., Плотников Д.Е. Картографирование наземных экосистем Печоро-Ильчского заповедника и его окрестностей на основе восстановленных мультитременных спутниковых данных Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 141–153.

Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Еришов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158-175.

Плотникова А.С., Харитонова А.О. Выделение границ водосборных бассейнов рек на локальном пространственном уровне // Вопросы лесной науки. 2018. № 1.

Плотникова А.С., Еришов Д.В., Харитонова А.О. Использование пространственных данных для определения пожарных режимов лесных экосистем на локальном уровне // Сборник статей по итогам научно-технических конференций. – Выпуск 9. – М.: МИИГАиК, 2018 / Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка» С. 118-120.

Barrett S.W., Havlina D., Jones J., Hann W., Frame C., Hamilton D., Schon K., Demeo T., Hutter L., Menakis J. Interagency Fire Regime Condition Class Guidebook. Version 3.0, 2010, URL: [https://www.landfire.gov/frcc/frcc\\_guidebooks.php](https://www.landfire.gov/frcc/frcc_guidebooks.php) (July 23, 2018).

Bobrovsky M. V. The history of fires in old-growth korean pine – broadleaved forests in the middle reaches of the Bikin river (western slope of the Sykhote-Alin mountains) according to dendrochronological and pedoanthracological data / M. V. Bobrovsky // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2019. – Vol. 4 (1). – DOI 10.21685/2500-0578-2019-1-2.

Drobyshev I., Niklasson M., Angelstam P., Majewski P. Testing for anthropogenic influence on fire regime for a 600-year period in the Jaksha area, Komi republic, East European Russia // Canadian Journal of Forest Research. 2004. Т. 34. № 10. pp. 2027-2036.

Price, K., Daust, D. The Frequency of Stand-replacing Natural Disturbance in the CIT Area. Report to the Coastal Information Team. 2003.

Schmidt, K.M., J.P. Menakis, C.C. Hardy, W.J. Hann, and D.L. Bunnell. 2002. Development of coarse-scale spatial data for wildland fire and fuel management. RMRS-GTR-87. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.

Tautenhahn S., Lichstein J.W., Jung M., Kattge J., Bohlman S.A., Heilmeyer H., Prokushkin A., Kahl A., Wirth C. Dispersal limitation drives successional pathways in Central Siberian forests under current and intensified fire regimes // Global Change Biology, 2016, 22, pp. 2178–2197.

## **THE METHOD AIMED AT DYNAMIC FOREST FIRE REGIMES MAPPING OVER THE LOCAL AREA**

A.S. PLOTNIKOVA, A.O. KHARITONOVA, D.V. ERSHOV

CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

The report contains a description of the method aimed at dynamic forest fire regimes mapping over the local area: the identification of spatial units, the use of LANDFIRE classification, the definition of the FRCC. The necessary spatial data are considered: DEM, hydrographic network, vegetation map, fire history of the study area.

УДК 630.43

## **ОЦЕНКА НАЗЕМНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ СИЛ И СРЕДСТВ ПОЖАРНО-ХИМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

<sup>1</sup>ПОДОЛЬСКАЯ Е.С., <sup>1</sup>ЕРШОВ Д.В., <sup>1</sup>КОВГАНКО К.А.

<sup>1</sup>ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ (ЦЭПЛ РАН)

Геоинформационные подходы широко используются в организации доступа и управлении тушением лесных пожаров во многих странах мира. В России региональные системы обнаружения и тушения лесных пожаров

базируется на сети пожарно-химических станциях (ПХС) разного уровня. На примере Иркутской области проведены оценки транспортной доступности ПХС при движении специальной техники к лесным пожарам, анализируется пространственное положение спутниковых лесных пожаров относительно станций с учетом нормативов и рекомендаций по размещению станций. Использование дорожных данных глобального охвата позволило провести дополнительную оценку построенных маршрутов наземного доступа, созданных по методике, ранее опубликованной авторами.

Расположение пожарно-химических станций (ПХС) на территории субъекта имеет важное значение при организации оперативного доступа, переброски сил и средств и тушения лесных пожаров. Анализ и оптимизация размещения ПХС с использованием различных программных продуктов и ГИС-технологий приводится как в российской (Подольская и др., 2018, 2019, Таранцев, 2013, Таранцев, 2015) и иностранной (Топольский и др., 2016) научной литературе. Основанием для принятия решения о создании ПХС являются лесной план субъекта (<http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/>) и решение органов исполнительной власти субъекта Российской Федерации. Иркутская область по многолетним данным является одним из самых пожароопасных регионов России по числу и площади ежегодно детектируемых лесных пожаров (Главацкий, Груманс, 2001). Мониторинг лесных пожаров в регионе и организация новых станций является предметом постоянного внимания региональных органов исполнительной власти, о чем свидетельствуют различные мероприятия, опубликованные на официальных интернет ресурсах (<http://irkobl.ru/sites/alh/news/522028/>).

Цель исследования состоит в анализе наземной транспортной доступности специальной техники ПХС при движении к лесным пожарам с помощью ГИС методов. Для ее достижения поставлены следующие задачи: (1) разработка наиболее важных критериев оценки эффективности оптимального расположения ПХС для организации оперативного доступа к лесным пожарам на территории субъекта РФ, (2) оценка эффективности расположения действующих ПХС для спутниковых лесных пожаров Иркутской области за период с 2002 по 2017 гг., и (3) выявление потенциальных или перспективных участков для размещения станций на территории Иркутской области.

Использованные источники транспортных данных глобального охвата (Global Roadless areas, Ibisch et al, 2016; Accessibility to major cities, Nelson, 2008) подтверждают целесообразность размещения ПХС на территории Иркутской области. Картографические продукты указанных источников косвенным и независимым образом подтверждают актуальность используемых авторами данных по Иркутской области и позволяют дать оценку построенным маршрутам наземного доступа специальной техники (Подольская и др., 2019).

В рамках исследования определены следующие параметры ГИС-анализа, которые наилучшим образом могут характеризовать оптимальное размещение ПХС относительно дорожно-транспортной инфраструктуры субъекта: характеристики дорожной сети (наличие, протяженность и плотность дорог, конфигурация дорог и особенности рельефа региона);

данные о детектированных лесных пожарах (количество и пространственное распределение лесных пожаров; территория обслуживания ПХС (на основе действующих нормативов по размещению станций в зависимости от плотности дорог и скорости движения специального транспорта). Результаты исследования могут быть использованы для подготовки сводного плана тушения лесных пожаров в субъектах Российской Федерации (<http://irkobl.ru/sites/alh/OhranaZaschita/Deyatelnost/OhranaOtPojar/>).

Работа выполнена в рамках контракта с государственным финансированием "Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем", номер государственной регистрации - АААА-А18-118052400130-7.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Главацкий Г. Д., Груманс В. М.* Особенности организации тушения крупных лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Лесной Вестник. № 2. 2001. С. 45-55.

Лесной план Иркутской области (Электронный ресурс). URL: <http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/> (дата обращения 05.12.2018).

*Подольская Е.С., Еришов Д.В., Ковганко К.А.* Современные возможности ГИС для моделирования наземного перемещения к очагам лесных пожаров // III Всероссийская научная конференция с международным участием "Научные основы устойчивого управления лесами", секция "Оценка экосистемных функций и состояния лесной биоты и почв", 2018.

*Подольская Е.С., Ковганко К.А., Еришов Д.В., Шуляк П.П., Сучков А.И.* Использование модели транспортной сети региона для оценки времени и расстояния наземной доставки сил и средств до лесных пожаров // Вопросы лесной науки. Т. 2. 2019. № 1. С. 1-28.

*Таранцев А. А.* О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 5. С. 52-57.

*Таранцев А. А.* Методика определения мест дислокации поэтапно создаваемых пожарных частей в сельской местности и корректировки границ районов выезда // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 4. С. 72-78.

*Топольский Н. Г., Тетерин И. М., Нго Куанг Тоан.* Анализ количества и мест дислокации подразделений пожарной охраны в городе Ханой // Интернет-журнал Технологии техносферной безопасности. Выпуск 2 (66). 2016. С. 1-10.

*Ibisch P. L., Hoffmann M.T., Kreft S., Pe'er G., Kati V., Biber-Freudenberger L., Della Sala D.A., Vale M. M., Hobson P.R., Selva N.* A global map of roadless areas and their conservation status, *Science*, N 16, Dec 2016, Vol. 354, Issue 6318, pp. 1423-1427.

*Nelson A.* Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000. Global Environment Monitoring Unit - Joint Research Centre of the European Commission, Ispra Italy. 2008. Available at <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/gam/> (accessed 11/02/2019).

### ESTIMATION OF GROUND TRANSPORT ACCESSIBILITY FROM FIRE AND CHEMICAL STATIONS WHEN ORGANIZING THE FOREST FIRES EXTINGUISHING

<sup>1</sup>E. S. PODOLSKAIA, <sup>1</sup>D. V. ERSHOV, <sup>1</sup>K. A. KOVGANKO

<sup>1</sup> CENTER FOR FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (CEPF RAS)

GIS approaches are widely used to organize an access and management of forest fires extinguishing. Main centers in the operational forest firefighting are the fire and chemical stations (PHS). Using Irkutsk region as an example, we have evaluated the transport accessibility, location of detected forest fires, standards and recommendations of the forest industry on the stations placement. Use of global transport data sources allowed to receive an additional assessment of ground assess routes.



## **МАЛОНАРУШЕННЫЕ ЛЕСНЫЕ ТЕРРИТОРИИ МИРА: ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ С 2000 Г. И ПОДХОДЫ К ВЫДЕЛЕНИЮ ПРИОРИТЕТОВ ДЛЯ ОХРАНЫ**

П.В. ПОТАПОВ<sup>2</sup>, И.В. ЖУРАВЛЕВА<sup>1</sup>, А.Ю. ЯРОШЕНКО<sup>1</sup>, А.Ф. КОМАРОВА<sup>1</sup>, И.В. ГЛУШКОВ<sup>1</sup>,  
С.А.ТУРУБАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РОССИЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГРИНПИС, ГИС-ЛАБОРАТОРИЯ

<sup>2</sup> UNIVERSITY OF MARYLAND, GLAD LABORATORY

В докладе приводится краткий обзор результатов мониторинга малонарушенных лесных территорий (МЛТ) в 2013-2016 гг. на основе дистанционных данных – анализ по странам, биогеографическим регионам, тренды с 2000 года. Представлен собственный метод выделения природоохранной значимости участков МЛТ для дальнейшего использования в глобальных и национальных стратегиях по территориальной охране природы.

