Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесопользования

А. П. Богданов^{1,2}, А. А. Карпов^{1,2}, Н. А. Демина¹, Р. А. Алешко²

¹ Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
Архангельск, 163062, Россия

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Архангельск, 163002, Россия
E-mail: aleksandr_bogd@mail.ru

В настоящее время используются различные методы мониторинга леса. Основной целью мониторинга, осуществляемого с помощью дистанционных методов, является оценка состояния лесов. Оценка лесовосстановления — одна из актуальных на сегодня задач. Спутниковый мониторинг позволяет оценивать восстановление лесов на территории сплошных вырубок и лесных гарей для перевода их в лесопокрытую площадь при успешном лесовосстановлении и для назначения рубок ухода в дальнейшем. Выявление лесных рубок, гарей и оценка лесовосстановления на этих участках возможна при помощи спектральных индексов. В данной статье проведён анализ динамики изменения индексов SWVI, NBR, NDVI на участках леса при воздействии на них неблагоприятных факторов (вырубка, лесной пожар). Для анализа изменений в лесной среде использовались разновременные спутниковые снимки Landsat-5 TM и Landsat-8 OLI. Вычисления и анализ данных произведены на платформе Google Earth Engine. Данная платформа использует облачные технологии, что позволяет автоматизировать и ускорить процесс обработки большого объёма спутниковых снимков. Также были проведены полевые обследования лесных участков, пройденных низовым пожаром и сплошными рубками в рамках данного исследования. Пробные площади были заложены в Обозерском и Красноборском лесничествах Архангельской области. Проведённое исследование доказало возможность использования спектральных индексов при мониторинге оценки лесовосстановления.

Ключевые слова: дистанционные методы мониторинга, дешифрирование, многоспектральная космическая съёмка, лесопатологическое состояние, лесовосстановление, вегетационный индекс, SWVI, NBR, NDVI, Google Earth Engine, Архангельская область

Одобрена к печати: 27.11.2017

DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100

Введение

Оценка состояния леса под влиянием неблагоприятных факторов является актуальной задачей для ведения устойчивого лесопользования (Лесной Кодекс..., 2006). 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 два вида признаков лесных повреждений: морфологические и физиологические (Баранчиков и др., 2004). Рассмотрение возможности выявления аналогичных повреждений или процессов формирования древостоя в результате воздействия различных неблагоприятных факторов позволит предложить методы по оценке состояния лесовозобновления или дальнейшего ухудшения состояния древесных растений.

В работе отражены методические подходы для решения следующих задач:

- оценка влияния неблагоприятных факторов на состояние древостоев;
- построение и анализ кривой спектральной яркости за известный период на исследуемых участках с применением облачного сервиса Google Earth Engine;
- оценка состояния древостоев для одного участка (квартал, участковое лесничество, лесничество).

Обзор литературных источников показал большое количество и разнообразие работ, связанных с проведением различных видов мониторинга (лесопатологический; оценки площадей, пройденных лесными пожарами; использования лесов), а также разработкой схем и карт нарушенности различных категорий земель. Для решения проблемы дешифрирования лесных земель, повреждённых различными неблагоприятными факторами, рассмотрены работы ряда исследователей (Андреева и др., 2012; Барталев и др., 2015; Воробьев и др., 2016; Князева и др., 2016; Королёва, Ершов, 2012; Крылов и др., 2011, 2012; Малахова и др., 2016; Солдатов и др., 2013; Стыщенко, 2016). Для проведения мониторинга применяются различные методы дешифрирования, которые сводятся к следующим (Сухих, 2005):

- визуальный (аналитический);
- измерительный;
- аналитико-измерительный;
- автоматизированный.

Для улучшения визуального восприятия изображений практикуется применение простых производных индексов. Для изучения и выделения границ послепожарного древостоя, а также лесопатологического дешифрирования широко применяются различные вегетационные индексы (Крылов и др. 2011; Солдатов и др., 2013). Для разделения лесных участков на повреждённые и неповреждённые используются простые индексы NDVI и SWVI, однако, по данным (Крылов, Владимирова, 2011; Стыщенко, 2016), наибольшей информативностью обладают средний и ближний ИК-диапазоны, поэтому наиболее достоверен индекс SWVI. При оценке влияния лесного пожара на лесную древесную растительность и выявления изменений Ф. В. Стыщенко (2016) пришёл к выводу, что при использовании среднего и ближнего ИК-диапазонов, а также разновременного ДДЗ увеличивается разделимость классов усыхающих и погибших насаждений, поэтому применение разновременных коэффициентов $RdNDVI$, $RdSWVI$ тоже целесообразно. Поиск взаимосвязей между коэффициентами отражения в различных зонах спектра и объектами дешифрирования приводит исследователей к созданию новых индексов, например индекса вымокания (Черепанов, 2009), индекса техногенных объектов NMOI (Хамедов, 2016) и др.

