DOI: 10.21513/0207-2564-2017-1-98-110

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ КОСМОСЪЕМКИ

А.П. Богданов $^{1),2)*}$, Р.А. Алешко $^{2)}$

1) ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, 13; *aleksandr bogd@mail.ru

Резюме. Предложена и реализована методика тематической обработки данных мультиспектральной космической съемки. Методика заключается в выявлении признаков ухудшения физиологического состояния как отдельных деревьев, так и древостоя на основе анализа отражательной способности в различных диапазонах электромагнитного спектра и выборе наиболее оптимальных каналов для определения состояния древесной растительности. Метод работы: аналитический, включающий сбор, систематизацию и обобщение материалов научных публикаций по данной тематике; обработку космоснимков. В качестве основных исходных данных при выполнении работы использованы: выборочные спутниковые изображения Sentinel-2 для территории Архангельской области; данные наземных обследований состояния лесов на территории Архангельской области; отчетные данные ФБУ «Российский центр защиты леса». В ходе научно-исследовательских работ были осуществлены выбор и закладка временных пунктов наблюдений, оценено состояние деревьев по стандартной методике. Отобраны спутниковые изображения Sentinel-2, проведена их тематическая обработка на основе алгоритма классификации мультиспектральных изображений с обучением с использованием нейрокомпьютерной сети. Результатом работы является разработка методики оценки состояния лесов и предложения по совершенствованию экологического мониторинга.

Ключевые слова. Ценные леса, мониторинг, пункты наблюдения, категории состояния деревьев, дистанционные методы, дешифрирование, космоснимки, многоспектральная съемка, информационные технологии.

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR FOREST MONITORING BASED ON USE OF DATA OF MULTISPECTRAL SPACE IMAGERY

A.P. Bogdanov 1),2)*, R.A. Aleshko 2)

¹⁾ Federal Forestry Agency Northern research Institute of forestry, 13, Nikitova str., 163062, Arkhangelsk, Russia; *aleksandr_bogd@mail.ru

²⁾Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Northern Dvina promenade, 163062, Arkhangelsk, Russia

Summary. Proposed and implemented methods of thematic processing of multispectral imagery. The method is to identify signs of deterioration in the

 $^{^{2)}}$ ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

physiological condition, as individual trees and forest stand, based on the analysis of reflectance in different bands of the electromagnetic spectrum and selecting the best channels to determine the state of forest ecosystem.

Working method: analysis, including collection, systematization and generalization of scientific publications on the subject; processing the satellite images. As the main source in the work used: spot satellite imagery Sentinel-2 for the territory of the Arkhangelsk region; data from ground surveys of forest condition in the Arkhangelsk region; the report of the "Russian center of forest protection". In the course of the research work was carried out the selection and laying of temporary observation stations to assess the current state of the trees according to standard methods. Selected satellite imagery Sentinel-2, they held a thematic treatment based classification algorithm for multispectral imagery learning using a brain-computer network. The result of this work is the development methods of forest condition assessment and suggestions for improving ecological monitoring.

Keywords. Valuable forests, monitoring, observation points, the category of state of the trees, remote sensing, interpretation of satellite images, satellite images, multispectral photography, information technology.

Введение

Цель исследований — создание специализированной методики выявления признаков ухудшения состояния лесного фонда на участках высокой природоохранной ценности с применением данных космосъемки.

Для реализации поставленной цели программой работ запланированы следующие виды работ:

- 1. Обзор литературных источников по теме исследования.
- 2. Обобщение нормативных документов по проведению экологического мониторинга.
- 3. Проведение аналитического дешифрирования поврежденных насаждений по космоснимкам высокого разрешения.
- 4. Изучение спектральной отражательной способности древостоев различного состояния.
- 5. Выбор и закладка временных пунктов наблюдения для оценки категории состояния древостоя.
- 7. Подготовка научно обоснованных предложений по совершенствованию мониторинга дистанционными методами.