Большие ненарушенные лесные территории, которые существуют долгое время, исходно обладают большей устойчивостью к изменяющимся факторам среды, успешнее выполняют средообразующие функции и способствуют сохранению биоразнообразия (Потапов и др., 2008). К таким особо ценным участкам относятся малонарушенные лесные территории (МЛТ) – участки естественных экосистем в границах лесной зоны, не испытывающие значительного антропогенного влияния и достаточно большие по площади для поддержания видового разнообразия и выполнения экосистемных функций. Мировая карта МЛТ была составлена по состоянию на 2000 г. (Potapov et al., 2008) на основе доступных снимков Landsat, обновлена на 2013 г. (Potapov et al., 2017) и на 2016 г. (<http://intactforests.org/data.ifl.html>) на основе производных безоблачных композитов (Potapov et al., 2011).

25% всех лесов в мире до сих пор соответствуют критериям малонарушенных. Их сохранение является важной, но на практике представляется трудновыполнимой задачей одновременно для всех территорий МЛТ. В задачи работы входило: 1. Оценка изменений МЛТ за 2000-2016 гг. 2. Обоснование критериев и выявление с помощью них приоритетных для охраны МЛТ. В рамках планирования территориальной охраны в конкретной стране такое “ранжирование” важно проводить с учетом имеющихся локальных данных о ценности и угрозах для МЛТ. Однако для поддержания международных инициатив по сохранению дикой природы мы видим ценность, в том числе, в выявлении глобальных приоритетов для охраны наиболее ценных и угрожаемых участков МЛТ.

На начало 2017 г. общая площадь 2098 участков МЛТ в мире составила 11.61 млн кв. км в результате сокращения на 9.3% с 2000 г. (2.3% из них в последние 3 года), что соответствует 75 тыс. кв.км в год. При этом во второй период наблюдения (2013-2016 гг.) фиксируется увеличение скорости сокращения на 20% - до 0.72% в год по сравнению с периодом 2000-2013 гг. С 2000 г. некоторые страны потеряли как минимум 1/2 территории всех МЛТ, включая Румынию, Парагвай, Соломоновы острова, Лаос и Экваториальную Гвинею. Более

половины всей потери МЛТ по площади произошло в 3 странах – Россия, Бразилия и Канада. В 26 странах после 2013 ежегодное сокращение МЛТ в среднем увеличилось.

Для выделения МЛТ, приоритетных для охраны, были использованы два набора индикаторов, отражающих (1) природоохранную ценность МЛТ (Важность для биоразнообразия - Myers et al, 2000; IUCN, 2016, BirdLife International, 2017; Kier et al., 2005; Pelletier et al, 2018; Депонирование углерода - Avitabile et al., 2014; ORNL DAAC, 2014; Регулирование круговорота воды и предотвращение эрозии - Willmott and Feddema, 1992; SRTM, ASTER Global DEM; Устойчивость экосистем – данные по площади и плотности МЛТ; UNEP-WCMC, 2018) и (2) существующие риски их сокращения (данные по сокращению МЛТ). На первом этапе все МЛТ были проранжированы по каждому из индикаторов. Затем характеристики были объединены в группы и ранги в каждой из них с равными весами были сложены повторно для получения окончательного ранга МЛТ. В результате были выделены 420 МЛТ с наивысшим индексом природоохранной значимости общей площадью 5.3 млн кв.км. В дальнейшем планируется оценка прямых факторов сокращения для наиболее важных для охраны МЛТ на основе независимой выборки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Potapov P.V., Zhuravleva I.V., Mانشа A.E., Turubanova S.A., Yaroshenko A.Yu. МЛТ мира: выявление и мониторинг с помощью дистанционных методов // Лесоведение. 2008. № 2. С. 58-67.
- Avitabile V., Herold M., Lewis S.L., Phillips O.L., Aguilar-Amuchastegui N., Asner G. P., Brienen R.J.W., DeVries B., Cazzolla Gatti R., Feldpausch T.R., Girardin C. et al. Comparative analysis and fusion for improved global biomass mapping // Global Vegetation Monitoring and Modeling. 2014.
- BirdLife International and Handbook of the Birds of the World. Bird species distribution maps of the world. 2017. V. 2017.2.
- Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (ORNL DAAC). Global Soil Data Task. Data Set. Oak Ridge, Tennessee, USA: 2014.
- IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. 2018. V. 2016-1.
- Kier G., Mutke J., Dinerstein E., Ricketts T.H., Ku W., Kreft H., Barthlott W. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge // Journal of Biogeography. 2005. V. 32. P.1107-1116.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B., Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities // Nature. 2000. V.403-6772. P. 853-858.
- Pelletier T.A., Carstens B.C., Tank D.C., Sullivan J., Espindola A. Predicting plant conservation priorities on a global scale // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. V.115-51. P. 13027-13032.
- Potapov P., Hansen M.C., Laestadius L., Turubanova S., Yaroshenko A., Thies C., Smith W., Zhuravleva I., Komarova A., Minnemeyer S., Esipova E. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013 // Science Advances. 2017. V. 3-1. P.e1600821
- Potapov P., Turubanova S., Hansen M.C. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia // Remote Sensing of Environment. 2011. V.115-2. P.548-561.
- Potapov P.V., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing // Ecology and Society. 2008. V.13-2. P.51.
- Willmott C.J., Feddema J.J. A More Rational Climatic Moisture Index\* // The Professional Geographer. 1992. V.44-1. P.84-88.
- UNEP-WCMC, IUCN and NGS. Protected Planet Report. Cambridge UK, Gland Switzerland, Washington D.C. USA: 2018.

#### INTACT FOREST LANDSCAPES: MONITORING RESULTS FROM 2000 AND APPROACHES FOR DETECTION THE CONSERVATION PRIORITY

P.V. POTAPOV<sup>2</sup>, I.V. ZHURAVLEVA<sup>1</sup>, A.YU. YAROSHENKO<sup>1</sup>, A.F. KOMAROVA<sup>1</sup>, I.V. GLUSHKOV<sup>1</sup>, S.A. TURUBANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GREENPEACE RUSSIA, GLOBAL MAPPING HUB  
<sup>2</sup> UNIVERSITY OF MARYLAND, GLAD LABORATORY

The report provides a brief overview of the results of monitoring of intact forest areas (IFLs) in 2013-2016 based on remote sensing data – analysis by country, biogeographic regions and trends since 2000. The authors present their own method of identifying the environmental significance of the sites of the IFLs for further use in global and national strategies for legal protection of wildlands.

УДК 630\*43:504.9:502.4(470.55/.58)

## **ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ ПОЖАРОВ В ИЛЬМЕНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ ОТ ТИПА ЛЕСА И ДОСТУПНОСТИ ТЕРРИТОРИИ**

Л.А. ПУСТОВАЛОВА<sup>1</sup>, О.Е. ЧАЩИНА<sup>2</sup>, Н.Б. КУЯНЦЕВА<sup>2</sup>, А.Г. МУМБЕР<sup>2</sup>, Д.В. ВЕСЕЛКИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УРО РАН  
<sup>2</sup>ИЛЬМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК

Представлен анализ пространственного распределения лесных пожаров в Миассовском лесничестве Ильменского заповедника в зависимости от некоторых природных и антропогенных факторов с использованием ГИС. Представлено распределение числа лесных пожаров за 67 лет наблюдений по кварталам на границах заповедника, прилегающих к ним, и во внутренней части заповедника. Установлено, что наряду с типом леса и степенью его пожарной опасности доступность территории для посетителей является значимой причиной лесных пожаров на заповедной территории.

Пожары – важная причина изменения площади лесов России. Понимание условий горимости необходимо для эффективного управления лесами. Особенно важно изучение закономерностей распределения лесных пожаров на ООПТ. Ильменский государственный заповедник (ИГЗ) расположен на Южном Урале в подзоне южной тайги вблизи зонального экотона лес–лесостепь. Ранее установлено, что ежегодное число пожаров в ИГЗ увеличивалось с 1948 по 2013 гг. При этом нет достаточных оснований, чтобы связать рост числа пожаров с климатическими изменениями. Средние погодные условия месяцев и сезонов года объясняют небольшую долю межгодовой изменчивости числа пожаров. Наблюдаемые изменения одних климатических характеристик могли способствовать возрастанию, а других – снижению числа пожаров (Чибилев и др., 2016).

Мы предположили, что, подобно другим регионам, рост числа пожаров в ИГЗ определяется прямыми антропогенными факторами. Для понимания причин горимости лесов в ИГЗ было необходимо выявить связь распределения пожаров с доступностью лесов для посетителей и с естественными факторами (характеристиками рельефа и растительности). Поэтому цель работы – установить связь частоты пожаров в ИГЗ с типом леса с учетом класса природной пожарной опасности и доступности территории.

Массив данных включает результаты наблюдений из «Книги учета пожаров» ИГЗ с 1948 по 2014 гг. для восьмидесяти одного квартала Миассовского лесничества. Учитывали общее число всех пожаров в квартале, независимо от типа пожара, его продолжительности и размера. По полевым данным и материалам лесоустройства составлена карта растительности. На основании «Классификации природной пожарной опасности...» (Приказ..., 2008) выделены сообщества с разной пирогенной устойчивостью. Рассчитана доля площади лесов с высокой и средней пожарной опасностью в каждом квартале. Доступность территории для посетителей характеризовали близостью квартала к границам заповедника (в том числе, по акватории озер). Картометрический анализ выполнен в Arc View 3.2 (ESRI).