Объекты исследований

1. Обследование участка, пройденного лесным пожаром различной интенсивности в 2011 г. площадью 700 га. 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 временных пунктах наблюдения (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 шесть основных категорий состояния деревьев: 1 — без признаков ослабления; 2 — ослабленные; 3 — сильно ослабленные; 4 — усыхающие; 5 — сухостой текущего года; 6 — сухостой прошлых лет (Временная инструкция..., 2015). Временные пункты наблюдения заложены в 2016 г. 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-й, 2-й и 3-й ярусы, если они есть). Такие пункты располагались в выбранных участках с учётом их доступности, а также степени повреждения. Центром ВПН выбирается живое дерево первого яруса. Пункты ВПН фиксируются на местности с помощью опознавательных знаков и привязкой к системе географических координат.

Рис. 1. Схема расположения объектов исследования. А — гарь; Б — сплошные вырубki: 1 — место закладки временных пунктов наблюдения на месте лесного пожара; 2 — пункты обследования на месте проведения лесохозяйственных мероприятий по лесовосстановлению

В общей сложности заложен 21 пункт временного наблюдения для оценки категории состояния древостоя (как в целом, так и отдельных деревьев) на этих пунктах.

2. Изучение материалов обследования 37 пробных площадей, заложенных в Красноборском лесничестве на месте сплошных вырубok, с проведением мероприятий по содействию естественному лесовосстановлению или созданию лесных культур. В 2015 г. все участки соответствовали правилам лесовосстановления 2007 г. для перевода в лесопокрытую площадь. Обследование проведено в 2015 г. На рис. 1 приведена схема расположения объектов исследования.

Методика исследования

Для оценки состояния исследуемых участков авторами рассчитаны индексы SWVI, NBR и NDVI. Как уже упоминалось, ряд авторов приводит данные о высокой эффективности приведённых индексов. Высокая разделяемость различных классов состояния древостоев обусловлена различиями отражения в ближнем и среднем ИК-диапазонах.

Для выполнения основных пунктов программы исследования проведены:

- 1) загрузка и подготовка мультиспектральных изображений из серии космических аппаратов Landsat на территорию исследуемых участков леса (спутниковые данные были запрошены на онлайн-сервисе EarthExplorer);
- 2) аналитическое дешифрирование космоснимков среднего разрешения. Выделение границ и положения объектов по ряду признаков, контурное дешифрирование, анализ принадлежности объектов к определённому классу;

- 3) изучение динамики вегетационных индексов SWVI повреждённых и восстанавливающихся древостоев после различных неблагоприятных факторов (пожар, рубка).

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.

Таким образом, для изучения динамики значений индекса SWVI на участках, пройденных лесным пожаром, имеется 21 пункт временного наблюдения, а на пройденных рубкой — 37 пробных площадей с центрами в системе географических координат и известными характеристиками на момент обследования в 2016 и 2015 гг. соответственно.

Работа проводилась с целью оценки происходивших изменений на исследуемых участках и выявления закономерностей динамики значений производных индексов за известный период.

Для автоматизации вычислений использована система Google Earth Engine — облачный сервис, являющийся платформой для обработки геопространственных данных в масштабе Земли. Сервис имеет интерфейс API (Application Programming Interface), что позволяет создавать собственный программный код для решения различных задач (<https://code.earthengine.google.com/d93dc5ae59c1f9918dfa4a51bf3c4eb9>). Расчёт индекса SWVI проведён по формуле: $SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$, где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра, соответствующей 4-му каналу ТМ, для сенсора OLI — канал 5; SWIR — отражение в средней инфракрасной области спектра, соответствующей 5-му каналу ТМ, для сенсора OLI — канал 6.

Индексы NBR и NDVI также рассчитаны по общеизвестным формулам (Хамедов, Мазуров, 2015).

Сервис позволяет использовать созданные точечные объекты, по которым в последующем проведены операции над растровыми изображениями для получения значений вегетационных индексов SWVI, NBR и NDVI. Платформа Google Earth Engine поддерживает проведение сложного геопространственного анализа, включающего картографическую алгебру, работу с массивами, обработку изображений, классификацию, выявления изменений, проведение временного анализа с использованием серии спутниковых снимков, сбор статистики и построение графиков. Преимуществами данного приложения являются высокая скорость обработки снимков, возможность обрабатывать снимки, не скачивая их на персональный компьютер, сокращая время на загрузку и последующую обработку снимков, а также готовые алгоритмы, позволяющие создавать безоблачное покрытие, используя снимки определённого временного диапазона. К недостаткам можно отнести необходимость постоянного доступа к сети интернет для передачи и получения информации.