В настоящей работе предложена методика выявления ухудшения состояния различных пород по категориям состояния по результатам анализа данных мультиспектральной космической съемки. Разработана и реализована методика тематической обработки мультиспектральных спутниковых изображений. Полученные результаты работы будут способствовать пополнению знаний в области применения методов интерпретирования космических снимков. Результаты, полученные в настоящей работе, позволят распространить мониторинг состояния лесов на значительные площади без увеличения

основного персонала организации, кроме того, разработанная методика может быть использована не только для мониторинга состояния лесов, но и других видов растительности. Применение достоверных методов оценки состояния древостоя позволит делать предложения для организации экологически приемлемого лесопользования.

Методы и материалы

Для решения основных программных вопросов планируется:

- 1. Обзор литературных источников, включающий в себя обзор спутниковых систем, применяемых в дистанционном мониторинге, классификацию методов дешифрирования мультиспектральных космических изображений, рассмотрение возможности использования различных вегетационных индексов.
- 2. Обобщение нормативных документов по проведению мониторинга, включающих перечень основных нормативно-правовых актов, применяемых в данной области.
- 3. Проведение аналитического дешифрирования поврежденных насаждений по космоснимкам высокого разрешения по прямым и косвенным признакам, включающего:
- загрузку и подготовку мультиспектральных изображений космического аппарата Sentinel-2 на территорию поврежденных участков леса (спутниковые данные были запрошены на онлайн сервисе «The Sentinels Scientific Data Hub»);
 - привязку спутниковых изображений в системе географических координат;
- дешифрирование цифровых космических снимков (выделение границ и положения объектов по ряду признаков, контурное дешифрирование, анализ принадлежности объектов к определенному классу, получение прямых и косвенных признаков повреждения насаждений).
- 4. Изучение спектральной отражательной способности древостоев различного состояния.

Рассмотрены очаги повреждения древесной растительности на мультиспектральных снимках. Участки с разными категориями состояния хвойных и лиственных деревьев характеризуются значительными изменениями спектральных характеристик этих объектов. С использованием данных полевых исследований были определены участки, различные по степени повреждения, получены средние значения отражения исследованных объектов. Эти значения отражения занесены в таблицу для последующей визуализации на графике «Спектральные отражательные кривые (категории состояния)».

5. Авторами заложены 22 временных пункта наблюдений на территории Обозерского лесничества Архангельской области. Закладка пунктов наблюдения осуществлялась на основании Временной инструкции проведения Государственного лесопатологического мониторинга (Приложение №1 к приказу №113-р от 19.06.2015 г. «Об организации и осуществлении государственного лесопатологического мониторинга ФБУ «Рослесозащита»).

I. Обзор сенсоров и платформ, используемых для дистанционного мониторинга

В настоящее время получили широкое распространение данные, полученные с космических летательных аппаратов, в том числе в свободном доступе для широкого круга заинтересованных сторон.

Оценка состояния лесов способом дистанционных наблюдений осуществляется путем дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), распознавания на них признаков повреждения и гибели лесных насаждений. Дешифрирование материалов ДЗЗ проводится с привлечением результатов наземных наблюдений за состоянием объектов государственного лесопатологического мониторинга.

На основе обработки космических изображений осуществляется:

- 1) выявление участков гибели и повреждения насаждений;
- 2) уточнение фактических границ участков гибели и повреждения насаждений;
- 3) предварительная оценка состояния лесов.

Важнейшей характеристикой космосъемки является пространственное разрешение. Доступные космоснимки по указанному признаку можно разделить на три основные категории:

- 1. Первый тип данных представлен спутниковыми системами низкого и среднего пространственного разрешения NOAA-AVHRR (1 км), SPOT-Vegetation (1 км), Terra/Aqua-MODIS (250-500-1000 м) (Солдатов, 2013).
- 2. Второй тип данных представлен изображениями спутниковой съемки высокого пространственного разрешения. Характерными представителями таких систем являются МЕТЕОР-М1/КМСС (60 м), LANDSAT (15 м), TERRA-ASTER (15-90 м), SPOT4-HRVIR (20 м), SPOT5-HRG (10 м), SENTINEL-2A (10 м). Такие спутниковые изображения пригодны для уточнения оценок площадей и степени повреждения лесного покрова. Однако данные с указанных спутниковых аппаратов ограничены для сплошного покрытия в течение вегетационного сезона, а невысокая регулярность делает затруднительным применение однотипных алгоритмов автоматизированной обработки.
- 3. Третий тип спутниковых данных используется для детальной оценки причин выявленных нарушений, а также планирования мероприятий по наземному лесопатологическому обследованию территории. Характерными представителями таких систем являются Rapid Eye (5 м), IKONOS (1-3 м), Quick-bird (1-3 м), World View (2 м), Ресурс-ДК1 (2,5м), Конопус-В (12м), Ресурс-П (3м), Монитор-Э (8м) и их аналоги.