За 67 лет наблюдений зарегистрировано 292 лесных пожара в 67 кварталах из 81 квартала Миассовского лесничества, из них 102 пожара произошло в кварталах на границах заповедника, 140 – на прилегающих к ним. Леса с высокой пожарной опасностью (сосновые леса брусничные и бруснично-лишайниковые) встречаются, преимущественно, на маломощных почвах и занимают 1,2 % площади. Леса со средней пожарной опасностью (лиственничные и сосновые леса остепненные, сосновые леса черничные и вейниково-кустарничково-зеленомошные) представлены в верхней части склонов Ильменского хребта и предгорий и занимают 17,7 % площади лесничества.

При анализе полного массива данных для всех 81 кварталов установлена не тесная, но значимая связь между частотой пожаров и долей площади лесов с высокой и средней пожарной опасностью:  $r = 0,26$  ( $P = 0,0188$ ). Следовательно, пожароопасность территории – значимый предиктор частоты лесных пожаров. Но тип примыкания к границе ИГЗ также значимо влияет на частоту пожаров:  $F_{(2; 78)} = 3,45$  ( $P = 0,0368$ ). Часто горят леса в кварталах на границах ( $3,9 \pm 0,7$  пожаров на  $\text{км}^2$  за время наблюдения) и в кварталах «второго слоя от границы» ( $5,8 \pm 1,5$  пожаров на  $\text{км}^2$  за время наблюдения) по сравнению с внутренней частью ИГЗ ( $1,8 \pm 0,4$  пожаров на  $\text{км}^2$  за время наблюдения). В *GLM* установлено значимое влияние и доступности территории для людей ( $F_{\text{доступность}}(2; 75) = 6,09$ ;  $P = 0,0035$ ) и пожароопасности ( $F_{\text{пожароопасность}}(1; 75) = 8,05$ ;  $P = 0,0059$ ) как причин возникновения лесных пожаров.

Таким образом, наряду с типом леса и степенью его пожарной опасности, доступность территории для несанкционированных посетителей – значимая причина лесных пожаров на заповедной территории. Следовательно, при прогнозировании числа пожаров необходимо учитывать не только особенности рельефа и растительности, но и характеристики фрагментированности и доступности лесов для посещения людьми.

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-5-5-43).

## ЛИТЕРАТУРА

Приказ Минсельхоз России от 16 декабря 2008 г. N 532. Режим доступа: <https://rg.ru/2009/03/18/klassifikaciya-dok.html>, свободный (дата обращения 13.03.2019)

Чибилев А.А., Веселкин Д.В., Куянцева Н.Б., Чащина О.Е., Дубинин А.Е. Динамика лесных пожаров и климата Ильменского заповедника в 1948–2013 гг. // Доклады академии наук. 2016. Т. 468. № 5. С. 575-578.

## **DEPENDENCE OF FREQUENCY OF FIRES IN THE ILMENSKY RESERVE ON THE FOREST TYPE AND ACCESSIBILITY OF THE TERRITORY**

L.A. PUSTOVALOVA<sup>1</sup>, O.E. CHASHCINA<sup>2</sup>, N.B. KUYANTSEVA<sup>2</sup>, A.G. MUMBER<sup>2</sup>, D.V. VESELKIN<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>INSTITUTE OF PLANT AND ANIMAL ECOLOGY UB RAS

<sup>2</sup>ILMENSKY RESERVE

The analysis of the spatial distribution of forest fires of the Ilmensky reserve (Miassovsky forestry), depending on some natural and anthropogenic factors, is presented using GIS. The distribution of the number of forest fires over 67 years of observations in the compartments on the boundaries of the reserve and adjacent to them and in the interior part of the reserve is presented. It was established that, along with the forest type and the degree of its fire danger, the accessibility of the territory for visitors is a significant cause of forest fires in the protected area.

УДК 528.9

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО ЗАПОВЕДНИКА НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

О.В. РЫЖКОВ, Г.А. РЫЖКОВА

ФГБУ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК  
ИМЕНИ ПРОФЕССОРА В.В. АЛЕХИНА

Представлена методика картирования лесной растительности заповедника, в том числе с использованием современных ГИС-технологий. В среде MapInfo Professional Advanced v.16.0.4 созданы карты размещения оснований стволов и проекций крон деревьев по породам и ярусам на лесных постоянных пробных площадях, выполнены расчеты проективных покрытий. Проанализирована динамика структуры и состава дубрав за последние 50 лет.

Леса Центрально-Черноземного заповедника (ЦЧЗ) расположены в юго-западной части Среднерусской возвышенности в пределах центральной полосы лесостепной зоны (Курская область). Преобладают дубравы байрачные и водораздельные преимущественно порослевого происхождения. В 1963 г. А.М. Краснитским в них заложены первые лесные постоянные пробные площади (ЛППП), которых в настоящее время насчитывается более 20. На этих ЛППП периодически выполняются лесоводственно-таксационные исследования, в частности сплошные перечеты и картирование древостоев, подроста, подлеска и травяного покрова.

Глазомерную съемку древесно-кустарниковой растительности на ЛППП предварял процесс разбивки на местности пикетажной сети размером 5 × 5 м. Для каждой пробной площади в полевых условиях на миллиметровой бумаге вычерчивались схемы размещения оснований стволов и проекций крон деревьев по породам и ярусам (с изображением сухостоя и валежа) в масштабе 1:100. В 2002-2006 гг. такие бумажные схемы были отсканированы, фрагменты которых были сшиты в единые растровые изображения. Растр каждой ЛППП регистрировался в ГИС MapInfo Professional Advanced v.16.0.4 по четырем граничным точкам,

координаты которых определены статической съемкой в безлистный период при помощи современного ГНСС-оборудования (приёмник Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH CE) с точностью 0.2-0.3 м (достигалась при длительной фиксации координат в режиме RTK неподвижным прибором). Далее в среде ГИС выполнялись ручная векторизация объектов по экрану уже с привязкой к местности в универсальной поперечной проекции Меркатора (зона 37, северное полушарие (WGS 84) [EPSG:32637]) и последующие аналитические расчеты.

Непосредственное использование высокоточных приборов геодезического класса при картировании древесной растительности под пологом леса мало эффективно вследствие наличия значительных препятствий для прохождения спутниковых сигналов. Даже при приеме дифференциальных поправок в режиме RTK точность определения координат в данном случае обычно не превышает 1.0 м, что явно недостаточно для корректной записи координат. К тому же требуется наличие устойчивой мобильной или радиосвязи.

Детально изучена динамика пространственной структуры дубрав на 14-ти ЛППП, а именно проективного покрытия древостоев, подроста и подлеска по материалам картирований разных лет, что позволило выявить следующие основные закономерности их развития:

1. В 60-е годы XX века дубовые древостои ЦЧЗ в существенно большей степени были дифференцированы по ярусам. Их общее проективное покрытие было максимальным и относительно равномерным. Сопутствующие виды не играли значимой роли в горизонтальной структуре сообществ.

2. Вследствие массового усыхания дубрав в лесостепи в 70-е годы XX века произошло значительное изреживание древостоев и в ЦЧЗ, в основном, за счет гибели тонкомерных и отстающих в росте дубовых деревьев. Наблюдалось упрощение вертикальной стратификации сообществ, которое проявлялось в доминировании первого древесного яруса. Сформировались большие разрывы в пологе леса. Уменьшилось общее проективное покрытие древостоев.

3. Вследствие изменения светового режима, образовавшиеся окна быстро заселились широколиственными спутниками дуба и дикими фруктовыми породами, благодаря чему к 90-м годам XX века значительно расширился видовой состав древостоев. В популяциях дуба черешчатого сохранился хронологический разрыв: продолжали доминировать исключительно зрелые генеративные деревья и отсутствовали, за редким исключением, особи прегенеративных фракций.

4. В дубравах сформировался мощный подлесочный ярус из черемухи и (или) лещины, что создало дополнительные препятствия для успешного возобновления дуба. При этом, черемуха обыкновенная заселяет преимущественно простые по структуре порослевые дубравы с господством в древесном ярусе дуба черешчатого, образуя плотный подлесок, в котором на ее долю приходится более 90% проективного покрытия. Кроме того, данный вид в условиях запо-

ведника может участвовать в сложении третьего и даже второго ярусов древостоя. Констатируется формирование в отдельных лесных урочищах черемухово-дубняков – уникальных для лесостепи типов леса. Лещина обыкновенная, напротив, приурочена, как правило, к сложным многовидовым широколиственным лесам. По мере взросления популяций данного вида наблюдается слияние мелких разрозненных контуров в крупные сплошные локусы с очень высоким проективным покрытием. В динамике наблюдается активное расселение лещины в лесах Казацкого и Стрелецкого участков ЦЧЗ, включая ее появление на водораздельных пространствах, где ранее она не встречалась или была истреблена.

5. В настоящее время продолжается процесс самоизреживания материнских древостоев дуба порослевого происхождения и усиление фитоценотических позиций других широколиственных пород. Последние локальные очаги усыхания дубрав заповедника зафиксированы в 1999-2000 гг. и были связаны с поздними весенними заморозками, последствия которых усугубились летними засухами.

6. В современных границах лесопокрытой площади ЦЧЗ начинают формироваться теневые широколиственные леса. Омоложение популяций лесобразующей породы наблюдается исключительно в тех местообитаниях, где освещенность не является лимитирующим фактором среды (поляны, экотоны со степью и пр.).

7. Аномальные погодные условия 2009-2012 гг., в частности жара и засуха привели к иссушению верхних горизонтов почвы в лесах, что в свою очередь вызвало массовое усыхание осинников, особенно на Стрелецком и Казацком участках ЦЧЗ.

Помимо картирования насаждений на ЛППП методы ГИС активно используются при маршрутных обследованиях лесных урочищ, в частности для изучения популяций берёзы повислой, лещины обыкновенной и липы мелколистной на Стрелецком участке ЦЧЗ. В 2008-2011 гг. выполнены сплошные перечеты с поиском и фиксацией координат всех особей перечисленных видов, а также старовозрастных деревьев дуба черешчатого и составлением точечных тематических карт в ГИС.

## **RESULTS OF STUDYING FOREST ECOSYSTEMS OF THE TSENTRALNO-CHERNOZEMNY RESERVE BASED ON GIS TECHNOLOGIES**

O.V. RYZHKOV, G.A. RYZHKOVA

TSENTRALNO-CHERNOZEMNY STATE BIOSPHERE NATURE RESERVE  
NAMED IN HONOUR OF PROFESSOR V.V. ALEKHIN

A technique for mapping forest vegetation of the reserve, including the use of modern GIS technologies, is presented. In MapInfo Professional Advanced v.16.0.4, maps of the location of the stem bases and tree crown projections by species and forest layers permanent test plots have been created, projective coverings have been calculated. The dynamics of structure and composition of oak woods over the last 50 years were analyzed.

## КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ТЫВА»

А.Д. САМБУУ

ТУВИНСКИЙ ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СО РАН

В последнее время Республика Тыва испытывает возрастающее рекреационное воздействие, которое сочетает все три уровня: республиканский, российский и международный. В этих условиях возникает потребность изучения рекреационного потенциала Тувы и разработки административной системы его использования, включая территориальную организацию с применением геоинформационных технологий.

В системе природного районирования России территория Республики Тыва расположена в южной части Алтае-Саянской физико-географической страны, в Тувинской горной области.

В настоящее время происходит расширение территории особо охраняемых природных территорий в Республике Тыва. Так, в 2018 г. был создан новый кластерный участок «Шанчы» природного парка «Тыва». Территория кластерного участка проходит по Хемчикскому и Куртушибинскому хребтам в системе хребта Западного Саяна со среднегорными высокогорными и складчато-глыбовыми горами, южная часть кластера проходит по западной окраине Улуг-Хемской котловины. Абсолютные отметки находятся в пределах 2092-540 м над ур. м.

В последнее время крупномасштабные универсальные и оценочные карты растительности занимают важное место в системе управления особо охраняемых природных территорий.

Для растительности исследуемой территории характерен Южно-Западно-Саянский тип поясности, характеризующий систему южного макросклона Западного Саяна. Базисом служит степной пояс Улуг-Хемской котловины, расположенной на высоте 540-800 м н.у.м., занятый преимущественно настоящими, сухими и опустыненными степями. Южные макросклоны хребтов заняты петрофитными вариантами степной растительности. Северные склоны второстепенных хребтов покрыты горно-таежными лиственничными лесами, в верхней части – лиственнично-кедровыми, переходящими и на склоны южных экспозиций. Наибольшая высота достигает 2092 м (Хемчикский хребет). Для Южно-Западно-Саянского типа поясности характерны широкое простираение горных хребтов и значительная ксерофитизация растительности по южным склонам, открытым в обширные межгорные депрессии с резко континентальным климатом с недостатком влаги (Маскаев и др., 1985).

При исследовании богатого биологического и ландшафтного разнообразия кластерного участка были применены как традиционные, так современные методы исследования с применением ГИС по материалам дешифрирования космосъемки высокого разрешения.



В исследованиях главным объектом характеристики является лесной биогеоценоз, границы которого условно совпадают с границами таксационного выдела. Базовой основой являлась карта актуальной растительности. При ее составлении использовалась традиционная доминантная классификация растительности и структурно-динамические принципы построения легенды. База данных, связанная с картой, содержит поконтурные характеристики, отражающие экологическое состояние растительности. На основе карты растительности и сопряженной с нею базы данных создавались следующие прикладные карты (М 1:25 000):

- *Карта факторов антропогенного воздействия на растительность*

показывает действие (одного-двух) наиболее значимых факторов на каждый выдел растительности: сенокосение и выпас, зарастание бывших угодий и рубок, сплошные и выборочные рубки, верховые и низовые пожары и т. д.

- *Карта современного состояния растительности* – отражает степень нарушенности растительного покрова в результате действия антропогенных факторов.

- *Карта фактически выполненных лесохозяйственных и природоохранных мероприятий* характеризует организационно-экономические условия, действующие на территории ООПТ.

- *Карта нарушений лесохозяйственной и природоохранной деятельности* составлена на основе данных повыведельного натурного обследования, в ходе которых фиксировались сведения о нарушениях лесохозяйственной деятельности и о фактах деятельности, запрещенной Положением о кластерном участке.

- *Карта экологического потенциала растительности* является интегральной и отображает весь комплекс характеристик растительности: наличие редких и охраняемых видов и сообществ, степень сохранности растительного покрова, динамическое состояние, значимость выполняемых экологических функций. Служит основой для составления рекомендательных карт хозяйственного использования и охраны ценных объектов на территории ООПТ.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ № 18-44-170001-«р\_а».

#### ЛИТЕРАТУРА

Маскаев Ю.М., Б.Б., Б.Б. Намзалов, В.П. Седельников. Геоботаническое районирование / Растительный покров и естественные кормовые угодья Тувинской АССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1985. С. 210–247.

### **CARTOGRAPHIC EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE NATURE PARK "TYVA»**

A.D. SAMBOU

TUVAN INSTITUTE FOR THE EXPLORATION OF NATURAL RESOURCES SB RAS

Recently, the Republic of Tuva is experiencing an increasing recreational impact, which combines all three levels: national, Russian and international. Under these conditions, there is a need to study the recreational potential of Tuva and develop an administrative system for its use, including the territorial organization with the use of geoinformation technologies

УДК 528.9+502

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТООБИТАНИЙ ДЯТЛООБРАЗНЫХ ПТИЦ *PICIFORMES* ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д. В. САРЫЧЕВ

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На основе данных дистанционного зондирования методами геоинформационного моделирования и машинного обучения выявлены потенциальные местообитания и оценена численность четырех видов дятлов в Липецкой области. Рассмотренные виды занесены в региональную Красную книгу и могут выступать как индикаторы состояния лесных экосистем.

Птицы отряда Дятлообразные *Piciformes* являются важным элементом лесных сообществ и могут выступать индикаторами состояния этих экосистем (*Иванчев, 2005*). В Липецкой области средний дятел *Dendrocopos medius*, седой дятел *Picus canus*, белоспинный дятел *Dendrocopos leucotos* и желна *Dryocopus martius* занесены в Красную книгу (2014), что определяет необходимость более детального изучения их территориального распределения. В регионе зарегистрировано более 200 гнездовых участков данных видов (*Сарычев, 2016*), но до сих пор оценка их численности для всей области не проводилась. Цель данной работы состояла в моделировании потенциальных местообитаний 4 видов дятлов в Липецкой области с помощью ГИС, машинного обучения и дистанционного зондирования.

Для выявления местообитаний исследуемых видов была создана база данных об их известных гнездовых участках. В нее вошли координаты 43 гнезд среднего дятла, 52 – седого дятла, 42 – белоспинного дятла и 71 – желны. На основе данных ДЗЗ и их производных продуктов были подготовлены геоинформационные слои-предикторы. В частности, по данным ЦЭПЛ РАН (*Ершов и др., 2015*) получен слой классов растительности; по данным Global Forest Change (*Hansen et al., 2013*) – слой сомкнутости крон древостоя; по серии из 96 летних снимков с космического аппарата Terra MODIS (*Didan, 2015*) рассчитан слой усредненных значений вегетационных индексов NDVI за период 2000-2015 гг.; на основе SRTM (*Jarvis et al., 2008*) получен слой высот местности. Пространственное разрешение исходных данных составляло около 30 метров на пиксель, кроме данных MODIS, для которых оно равнялось 250 м/пикс. Передискретизация слоев позволила создать однородный набор растров с разрешением 100 м/пикс. Подготовку слоев выполняли в среде QGIS 2.18.

По точкам известных гнездовых участков и набору предикторов посредством программы MaxEnt 3.4.1 смоделировали потенциальные местообитания исследуемых видов методом

максимальной энтропии (*Phillips, Dudik, 2008*). Для каждого вида моделирование воспроизводили 20 раз со случайной сменой тренировочных (75 %) и тестовых (25 %) точек. Наилучшую модель выбирали по критерию минимального стандартного отклонения площади под ROC-кривой. По результирующим растровым слоям для каждого вида в Липецкой области были выделены потенциальные местообитания с пригодностью более 65 %: для среднего дятла их площадь составила 591 км<sup>2</sup> (AUC = 0,908), для седого дятла – 598 км<sup>2</sup> (AUC = 0,909), для белоспинного дятла – 549 км<sup>2</sup> (AUC = 0,904), для желны – 597 км<sup>2</sup> (AUC = 0,881). Зона взаимного наложения выявленных местообитаний составила при этом 211 км<sup>2</sup>. Местообитания среднего и белоспинного дятлов территориально совпадают на 61 %, желны и седого дятла – на 60 %, седого и белоспинного дятлов – на 57 %, желны и белоспинного дятла – на 53 %, среднего и седого дятлов – на 37 %, желны и среднего дятла – на 24 %. Исходя из имеющихся данных по плотности гнездования дятлообразных (*Иванчев, 2005*), нами для условий Липецкой области определена потенциально возможная численность этих видов: для среднего дятла – около 600-1200 пар (при гнездовой плотности 1-2 пары/км<sup>2</sup>), седого дятла – 300-600 пар (0,5-1 пары/км<sup>2</sup>), белоспинного дятла – 230-550 пар (0,5-1 пары/км<sup>2</sup>) и желны – около 60-150 пар (0,1-0,25 пары/км<sup>2</sup>).

Полученные в ходе работы данные, в т.ч. карты потенциальных местообитаний рассмотренных видов дятлов, могут быть использованы для оптимизации охраны этих видов, а также оценки состояния лесных экосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00532.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Карпухина Д.А., Ковганко К.А.* Новая карта растительности центральной части Европейской России по спутниковым данным высокой детальности // Доклады академии наук. 2015. т. 464, № 5. С. 639-641.

*Иванчев В.П.* Отряд Дятлообразные – Piciformes // Птицы России и сопредельных регионов. М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 281-434.

Красная книга Липецкой области. Животные. Липецк : Веда социум, 2014. 484 с.