II. Классификация лесных повреждений для проведения лесопатологического дешифрирования материалов дистанционных съемок

Дистанционными методами невозможно непосредственно обнаружить наличие вредителей и болезней в насаждении. Однако их присутствие с большой долей вероятности определяется опосредованно, через повреждение ими

лесного полога. При наземном лесопатологическом обследовании используется шкала, в соответствии с которой на основе внешних признаков различают 6 категорий санитарного состояния деревьев. В состав этих признаков входит характеристика густоты крон деревьев и состояние прироста, степень повреждения хвои или листвы (объедена, обожжена), усыхание хвои (листвы) или ветвей, наличие суховершинности или сухокронности, изменение цвета хвои или листьев и т.п. (Баранчиков и др., 2004). При лесопатологическом дешифрировании материалов съемок для удобства использования эта шкала представлена в виде классификации, в которой учтена степень выраженности лесных повреждений на материалах съемок различной разрешающей способности (Малышева, 2014).

Известно, что одинаковые типы лесных повреждений могут возникать под воздействием различных факторов среды (биотических, абиотических, антропогенных), и наоборот — воздействие на лес одного и того же фактора среды может способствовать появлению различных типов лесных повреждений. Обычно различают 2 вида признаков лесных повреждений: морфологические и физиологические (Баранчиков и др., 2004).

Морфологические признаки связаны с изменениями в строении формы крон и стволов деревьев. Проявление физиологических признаков внешне заметно по изменению цветовой окраски ассимиляционных побегов деревьев. Изменение нормального хода кривых спектральной яркости хвои (листьев) деревьев при отсутствии признаков их дехромации может служить признаком ранней стадии лесных повреждений. Далее представлены четыре группы лесных повреждений, и приведен перечень наиболее вероятных факторов, вызывающих каждый вид повреждения (Баранчиков и др., 2004).

Повреждения типа А. Повреждения типа А объединяют хвойные и лиственные деревья свежего и старого сухостоя. В зависимости от степени морфологических изменений крон различают 2 группы необратимо поврежденных деревьев: сухостой без сучьев и ветвей и сухостой с сучьями и ветвями.

Повреждения типа В. Повреждения типа В связаны с частичными изменениями в строении крон и стволов у деревьев хвойных и лиственных пород. В зависимости от того, какая часть кроны дерева затронута повреждением, выделяют 2 группы: одна — суховершинные и сухокронные деревья, другая — деревья с повреждением части ствола и отдельных ветвей в кронах, а также с отсутствием хвои текущего года или прошлых лет. Появление повреждений подобного типа обычно сопровождается появлением цветовых оттенков и деформацией форм крон деревьев. Характер и количество поврежденных деревьев в лесном пологе определяют детальность рекомендуемых к использованию материалов съемок.

Повреждения типа С. Для правильного дешифрирования повреждений типа С, который объединяет деревья и насаждения с внешне заметными различиями в цвете поврежденной и здоровой хвои и листьев, необходимо знание спектральной отражательной способности древесных растений с различными повреждениями.

С увеличением возраста хвои, а также под воздействием негативных факторов среды в клеточных тканях ассимиляционных побегов происходят биохимические реакции, симптомами которых служат нарушения клеточной структуры мезофилла, сопровождаемые изменениями отражательной способности и хода спектральных кривых яркости (СКЯ) хвои (листьев), побегов, ветвей, крон или полога насаждений.