*Сарычев Д. В.* Оценка связей размещения редких видов авифауны с параметрами среды обитания (на примере Липецкой области) // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2016. № 4. С. 88-96.

*Didan K.* MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Internet]. 2015. URL: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>. (20.01.2019).

*Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E.* Hole-filled seamless SRTM data V4 // International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) [Internet]. 2008. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org>. (18.03.2017).

*Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. № 342. P. 850-53.

*Phillips S.J., Dudik M.* Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. 2008. Vol 31. P. 161-175.

## MODELLING OF THE PICIFORMES BIRDS SPECIES' HABITATS ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA

D.V. SARYCHEV

VORONEZH STATE UNIVERSITY

We identified suitable habitats and assessed abundance of the four woodpecker species in Lipetsk region, Russia with GIS-modelling and machine-learning techniques on the basis of remote sensing data. The study species are enlisted in the regional Red Data book and can indicate forest ecosystem health.

УДК 630\*6; 004.9

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АО)**

ХАМЕДОВ В.А.

ФГБОУ ВО «ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Работа посвящена обсуждению перспективных возможностей автоматизации управления лесным хозяйством на примере Ханты-Мансийского автономного округа. Основными задачами автоматизации является повышение эффективности исполнения своих полномочий региональным органом государственной власти в условиях роста объема использования лесов. В работе представлен обзор существующего состояния автоматизации и представлены направления развития и внедрения автоматизированных систем управления на уровне управления лесным хозяйством.

Ханты-Мансийский автономный округ является крупным лесным регионом. Общая площадь лесов в округе составляет 50,4 млн. га, что составляет 6,2 % от общей площади РФ. В связи с активным развитием нефтегазодобывающего сектора и лесопромышленной отрасли для региона характерно интенсивное использование лесов по отношению к другим субъектам РФ. Так, например, за первое полугодие 2018 года в РФ в аренду, постоянное (бессрочное) и безвозмездное пользование было предоставлено 81 729 лесных участков на общей площади 236 304 101,9 га, в том числе в ХМАО 17 806 лесных участков (21,8 %) на общей площади 3 382 465 га (1,4 %).

В регионе наблюдается ежегодный рост количества использования лесов, что приводит к увеличению объема оказываемых услуг региональным органом государственной власти. Для обеспечения соблюдения установленных законодательством РФ регламентных сроков и в целях повышения эффективности работы необходима система устойчивого управления лесным хозяйством региона.

Устойчивое управление лесным хозяйством неразрывно связано с созданием и развитием информационной системы о лесах и динамических процессах в лесных экосистемах, объединяющей данные периодической статистической и бюджетной отчетности, государственной инвентаризации лесов, лесоустройства, лесопожарного и лесопатологического мониторинга, мониторинга лесопользования (Исаев, Коровин, 2009). С этой целью в регионе активно используется специализированный программный комплекс автоматизации ведения государственного лесного реестра и администрирования платежей «АВЕРС: Управление лесным фондом ПРОФ» совместно с ГИС для работы с материалами лесоустройства «ЛесИнфорг».

Автоматизация технологических процессов лесного хозяйства с использованием «АВЕРС: Управление лесным фондом ПРОФ» способствует повышению эффективности и контролю текущего состояния взаимоотношений с арендаторами лесных участков. Качественно новым явлением становится системный подход к каждому отдельному лесному участку, выраженный в его полном таксационно-лесоводственном описании и постоянном отслеживании его динамики. Использование технологий спутниковой съемки территории позволяет организовать оперативный мониторинг активно обустраиваемых территорий в условиях воздействия нефтегазового комплекса (Хамедов, Мазуров, 2015) и проводить оценку ресурсной базы (Сочилова и др., 2018) лесных участков. Это позволяет реализовать адаптивное управление лесами, когда действия планируются и выполняются, а результаты выполняемых действий контролируются с целью корректировки будущих планов. Адаптивное управление лесами является основой устойчивого управления (Исаев, Коровин, 2009).

Такое комплексное использование информационных ресурсов является перспективным развитием информационных систем в лесном хозяйстве региона. Как отмечено в (Романов, Онучин, 2011), широкое использование междисциплинарного подхода в лесопользовании позволяет исследовать составляющие в рамках единой системы и оптимизации параметров по обобщенным критериям эффективности. На основе результатов мониторинга после оценки показателей эффективности лесопользования могут быть скорректированы критерии оптимизации отдельных технологических операций, выполняемых в процессе лесопользования.

Размещение информации о лесах, расположенных в границах автономного округа на общедоступных ведомственных информационных ресурсах способствует открытости информации о деятельности регионального органа государственной власти в области лесных отношений и получению инвесторами актуальной и достоверной информации об актуальном состоянии лесных территорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 108 с.

*Романов Е.М., Онучин Е.М.* Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 3-9.

*Сочилова Е.Н., Сурков Н.В., Ершов Д.В., Хамедов В.А.* Оценка запасов фитомассы лесных пород по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения (на примере лесов Ханты-Мансийского АО) // Вопросы лесной науки. 2018. № 1. С. 1-22.

*Хамедов В.А., Мазуров Б.Т.* Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории Западной Сибири // Вестник СГУГиТ. 2015. № 3 (31). С. 16-31.

#### **THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGY IN THE MANAGEMENT OF FORESTRY IN THE REGION (ON THE EXAMPLE OF THE KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG)**

The article is devoted to the discussion of promising opportunities for automation of forest management on the example of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. The main tasks of automation is to increase the efficiency of the fulfillment of their powers by a regional government authority in the context of increasing forest use. The paper presents an overview of the current state of automation and presents the direction of development and implementation of automated control systems at the forest management level.

УДК 630\*43; 630\*421

## **СОВРЕМЕННЫЕ И ИСТОРИЧЕСКИЕ ПОЖАРНЫЕ РЕЖИМЫ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА И ОКРЕСТНОСТЕЙ**

А.О. ХАРИТОНОВА, А.С. ПЛОТНИКОВА, Д.В. ЕРШОВ

ФГБУН РАН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

В докладе приводятся результаты определения современных и исторических пожарных режимов Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей с использованием классификации LANDFIRE. Доклад содержит описание методики расчета, а также анализ отклонений современных пожарных режимов от их исторических значений.

Периодически возникающие природные пожары оказывают огромное влияние на функционирование экосистем, что на локальном уровне проявляется в смене гидрологического режима, изменении свойств почв, увеличении мозаичности ландшафта, исчезновении некоторых видов растений и животных, а также появлении инвазивных видов. Степень воздействия огня на экосистемы, в результате которого происходит полное или частичное изменение состояния и видового разнообразия растительности на многие годы определяет пожарный режим территории (Agee, 1993).

В ЦЭПЛ РАН на протяжении ряда лет проводятся исследования, направленные на разработку методических основ определения и картографирования пожарных режимов на различных пространственных уровнях – от локального (Плотникова и др., 2018) до национального (Плотникова и др., 2016). Настоящий доклад посвящен анализу результатов картографирования современных и исторических пожарных режимов в пределах Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей.

Карты исторических и современных пожарных режимов исследуемой территории получены в результате работы метода определения пожарных режимов лесных экосистем на локальном пространственном уровне (Плотникова и др., 2018). Разработанный метод предполагает применение классификации LANDFIRE (Landscape Fire and Resource Management Planning Tools), которая включает пять классов в зависимости от периода повторяемости пожаров (0-35 лет; 36-200 лет; более 200 лет) и степени повреждения растительного покрова (низкая, смешанная, высокая) (Barrett et al., 2010).

В исследовании был использован следующий набор исходных данных: история пожаров Печоро-Илычского заповедника, начиная со второй половины XIX века (Алейников и др, 2015); данные об очагах пожаров, детектированных авиационными и наземными способами мониторинга за период с 1987 по 2011 годы (Лупян и др., 2013); данные дендрохронологической реконструкции пожаров в сосновых лесах в окрестностях заповедника за 600-летний период (Drobyshev et al., 2004). Пространственные единицы картографирования пожарных режимов были выделены на основе границ бассейнов рек (Плотникова и др., 2017). Отметим, что исходные данные определили временные рамки периодов оценки повторяемости пожаров: для Печоро-Илычского заповедника исторический период определялся с 1850 по 1986 гг., современный – с 1987 по 2014 гг.; для окрестностей заповедника исторический период – 1424 – 1954 гг., современный – 1987-2011 гг.

Для определения отклонений современного пожарного режима от исторических значений в пределах пространственных единиц вводится понятие FRCC – Fire Regime Condition Class (класс состояния пожарного режима). Под FRCC понимается качественная мера отклонения современного пожарного режима от исторического, приводящего к изменению ключевых компонентов экосистем: видового состава, структуры и возраста растительного покрова, сомкнутости крон, наличия и состава горючего материала, что влияет на изменение частоты возникновения и интенсивности распространения пожара (Schmidt et. al., 2002). Для каждого пожарного режима определяется три класса условий, от которых зависят потенциальные риски для экосистем. В соответствии с имеющимися исходными данными FRCC был определен на основе отклонений современного и исторического периодов повторяемости пожаров.

Результаты исследования показали, что почти на всей анализируемой территории окрестностей заповедника наблюдается изменение пожарных режимов в сторону удлинения периодов повторяемости пожаров. На территории Печоро-Илычского заповедника отклонения от исторических значений особенно характерны для пространственных единиц, расположенных в предгорной части в непосредственной близости от реки Илыч. В горных частях заповедника отмечаются изменения исторического пожарного режима лишь в некоторых небольших по площади речных бассейнах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект № 17-05-00300).

## ЛИТЕРАТУРА

*Алейников А.А., Тюрин А.В., Симакин Л.В., Ефименко А.С., Лазников А.А.* История пожаров в темнохвойных лесах Печоро-Илычского заповедника со второй половины XIX века по настоящее время // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 31–42.

*Лупян Е.А., Еришов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С.* Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады V Всероссийской

конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 40-43.

*Плотникова А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П.* Анализ статистики пожаров в лесном районе для обоснования выбора пространственной единицы при картографировании пожарных режимов России // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) – М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. – С. 206-207.

*Плотникова А.С., Ершов Д.В., Харитонова А.О.* Использование ГИС-технологий при картографировании пожарных режимов лесных экосистем Печоро-Илычского заповедника // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения. Сб. материалов II междунар. Науч.-практ. конф. 08-10 ноября 2017 г., Санкт-Петербург / Науч.ред. О.А. Лазебник. – СПб.: Политехника, 2017. С. 464-470.

*Плотникова А.С., Харитонова А.О., Ершов Д.В.* Метод определения пожарных режимов лесных экосистем на локальном уровне // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2018. С. 88-89.

*Agee J.K.* Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press: Washington, D.C. 1993, 493 pp.

*Barrett S.W., Havlina D., Jones J., Hann W., Frame C., Hamilton D., Schon K., Demeo T., Hutter L., Menakis J.* Interagency Fire Regime Condition Class Guidebook. Version 3.0, 2010, URL: [https://www.landfire.gov/frcc/frcc\\_guidebooks.php](https://www.landfire.gov/frcc/frcc_guidebooks.php) (July 23, 2018).

*Drobyshev I., Niklasson M., Angelstam P., Majewski P.* Testing for anthropogenic influence on fire regime for a 600-year period in the Jaksha area, Komi republic, East European Russia, Canadian Journal of Forest Research, 2004, Vol. 34, No. 10, pp. 2027-2036.

*Schmidt, K.M., J.P. Menakis, C.C. Hardy, W.J. Hann, and D.L. Bunnell.* 2002. Development of coarse-scale spatial data for wildland fire and fuel management. RMRS-GTR-87. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.

## **CURRENT AND HISTORICAL FIRE REGIMES OF RECHORA-ILYCH NATURE RESERVE AND SURROUNDINGS**

A.O. KHARITONOVA A.S. PLOTNIKOVA, D.V. ERSHOV

CENTER OF FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

This report presents the results of determining the current and historical fire regimes of the Pechora-Ilych Nature Reserve and its surroundings, using LANDFIRE classification. The report contains a description of the calculation method, as well as an analysis of current fire regimes deviations from their historical values.

УДК 630\*

## **ГЕОМАТИКА 2018 - СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ С ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ**

М.А. ЧЕРЕВИК, П.С. МЕДВЕДЕВА

ООО «ГЕО-АЛЬЯНС»

В докладе приводится краткий обзор программного обеспечения по работе с геопространственными данными Geomatica 2018. Рассмотрены основные функциональные особенности ортотрансформирования и фотограмметрии. Особое внимание уделяется алгоритмам, применяющимся в целях лесного хозяйства: выявление изменений, тематическая классификация, определение свойств биомассы и вегетационных индексов.

Geomatica 2018 является инновационным программным решением для обработки данных дистанционного зондирования (разработчик PCI Geomatics, Канада). Основные направления, такие как фотограмметрия, классификация, картографирование, разработка собственных алгоритмов интегрированы в единое окружение, что ведет к экономии времени специалистов, уменьшению количества ошибок и росту продуктивности. Программный комплекс насчитывает более чем 80 тысяч инсталляций в 135 странах, и зарекомендовал себя как



набор инструментов, которому профессионалы всего мира доверяют быстрое и эффективное решение геопространственных задач.

Продвинутая фотограмметрическая обработка включает в себя ортотрансформирование оптических/радарных и аэрофото данных с использованием различных моделей. Автоматизированы набор GCP (из текстового файла, из геокодированного вектора, с референсного изображения) и Tie-точек. Автоматизация построения линий сшивки и цветобалансировки с возможностью предпросмотра позволяет получать цветосбалансированные мозаики без лишних итераций. Реализован интерфейс TrueOrtho. Быстрое создание моделей рельефа высокой точности и детализации без необходимости работы в стерео-режиме и множество фильтров для сглаживания инфраструктуры с последующей проверкой качества в 3D разработаны в программе.

В вопросах лесного хозяйства наиболее одним из наиболее востребованных алгоритмов является технология Change detection – точное и автоматизированное выявление изменений (вырубок, пожаров, ветровалов) и их классификация на основе данных дистанционного зондирования. Множество инструментов служат целям высокоточного пространственного анализа: атмосферная коррекция и удаление дымки, работа с видимыми и коротковолновым диапазонами, гиперспектральными данными. Разнообразная тематическая классификация: автоматическая, с обучением, с помощью нейронной сети (древо принятия решений) и разработанный в 2017 объектно-ориентированный анализ (OBIA), позволяющий значительно расширить возможности классификации и сегментации данных ДЗЗ. Использование высокодетальной цифровой модели рельефа позволяет рассчитывать высоты и объем биомассы древесного яруса. Разработаны алгоритмы для вычисления множества вегетационных индексов – NDVI, MTVI, MCARI и др., которые служат основанием для выводов о состоянии растительности на участке.

Программирование и создание собственных скриптов на языках EASI и Python позволяют значительно модифицировать стандартные рабочие процессы и интегрировать их с программными пакетами ArcGIS, GDAL, и различным open-source софтом. Приложение PCI Modeler дает возможность пользователям без опыта программирования создавать собственные алгоритмы пакетной обработки и значительно сократить временные затраты на рутинные процессы обработки.

Модульная структура позволяет подобрать функционал исключительно под нужды Вашей компании.

По вопросам, связанным с приобретением программного обеспечения и проведения обучающих курсов обращайтесь в компанию Гео-Альянс – авторизованным дистрибьютором компании PCI Geomatics (Канада): [info@geo-alliance.ru](mailto:info@geo-alliance.ru), тел./факс +7(495)2215879.

# **GEOMATICA 2018 - MODERN SOFTWARE FOR GEOSPATIAL DATA. ALGORITHMS FOR PROCESSING SATELLITE IMAGERY IN FORESTRY AND ECOLOGY**

M.A. CHEREVIK, P.S. MEDVEDEVA

GEO-ALLIANCE LLC

The report provides a brief overview of software for working with geo-spatial data Geomatica 2018. The main functional features of orthotransformation and photogrammetry are considered. Special attention is paid to the algorithms used for forestry: identification of changes, thematic classification, determination of the properties of biomass and vegetation indices.

Geomatica 2018 is an innovative software solution for remote sensing data processing (developed by PCI Geomatics, Canada). The main areas such as photogrammetry, classification, mapping, development of own algorithms are integrated into a single environment, which leads to saving time for specialists, reducing the number of errors and increasing productivity. The software complex has more than 80 thousand installations in 135 countries, and has established itself as a set of tools that professionals all over the world trust in fast and efficient solution of geospatial tasks.

Advanced photogrammetric processing includes orthorectification of optical / radar and aerial photo data using various models. GCP set (from a text file, from a geocoded vector, from a reference image) and Tie-points is automated. Automating the construction of stitching and color balance lines with the possibility of previewing allows you to get color-balanced mosaics without unnecessary iterations. TrueOrtho interface is implemented. The rapid creation of relief models of high precision and detail without need to work in stereo mode and a lot of filters to smooth the infrastructure with the subsequent quality control in 3D are developed in the software.

In matters of forestry, one of the most demanded algorithms is Change detection - accurate and automated detection of changes (cuttings, fires, windfalls) and their classification based on remote sensing data. Many tools serve the purpose of highly accurate spatial analysis: atmospheric correction and haze removal, working with visible and short-wave bands, hyperspectral data. A variety of thematic classification: automatic, with training, using a neural network (decision tree) and object-oriented analysis (OBIA) was developed in 2017, which helps to significantly expand the possibilities of classification and segmentation of remote sensing data. Using a detailed digital elevation model allows you to calculate the height and volume of the biomass of the tree layer. Various algorithms for calculating the set of vegetation indices - NDVI, MTVI, MCARI, etc. serve as the basis for conclusions about the state of vegetation on the site.

Programming and creating your own scripts in the EASI and Python languages allows you to significantly modify the standard workflows and integrate them with software packages ArcGIS, GDAL, and various open-source software. The PCI Modeler application enables users without programming experience to create their own batch processing algorithms and significantly reduce the time spent on routine processing.

The modular structure allows you to choose the functionality exclusively for the needs of your company.

For questions related to the purchasing of software and training courses, please contact the company Geo-Alliance - an authorized distributor of PCI Geomatics (Canada): info@geo-alliance.ru, tel./fax +7 (495) 2215879.

УДК 574.3

## **ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА С ПОМОЩЬЮ ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Н.Е. ШЕВЧЕНКО, А.П. ГЕРАСЬКИНА

ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

Представлены результаты ГИС-моделирования потенциальных ареалов доминантов древостоя хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа (*Abies nordmanniana*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*, *Piceae orientalis*, виды рода *Quercus*). Наибольший вклад в построение ГИС-моделей современного ареала темнохвойных и широколиственных видов деревьев вносит показатель количества осадков в самом сухом месяце года, высота над уровнем моря и сезонность температуры. Анализ материалов по истории природопользования показал, что главной причиной сокращения площади хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа с середины XIX века являются не климатические изменения, а антропогенные.

Длительная история антропогенного преобразования горных экосистем Северо-Западного Кавказа привела к значительному обезлесиванию склонов и усилению таких негативных явлений как лавины, сели, камнепады, смыв почв, сокращению площади мест обитаний животных и растений (Nakhutsrishvili, 2013; Казанкин, 1984; Сафаров, 1982; Мамедов, 1960; и др.). В связи с этим возникла необходимость оценки степени деградации лесных экосистем и определения возможностей восстановления утраченных или нарушенных растительных сообществ. В настоящее время существует множество геоботанических критериев оценки антропогенных изменений растительности (Горчаковский и др., 2009; Hill, 2006; Белановская, Коротков, 1981; и др.), которые позволяют оценить их качественные изменения. Возможность количественной оценки антропогенной деградации горных экосистем предоставляют компьютерные программы ГИС-моделирования, число и внедрение которых в последнее время стремительно растет (Phillips, Dudik, 2008).