Для повреждений типа С характерны физиологические признаки, которые связаны с внешне заметными различиями в цвете поврежденной и здоровой хвои или листвы древесных растений. В зависимости от цвета поврежденных вегетирующих органов выделяют деревья и насаждения с желтой, бледнозеленой, красно-бурой или бурой хвоей (листвой). Пожелтение листьев или хвои текущего года может затрагивать незначительную часть кроны (до 1/3) у ослабленных деревьев или значительную часть кроны (более 2/3) у сильно ослабленных и усыхающих деревьев.

Повреждения типа D. Повреждения типа D объединяют хвойные и лиственные деревья, патологические изменения которых еще не имеют внешне заметных различий, поэтому современный этап изучения повреждений этого типа связан преимущественно с оценкой на основе различной системы показателей морфологии кривых спектральных коэффициентов яркости, получаемых также при дистанционном зондировании. Соотношение различных спектральных характеристик, характеризующих особенности отражательной способности хвои или листьев разных древесных пород и содержания в них хлорофилла, могут служить индикатором ранних стадий ухудшения состояния деревьев. В этом случае используются характерные участки спектра, в которых зеленая растительность имеет различную отражательную способность. Один из участков (зеленый пик) расположен в зоне наибольшего отражения в видимой области спектра, другой (хлорофилловая яма) — в зоне наибольшего поглощения света хлорофиллом, третий (красный край) — на участке перехода от видимой к инфракрасной зоне спектра (Баранчиков и др., 2004).

III. Закладка временных пунктов наблюдения в Брин-Наволоцком участковом лесничестве Обозерского лесничества Архангельской области

Основной целью наземных наблюдений является определение категории состояния деревьев и древостоя в целом на временной пробной площади (ВПН). При проведении лесопатологического мониторинга возникает необходимость в оценке состояния как отдельных деревьев, так и всего насаждения в целом. Для решения этой сложной задачи используют такие универсальные показатели как категория состояния дерева и насаждения. Категория состояния деревьев — интегральная балльная оценка состояния деревьев по комплексу визуальных признаков (густоте и цвету кроны, наличию и доле усохших ветвей в кроне, состоянию коры и др.). Выделяют 6 основных категорий состояния деревьев: 1 — без признаков ослабления, 2 — ослабленные, 3 — сильно ослабленные, 4 — усыхающие, 5 — сухостой текущего года, 6 — сухостой прошлых лет.

Временные пункты наблюдения заложены в 2016 году на площадях, пройденных лесным пожаром с наличием древостоев различных категорий состояния. ВПН представляет собой размерную круговую пробную площадь с индивидуальным указанием санитарного состояния деревьев основного полога (включая 1, 2 и 3 ярусы, если они есть). ВПН располагались в выбранных выделах с учетом их доступности, а также степени повреждения. Центр ВПН должен находиться не ближе 50 м от края таксационного выдела. Центром ППН выбирается живое дерево первого яруса. ВПН фиксируются на местности с помощью опознавательных знаков и привязкой к системе географических координат.

В общей сложности заложено 22 круговых пункта временного наблюдения для оценки категории состояния древостоя (как в целом так и отдельных деревьев) на этих пунктах. На рис. 1 представлено пространственное размещение ВПН на месте, пройденного низовым пожаром различной интенсивности в 47 кв. Брин-Наволоцкого участкового лесничества. Обследование проводилось методом закладки круговых площадок радиусом 20 метров в древостоях различного состояния по предварительно созданному маршруту.



Рисунок 1. Пространственное размещение ВПН на месте пройденного низовым и переходным пожаром различной интенсивности в Брин-Наволоцком участковом лесничестве

Для изучения спектральных характеристик круговые площадки сгруппированы по состоянию древостоев в три группы: погибшие (пожар сильной интенсивности), сильно поврежденные (пожар низкой интенсивности), без повреждений (однородные лесные участки без следов лесного пожара).

Результаты

Попытки задать спектральные изобразительные характеристики для всех объектов на снимке в абсолютных значениях яркости заведомо приведут к

неточностям, т.к. на спектральное изображение объектов влияет множество факторов, таких как природные (высота Солнца, фенологическая фаза развития растительности), съемочные (угол съемки, настройки сканера).