С помощью программы Maxent 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) были оценены потенциальные ареалы модельных видов деревьев – доминантов древостоя (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach, *Carpinus betulus* L., *Fagus orientalis* Lipsky, *Piceae orientalis* (L.) Peterm., виды рода *Quercus* (L.)) и темнохвойный лесов (*Abies nordmanniana* and *Picea orientalis*) Северо-Западного Кавказа. Данные о распространении были получены в ходе экспедиционных исследований автора в период с 2014 по 2018 гг. на территории Крас-

нодарского края, республики Адыгея и Карачаево-Черкесской республики. Всего было использовано 2920 точек – местонахождений видов деревьев. Историко-географические сведения о лесах Северного Кавказа получены из опубликованных данных и материалов архива Ставропольского государственного музея-заповедника им. Г.Н. Прозрителева и Г.К. Пправе.

Результаты пространственного моделирования показали, что потенциальный ареал доминантов древостоя хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа по данным пространственного моделирования существенно выше реального, особенно в предгорных и равнинных районах пригодных для ведения сельского хозяйства. Потенциальные современные ареалы темнохвойных видов деревьев *Abies nordmanniana* и *Picea orientalis* полностью совпадают, это дает возможность предположить, что ель и пихта при отсутствии антропогенного воздействия могли бы образовывать смешанные сообщества в пределах всего ареала темнохвойных лесов Северо-Западного Кавказа. Наибольший вклад в построение ГИС-моделей ареала доминантов хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа для темнохвойных и широколиственных видов деревьев (*Fagus orientalis*, виды рода *Quercus* и *Carpinus betulus*) вносит показатель количества осадков в самом сухом месяце года, что объясняется мезофильностью этих видов и уязвимостью к засухе. Для темнохвойных видов деревьев высокое значение имеет также высота над уровнем моря, а для широколиственных – сезонность температуры, что обусловлено морозостойкостью темнохвойных видов деревьев и теплолюбивостью широколиственных.

Анализ материалов по истории природопользования показал, что главной причиной сокращения площади хвойно-широколиственных лесов Северо-Западного Кавказа с середины XIX века являются не климатические изменения, а антропогенные. В результате хозяйственного и военного освоения региона северная граница лесного пояса значительно сместилась от равнинных и предгорных в предгорные и горные районы.

Работа выполнена в рамках проекта FP7 ERA – Net Sumforest-POLYFORES при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61618X0101).

## ЛИТЕРАТУРА

- Белоновская Е.А., Коротков К.О. Влияние человека на растительный покров верховий реки Самур (Дагестанская АССР) // Известия АН СССР. Серия географическая. 1981. №4. С. 93-101.
- Горчаковский П.Л., Никонова Н.И., Фамелис Т.В. Оценка уровня антропогенной трансформации растительного покрова горных территорий // Сибирский экологический журнал. 2009. №4. С. 579-589.
- Казанкин А.П. Оценка степени антропогенной деградации горных экосистем по изменению лесистости бассейнов рек // Экология. 1984. №6. С. 12-17.
- Мамедова Т.М. Селевые потоки и лесоводственные меры борьбы с ними. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1960. 90 с.
- Сафаров И.С. Охрана горных экосистем и вопросы рационального природопользования в Азербайджанской ССР // Экология. 1982. №6. С. 61-63.
- Hill W., Pickering C.M. Vegetation associated with different walking track types in the Kosciuszko alpine area, Australia // Journal of Environmental Management, 2006. V. 78 (1). P. 24-34.
- Nakhutsrishvili G. The Vegetation of Georgia (South Caucasus). New York: Springer, 2013. 274 p.

*Phillips S.J., Dudik M.* Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation // *Ecography*, 2008. V. 31. P. 161-175.

## **NORTHWEST CAUCASUS FOREST SPREADING EVALUATION BY GIS MODELING AND HISTORICAL AND GEOGRAPHIC DATA ANALYSIS**

N.E. SHEVCHENKO, A.P. GERASKINA

Center for Forest Ecology and Productivity Forests RAS

Presents the results of the GIS modeling of the potential areas of the Northwest Caucasus coniferous and broad leaved forest stand dominants (*Abies nordmanniana*, *Carpinus betulus*, *Fagus orientalis*, *Piceae orientalis*, *Quercus species*). The precipitation parameter in the driest month of the year, altitude above the sea level and temperature seasonality make the greatest contribution to the construction of GIS models of the modern area of the dark coniferous and broad leaved tree species. The analysis of the materials on the natural resource management history demonstrated that it is not the climatic changes, but the anthropogenic changes, that has been the main cause of the reduction of the area of the coniferous-broad leaved forests of the Northwest Caucasus since the middle of the 19th century.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Предисловие</b>	3
<b>Проблемы и перспективы изучения лесов. Общие вопросы</b>	
<i>Барановский Н.В.</i> Моделирование и прогноз лесной пожарной опасности	4
<i>Болсуновский М.А.</i> Современные технологии аэрокосмического мониторинга и ГИС в лесной отрасли	5
<i>Ершов Д.В., Лукина Н.В., Барталев С.А., Лупян Е.А.</i> Спутниковый мониторинг био-разнообразия и динамики лесных экосистем северной Евразии. Памяти академика А.С. Исаева посвящается	7
<i>Иванов С.В., Кушнырь О.В., Рыбкин А.С., Серебряков В.Б., Сидоренков В.М., Вахрушев К.В.</i> Возможности использования российских данных ДЗЗ и современных Web технологий для повышения эффективности управления лесным хозяйством	9
<i>Котельников Р.В., Лупян Е.А.</i> Перспективы развития ИСДМ-Рослесхоз, как системы поддержки принятия решений в области охраны лесов от пожаров	11
<i>Малышева Н.В., Золина Т.А.</i> Актуальные проблемы учета стока и эмиссий парниковых газов в лесах России: геоинформационный аспект	13
<i>Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Панов А.В., Литвинцев К.Ю., Пономарева Т.В., Харук В.И.</i> Дистанционные методы оценки интенсивности пожаров и прогнозирования прямых пожарных эмиссий в лесах Сибири	15
<i>Черниховский Д.М., Алексеев А.С.</i> Определение высот и запасов насаждений древесных растений на основе обработки результатов топографической радарной съемки SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)	17
<i>Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г.</i> Системный подход к оценке экосистемных функций лесов: информационно-методические проблемы	19
<i>Щепаченко Д.Г., Швиденко А.З., Алейников А.А., Бобкова К.С., Браславская Т.Ю., Возьмитель Ф.К., Данилина Д.М., Евдокименко М.Д., Горнов А.В., Горнова М.В., Иванов В.В., Карминов В.Н., Коновалова М.Е., Кривобоков Л.В., Лукина Н.В., Мартыненко О.В., Мухортова Л.В., Назимова Д.И., Онтиков П.В., Осипов А.Ф., Тихонова Е.В., Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Владимирова Н.А.</i> Глобальные карты лесной фитомассы и их валидация на территории России	21
<b>Аэрокосмические методы в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии</b>	
<i>Алексеева М.Н., Головацкая Е.А., Яценко И.Г.</i> Характеристика пожаров и восстановления гарей лесоболотных комплексов Томской области по спутниковым данным	23
<i>Белова Е.И., Ершов Д.В., Никитина А.Д., Князева С.В.</i> Сравнение алгоритмов определения границ крон деревьев и межкрупных пространств на ортофотоснимках БПЛА	25
<i>Биличенко И.Н., Лужкова Н.М.</i> Нарушенность геосистем Прибайкалья	26
<i>Владимирова Н.А., Квашина А.Е.</i> Оценка масштабов гибели лесных экосистем в результате разработки месторождений Северного медно-цинкового рудника по серии космических снимков 2009-2018 гг.	29
<i>Волков А.Г., Романов Е.М.</i> Опыт идентификации постагрогенных лесов на примере ООО «Каргополье» Архангельской области	31
<i>Гаврилюк Е.А., Никитина А.Д., Князева С.В.</i> Оценка биометрических и морфоструктурных характеристик древостоев НП «Куршская коса» по спутниковым данным PlanetScope	33
<i>Глушков И., Лупачик В., Прищепов А., Потапов П., Пукинская М., Ярошенко А., Журавлева И.</i> Картирование заброшенных земель в Восточной Европе с помощью спут-	

никовых снимков Landsat и Google Earth Engine	35
<i>Гнеденко А.Е., Кадетов Н.Г.</i> Картографирование послепожарного состояния лесов с использованием данных дистанционного зондирования на примере Керженского заповедника	37
<i>Гоммерштадт О.М., Тимохина Ю.И., Голубева Е.И.</i> Наземные и дистанционные методы изучения структуры древостоя лесов Кольского полуострова	39
<i>Горбунова А.М.</i> Совмещение данных наземных исследований и дистанционного зондирования для оценки пастбищных ресурсов южных Субарктических тундр	41
<i>Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Тихонова Е.В., Браславская Т.Ю., Королева Н.В., Бавшин И.М., Груммо Д.Г.</i> Вероятностная оценка пространственного распределения ключевых биотопов в лесах НП «Смоленское Поозерье» по спутниковым и топографическим данным	43
<i>Жаринов С.Н.</i> Оценка ущерба древесным ресурсам леса от пожаров на территории Тверской области по данным космических снимков	46
<i>Жарко В.О., Барталев С.А.</i> Совместный анализ многолетних временных серий спутниковых карт лесного покрова по данным MODIS и таблиц хода роста для оценки продуктивности лесов	48
<i>Иванов А.В., Кабанец А.Г., Пуреховский А.Ж., Шелемотов А.Е., Войко В.А., Русаков Р.А.</i> Использование беспилотного летательного аппарата для осмотра мест рубок	50
<i>Иванова Ю.Д., Ковалев А.В., Суховольский В.Г.</i> Использование многолетней динамики NDVI для классификации типов растительных сообществ и оценки устойчивости насаждений к нападению филофагов	52
<i>Иванчина Л.А., Залесов С.В., Калугина Д.В.</i> Использование квадрокоптера для изучения влияния условий местопроизрастания на усыхание ельников Прикамья	54
<i>Карпов А. А., Воронин В.В., Пирихалава Н. Р.</i> Анализ лесовосстановления на разновременных вырубках и гарях в архангельской области с помощью спектральных индексов NDVI, SWVI, NBR	56
<i>Каширина Е.С., Голубева Е.И., Новиков А.А.</i> Использование данных ДДЗ в исследовании процессов лесовосстановления в межгорных котловинах Крыма	57
<i>Киреев Д.М., Сергеева В.Л.</i> Ландшафтные и экологические индикаторы лесов на материалах дистанционного зондирования	59
<i>Киреев Д.М., Нгуен Ч.Т., Сергеева В.Л.</i> Изображение природных территориальных комплексов различных рангов на дистанционных снимках различных масштабов	61
<i>Ковалев А.В., Суховольский В.Г., Воронин В.И.</i> Оценка повреждений кедровых насаждений южного берега оз. Байкал на основе многолетних спутниковых наблюдений MODIS/AQUA	63
<i>Комаров А.В., Ершов Д.В., Тихонова Е.В.</i> Изучение информативности спектральных и морфометрических признаков оконной структуры лесов на основе спутниковых данных	65
<i>Кошелев А.В.</i> Дешифрирование защитных лесных насаждений в агроландшафтах: состояние и перспективы	68
<i>Куулар Х.Б.</i> Оценка воздействия потепления климата на горные леса республики с использованием снимков Landsat	70
<i>Лебедев А.В.</i> Сравнение алгоритмов классификации в распознавании типов растительности на снимках Landsat	71
<i>Мальшева Н.В., Балдина Е.А., Дедова В.Ю.</i> Геоинформационное картографирование динамики лесов по космическим снимкам открытого доступа и ГИЛ (на примере Брянской области)	73
<i>Медведев А.А., Тельнова Н.О., Кудиков А.В.</i> Дистанционный высокодетальный мониторинг динамики зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель лесной растительностью	75
<i>Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А., Сиринов А.А.</i> Мониторинг обводненных	