Данные дистанционного зондирования, полученные со спутников, проходят обработку, включающую радиометрическую коррекцию и масштабирование полученных значений на шкалу возможных значений яркости элемента изображения. Эти данные зависят от радиометрического разрешения матрицы (количества уровней яркости) и представляют собой значения, пропорциональные количеству приходящей радиации (DN - digital numbers). DN — те значения, которые мы имеем исходно, получив снимок. Чем больше радиометрическое разрешение матрицы, тем больше диапазон значений, который может принимать преобразованный из излучения сигнал.

Значения DN безразмерны и пропорциональны количеству восходящего излучения и излучения, попадающего на сенсор, которое измеряется в Ваттах.

То есть: поток энергии (ватт) на квадратный метр земной поверхности на один стерадиан (трехмерный угол от точки на поверхности Земли к сенсору) на единицу измеряемой длины волны.

Перед тем, как запустить прибор в космос на земле определяется соотношение между DN и измеряемым потоком энергии. Этот процесс носит название калибровки сенсора. Следует понимать, что разные камеры калибруются по-разному и необходимо привести эти данные к единому знаменателю. Это достигается за счёт перевода данных из DN в реальные значения приходящего излучения с помощью специальных формул.

Следующим шагом после пересчета DN в количество приходящего на сенсор излучения является пересчет полученных значений в абсолютные безразмерные значения отражения (reflectance), которые характеризуют отношение количества поступившего на объект света и количество света им отраженного. Такие данные удобны тем, что они не зависят от времени и сезона съемки, влияния атмосферы и зависят только от самого объекта.

Результатом выполнения предварительной обработки является спутниковое изображение, значение каждого пикселя которого представляет собой величину отражения наземных объектов.

Большинство спутниковых систем, ведущих съемку со средним и высоким пространственным разрешением, позволяет получать мультиспектральные изображения, т.е. снимки, включающие набор данных съемки в различных спектральных диапазонах. Данный факт позволяет из всего состава каналов съемки выделить наиболее информативные для решения поставленных задач и использовать их характеристики для классификации объектов исследуемой территории.

Для каждого спектрального образа целесообразно использовать свой набор каналов. Проанализируем информативность данных съемки с различными длинами волн применительно к классификации древесного покрова, выполнив предварительную обработку снимков.

С применением многоспектральной съемочной системы со спутника Sentinel-2 определим наиболее информативные каналы для дешифрирования

очагов повреждения леса. Для этого, на спутниковый снимок наложим векторную карту данных полевых исследований.

Очаги повреждения растительности на снимках характеризуется значительными изменениями спектральных характеристик. С использованием данных полевых исследований были определены участки, различные по степени повреждения. По космоснимку получены значения отражения исследованных объектов (табл. 1).

	Не поврежденные	Слабо поврежденные	Сильно поврежденные
Канал 1	0.1099	0.1129	0.1187
Канал 2	0.079	0.08265	0.08775
Канал 3	0.0724	0.0696	0.073925
Канал 4	0.0355	0.04385	0.05555
Канал 5	0.0797	0.0802	0.083825
Канал 6	0.2415	0.1755	0.137
Канал 7	0.2907	0.2041	0.1514
Канал 8	0.2715	0.19715	0.15025
Канал 8а	0.3049	0.2204	0.1681
Канал 9	0.1015	0.0842	0.066
Канал 10	0.0014	0.0007	0.0015
Канал 11	0.1043	0.1283	0.162625
Канал 12	0.0417	0.0624	0.1036

Таблица 1. Средние значения отражения объектов

На рис. 2 представлены спектральные профили для трех категории состояния лесных насаждений.

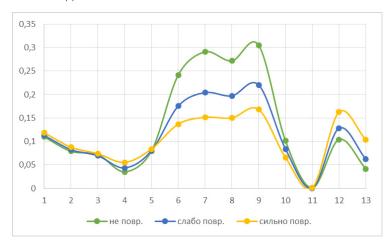


Рисунок 2. Спектральные отражательные кривые (категории состояния)

На графике для поврежденной растительности заметно резкое падение интенсивности отражения во всей инфракрасной зоне длин волн, что под-

тверждает результаты использования коротковолнового вегетационного индекса SWVI (Разнообразие и динамика..., 2012).