торфяников московской области на основе спутниковых данных	77
<i>Михалаш С.Г.</i> Опыт моделирования пространственного размещения организмов на основе данных ДЗЗ (на примере мелких млекопитающих Центрально-Лесного заповедника)	79
<i>Нгуен Ч.Т.</i> Дешифрирование болотных территорий севера Лисинского научно-исследовательского и учебного полигона	81
<i>Никитина А.Д., Князева С.В., Королева Н.В., Эйдлина С.П.</i> Определение биометрических параметров древесной растительности по спутниковым данным Ресурс-П1/Геотон-Л1 на основе метода пороговой сегментации изображений	82
<i>Огурцов С.С., Горяинова В.А.</i> Оценка последствий ветровалов с помощью космоснимков Sentinel-2В на территории центрально-лесного заповедника	84
<i>Пшегусов Р.Х., Темботова Ф.А., Саблирова Ю.М.</i> Основные закономерности пространственной локализации различных типов хвойных лесов северного макросклона Западного Кавказа по материалам дистанционного зондирования Земли	86
<i>Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.</i> Взаимосвязь индекса лесистости и тематической разности пикселей в мониторинге процессов лесовосстановления от пожаров	88
<i>Русецкий С.Г., Жилинский Д.Ю.</i> Оценка влияния мелиоративных каналов на растительный покров с использованием данных ДЗЗ	90
<i>Сабиров Р.Н., Мелкий В.А., Верхотуров А.А.</i> Оценка нарушений лесного покрова северного Сахалина пожарами с использованием аэрокосмических методов	92
<i>Самбуу А.Д.</i> Структура типов лесов кластерного участка «Шанчы» природного парка «Тыва» по дистанционным данным	94
<i>Убайчин А.В.</i> Микроволновый радиометр для дистанционного зондирования подстилающей поверхности с малого беспилотного летательного аппарата	96
<i>Фадеев Н.Б., Скрыпичина Т.Н., Курков В.М., Лебедев В.А.</i> Мониторинг лекарственных растений лесов методами аэрофотосъемки и космической съемки	98
<i>Ховратович Т.С., Барталев С.А., Иванова А.А.</i> Применение метода выявления изменений по спутниковым данным Landsat 8 и Sentinel-2 для детектирования сплошных и выборочных рубок леса	101
<i>Шашков М.П., Иванова Н.В., Шанин В.Н., Стаменов М.Н., Грабарник П.Я.</i> Построение план-схемы проекций крон полидоминантного широколиственного древостоя по данным аэрофотосъемки	103
<i>Шевелев Д.А., Дегтярева Е.Д., Низамова А.Р., Михайлов С.И.</i> Автоматизированный сервис мониторинга изменений в лесной растительности по космическим снимкам Landsat 8, Sentinel-2	105

### **Картографирование и ГИС-технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии**

<i>Авдеев Ю.М., Хамитова С.М., Пестовский А.С.</i> Обзор применения ГИС при исследовании лесных насаждений	108
<i>Богданов А.П., Алешко Р.А., Ильинцев А.С., Вацетис С.А.</i> Разработка методики и программы внедрения в практику лесоучетных работ уравнений зависимости диаметра крон деревьев с различными таксационными показателями в северо-таежном лесном районе Европейской части Российской Федерации	110
<i>Гераськина А.П., Шевченко Н.Е.</i> Оценка современных потенциальных ареалов распределения подстилочных видов дождевых червей методами ГИС технологий в лесном поясе Северо-Западного Кавказа	112
<i>Голубева Е.И., Зимин М.В., Тимохина Ю.И.</i> Отражение техногенного воздействия в биохимических особенностях и спектральных образах березы пушистой ( <i>Betula pubescens</i> Ehrh S.L.) (Кольский полуостров)	115
<i>Грабовский В.И., Замолодчиков Д.Г.</i> Прогноз изменений лесных районов на основе климатических сценариев МГЭИК	116



<i>Груммо Д.Г., Зеленкевич Н.А., Цвирко Р.В.</i> Опыт применения дистанционных и геоинформационных методов для инвентаризации и оценки современного состояния биологического разнообразия национального парка «Беловежская пушча»	119
<i>Давыдов В.Ф., Гренц Н.В.</i> Определение запаса древостоя по его изображению	121
<i>Дулина А.А., Чумаченко С.И.</i> Обоснование учета освещенности для моделирования пищевых ресурсов лесов Центральной части России	123
<i>Загидуллина А., Динкелакер Н., Ситников Т., Мамонтов В., Ремпель Р.</i> Картографирование местообитаний лесных территорий на основе данных дистанционного зондирования и оценка ожидаемого ущерба объектам биоразнообразия	125
<i>Золина Т.А., Цыпленков А.С., Малышева Н.В.</i> Картографический сервис для визуализации расчетов поглощения, эмиссий и баланса углерода в лесах России	127
<i>Ильина О.В.</i> Картографирование и анализ связности охраняемых участков различного статуса на примере Кондопожского района, республика Карелия	129
<i>Карминов В.Н., Мартыненко О.В., Онтиков П.В., Бараненкова А.А., Максимова А.Н.</i> Опыт полевого геоинформационного картографирования лесных почв	131
<i>Киселева В.В., Койнов А.Д.</i> Применение ГИС для оценки запасов древесно-веточных кормов и расчетов допустимой плотности популяции копытных	133
<i>Лобанов Г.В., Дроздов Н.Н., Чарочкина А.Ю.</i> Влияние погодных условий весны на распределение значений EVI пахотных земель Брянской области	135
<i>Макарова М.А.</i> Дистанционно-наземные методы картографирования растительного покрова Северо-Западного Приладожья	137
<i>Малахова Е.Г.</i> Web-решения для повышения открытости данных в лесном хозяйстве	140
<i>Мателенок И.В., Мелентьев В.В.</i> Пространственная структура растительного покрова на границе тундры и лесотундры и ее влияние на перенос солнечного излучения	142
<i>Отмахов Ю.С., Черникова Т.С.</i> Геоинформационный анализ антропогенно-трансформированных лесов (Новосибирский Академгородок)	144
<i>Павличенко Е.А., Буряк Л.В.</i> Оценка влияния экспозиции склонов на горимость и потери лесного покрова Южно-Сибирской горной страны	146
<i>Плотникова А.С., Харитонова А.О., Ершов Д.В.</i> Методология динамического геоинформационного картографирования пожарных режимов лесных экосистем на локальном уровне	148
<i>Подольская Е.С., Ершов Д.В., Ковганко К.А.</i> Оценка наземной транспортной доступности сил и средств пожарно-химических станций при организации оперативного тушения лесных пожаров	150
<i>Потапов П.В., Журавлева И.В., Ярошенко А.Ю., Комарова А.Ф., Глушков И.В., Турубанова С.А.</i> Малонарушенные лесные территории мира: динамика изменений с 2000 г. и подходы к выделению приоритетов для охраны	153
<i>Пустовалова Л.А., Чащина О.Е., Куянцева Н.Б., Мумбер А.Г., Веселкин Д.В.</i> Зависимость частоты пожаров в Ильменском заповеднике от типа леса и доступности территории	155
<i>Рыжков О.В., Рыжкова Г.А.</i> Результаты изучения лесных экосистем Центрально-Черноземного заповедника на основе ГИС-технологий	157
<i>Самбуу А.Д.</i> Картографическая оценка экологического состояния лесных экосистем природного парка «Тыва»	160
<i>Сарычев Д.В.</i> Моделирование местообитаний дятлообразных птиц piciformes по данным дистанционного зондирования	162
<i>Хамедов В.А.</i> Опыт применения информационных технологий при ведении лесного хозяйства региона (на примере Ханты-Мансийского АО)	164
<i>Харитонова А.О., Плотникова А.С., Ершов Д.В.</i> Современные и исторические пожарные режимы Печоро-Ильчского заповедника и окрестностей	166
<i>Черевик М.А., Медведева П.С.</i> Geomatica 2018 – современное программное обеспечение по работе с геопространственными данными. Алгоритмы обработки спутнико-	

вых снимков в лесном хозяйстве и экологии	168
<i>Шевченко Н.Е., Гераськина А.П.</i> Оценка распространения лесов Северо-Западного Кавказа с помощью ГИС-моделирования и анализа историко-географических данных	171
<b>Содержание</b>	174