Проведем анализ информативности тематических классов для различных спектральных каналов. Результат этого анализа позволит отбросить некоторые из избыточных спектральных признаков перед классификацией всего изображения. Для выполнения анализа может быть использован ряд методов.

По результатам проведенного исследования сделали вывод об информативности соответствующих спектральных каналов изображения. В частности, степень повреждения лесной растительности наиболее четко идентифицируется по инфракрасному участку спектра (табл. 2).

Номер спектрального канала	Центр спектрального диапазона (мкм)	
6	0.740	
7	0.783	
8	0.842	
8a	0.865	

Таблица 2. Диапазоны съемки для дешифрирования повреждения растительности

Методика идентификации поврежденной лесной растительности была реализована на базе специализированного программного продукта «Image Processor». Методика включает реализацию ряда методов в области геоинформационных систем и автоматизированной обработки цифрового спутникового изображения на основе теоретических исследований ранее.

Использовалась следующая последовательность действий.

Была произведена загрузка и подготовка съемочных данных. Данные съемки были запрошены на онлайн сервисе "The Sentinels Scientific Data Hub". Был выбран снимок со спутникового аппарата Sentinel-2 на территорию исследования.

На снимок был наложен векторный слой участков, изученных в полевых условиях.

На снимок была нанесена векторная маска, ограничивающая территорию интереса (рис. 3).



Рисунок 3. Векторная маска исследуемой территории

На основе полевых данных и теоретического исследования была произведена классификация спутникового изображения. Для выполнения классификации использовался нейросетевой алгоритм, основанный на предварительном обучении и последующей обработке цифрового снимка с выделением классов.

Обученную сеть применим ко всему изображению. При анализе каждого пикселя на выходах нейронной сети (каждый из которых соответствует определенному классу) получаем некоторые значения. По условиям обучения, наибольшее значение на выходе сети определяет класс, которому соответствует пиксель.

Результатом обработки снимка является тематическая карта исследуемого участка с поврежденной растительностью. На рис. 4 указаны участки с разной степенью повреждения: зеленым — неповрежденные, желтым — слабо поврежденный и красным — сильно поврежденные древостои.

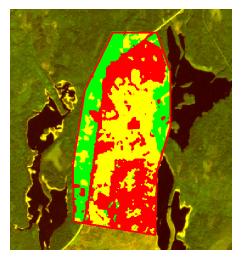


Рисунок 4. Результат обработки фрагмента спутникового изображения на основе методов классификации с обучением с использованием нейрокомпьютерной сети

— неповрежденный древостой; — - слабо поврежденный; —— - сильно поврежденный.

Основной показатель эффективности работы методик обработки космоснимков – достоверность получаемых материалов о местности.

В представленной работе проводилась экспериментальная оценка достоверности данных, получаемых в ходе применения разработанной методики. Достоверность оценивалась по результатам работы алгоритма классификации с применением нейрокомпьютерной сети с предварительным обучением. Рассчитывались показатели, характеризующие достоверность классификации.

Для данного метода коэффициент «каппа» составил 0,7573, что соответствует хорошему уровню достоверности полученной тематической карты.

Выводы

Авторами рассмотрен опыт аналитического и автоматизированного дешифрирования древостоев различного состояния, подготовлены выбороч-

ные спутниковые изображения Sentinel-2 для исследуемой территории Европейской части РФ, исследованы спектрально-отражательные способности древостоев различных категорий состояния, проведена тематическая обработка спутниковых изображений. Приведены результаты дешифрирования поврежденных насаждений лесным пожаром, применен алгоритм для классификации изображения на основе нейронных сетей и предложен алгоритм для дистанционного наблюдения за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов на основе данных мультиспектральной съемки. В ходе проведения исследования представлена достаточная оценка точности результатов дешифрирования. Изучение отражательных характеристик древостоев различных категорий состояния является перспективным методом выявления очагов вредных организмов, не имеющих признаков при аналитическом дешифрировании. Развитие этого направления позволит проводить наблюдения за санитарным состоянием древесной растительности в автоматическом режиме.

Для проведения дистанционного мониторинга за состоянием лесных экосистем целесообразно использовать ДЗЗ высокого пространственного разрешения Sentinel-2A.

Дискуссия

Для малодоступных территорий с отсутствием дорожно-транспортной сети необходимо в большей степени переходить к дистанционному мониторингу состояния лесов.

В результате внедрения в практику лесного хозяйства предложений по совершенствованию экологического мониторинга улучшится контроль за состоянием и экологической обстановкой в лесах имеющих высокую природоохранную ценность.

Благодарности

Исследование поддержано в рамках конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья» 2016 г.

Список литературы

Баранчиков Ю.Н., Бобринский А.Н., Голубев А. В., Гордиенко П.В., Денисов Б.С., Жирин В.М., Кондаков Ю.Л., Лямцев Н.И., Малышева Н.В., Маслов А.Д., Матусевич Л.С., Мозолевская Е.Г., Петько В.М., Соколова Э.С., Тузов В.К. 2004. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под общ. ред. В.К. Тузова. – М., ВНИИЛМ, 200 с.

Солдатов В.В., Ягунов М.Н., Голубев Д.В., Сашко Е.В. 2013. Дистанционный лесопатологический мониторинг лесов Красноярского края. Тезисы доклада. — В сб.: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Железногорск, с. 37-42.

Сухих В.И. 2005. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ланд-шафтном строительстве. – Йошкар-Ола, Изд-во МарГТУ, 392 с.

Малышева Н.В. 2014. Дешифрирование древесной растительности на сверхдетальных изображениях. – В кн.: Методическое пособие для подготовки специалистов высшего профессионального образования. Зарегистрировано ФГУП НТЦ Информрегистр. Регистрационное свидетельство № 35711. – Москва, 40 с.

Разнообразие и динамика лесных экосистем России. 2012. Кн. 1 / Под. ред. А.С. Исаева. ФГБУН ЦЭПЛ РАН. – М., Издательство КМК, 461с.

References

Baranchikov Iu.N., Bobrinskii A.N., Golubev A. V., Gordienko P.V., Denisov B.S., Zhirin B.M., Kondakov Iu.L., Liamtsev N.I., Malysheva N.V., Maslov A.D., Matusevich L.S., Mozolevskaia E.G., Pet'ko V.M., Sokolova E.S., Tuzov V.K. 2004. *Metody monitoringa vreditelei i boleznei lesa / pod obshch. red. V.K. Tuzova.* [Methods of monitoring pests and forest disease / ed. by V. K. Tuzov]. Moscow, VNIILM Publ., 200 p.

Soldatov V.V., Iagunov M.N., Golubev D.V., Sashko E.V. 2013. Distantsionnyi lesopatologicheskii monitoring lesov Krasnoiarskogo kraia. Tezisy doklada. – *V sb.: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Remote forest pathology monitoring of forests of the Krasnoyarsk region. Theses of the report. – In the collection: Materials of all-Russian scientific-practical conference]. – Zheleznogorsk, pp. 37-42.

Sukhikh V.I. 2005. Aerokosmicheskie metody v lesnom khoziaistve i landshaftnom stroitel'stve [Aerospace methods in forestry and landscape construction]. Ioshkar-Ola, MarGTU Publ., 392 p.

Malysheva N.V. 2014. Deshifrirovanie drevesnoi rastitel'nosti na sverkhdetal'nykh izobrazheniiakh. − V kn.: *Metodicheskoe posobie dlia podgotovki spetsialistov vysshego professional'nogo obrazovaniia. Zaregistrirovano FGUP NTTs Informregistr. Registratsionnoe svidetel'stvo № 35711* [Guidance manual for preparation of specialists of higher professional education. Is registered by FSUE STC Informregistr. Registration certificate No. 35711]. Moscow, 40 p.

Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii. 2012. Kn. 1 / Pod. red. A.S. Isaeva [The diversity and dynamics of forest ecosystems of Russia. 2012. KN. 1 / Under. edited by A. S. Isaev]. FGBUN TsEPL RAN. Moscow, KMK Publ., 461 p.

Статья поступила в редакцию: 30.11.16 После переработки:28.12.2016