Результаты

При использовании облачного сервиса Google Earth Engine загрузка на жёсткий диск растровых изображений не требуется, поэтому на сервисе (<https://earthexplorer.usgs.gov>) выбраны подходящие снимки, сделанные в 2007, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016 гг. и загруженные непосредственно в облачный сервис по уникальному идентификатору каждого снимка.

На *рис. 2–4* (см. с. 93, с. 94) представлены результаты расчёта искомых индексов SWVI, NBR и NDVI с помощью Google Earth Engine с приведённой ссылкой на скрипт, посредством которого он может быть реализован (<https://code.earthengine.google.com/d93dc5ae59c1f9918dfa4a51bf3c4eb9>). Визуализирована динамика значений SWVI, NBR и NDVI по годам у древостоев, имеющих различные категории состояния. На *рис. 2* приведена динамика значений SWVI для пунктов наблюдения с указанием категорий состояния древесных пород, определённых в результате полевого обследования. В легенде отмечены номера пунктов наблюдения и в скобках указана категория состояния.

Рис. 2. Результат визуализации динамики значений индексов SWVI для пунктов наблюдения, пройденных лесным пожаром в 2011 г.

Рис. 3. Результат визуализации динамики значений индексов NDVI для пунктов наблюдения, пройденных лесным пожаром в 2011 г.

Сделано предположение, что совокупность значений SWVI не различается до момента воздействия лесного пожара. Проведён статистический анализ совокупностей значений индекса SWVI. Согласно сравнению выборочных статистических совокупностей значений индекса SWVI до 2010 г. различий между ними не выявлено на уровне вероятности 95 %. На рис. 2 приведена условная граница статистических совокупностей, образовавшихся после влияния лесного пожара. Как видно на рисунке, над чертой расположены пробные площади

с категорией состояния 2, различия между ними также не выявлены на уровне вероятности 95 %. В нижней части преимущественно расположены пункты наблюдения с категорией состояния меньше 2 — это подтверждает предположение, что по динамике индекса SWVI возможно выявлять повреждённые в результате лесного пожара древостои. После лесного пожара в 2011 г. различия существенны и значения не относятся к одной выборочной совокупности. На *рис. 3* и *4* приведена динамика значений индексов NDVI и NBR. В целом динамика значений аналогична SWVI.

Для изучения лесовосстановления на 37 пробных площадях были подгружены космические снимки Landsat-5 TM и Landsat-8 OLI, сделанные в 2006, 2010, 2011, 2016 гг. На всех пробных участках проведены лесохозяйственные мероприятия по содействию естественному лесовозобновлению или созданию лесных культур. Все участки в 2015 г. переведены в лесопокрытую площадь, т.е. соответствуют нормативным показателям лесовосстановления (Правила лесовосстановления, 2007). Все участки пройдены рубками в период с 2003 по 2009 г. Результат динамики индекса SWVI для пробных площадей приведён на *рис. 5*.

Рис. 4. Результат визуализации динамики значений индексов NBR для пунктов наблюдения, пройденных лесным пожаром в 2011 г.

Рис. 5. Диаграмма Box & Whisker Plot значений индекса SWVI возобновившихся участков

На *рис. 5* представлена диаграмма Box & Whisker Plot для значений SWVI возобновившихся участков, которая демонстрирует основные показатели изменчивости значений SWVI для 37 участков за период с 2006 по 2016 г. Диаграмма показывает рост средних значений индекса SWVI. Под влиянием разнообразия возможных вариантов живого напочвенного покрова, количества оставленного подроста и подлеска, состава и возраста древесных пород график демонстрирует широкую амплитуду значений индекса.

Исходя из *рис. 5*, значения индекса SWVI увеличились в 2016 г. после спада июля 2010 г. и августа 2011 г., что может быть следствием засушливых условий в эти периоды (Погода и климат, <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=22887&month=8&year=2011>). При сравнении метеоданных по ближайшей метеостанции в г. Котласе видно, что июль 2010 г. в данном районе был рекордно жарким и засушливым (количество осадков в июле составило 30 % от нормы), а в августе 2011 г. сумма осадков составила 40 % от нормы, что, возможно, и привело к снижению индекса SWVI на зарастающих вырубках.

При оценке лесных экосистем, подвергшихся неблагоприятным факторам, необходимо отслеживать изменения от начала воздействия до достижения нормативных показателей успешного лесовосстановления. Оценка таких показателей, как густота и высота древесной растительности на космоснимках среднего разрешения, является трудновыполнимой задачей.

На *рис. 6* приведён фрагмент растрового изображения, рассчитанного по формуле $dSWVI_{\text{сред}}$. Для создания данного изображения использовались индексы SWVI, рассчитанные по снимкам Landsat-5 TM и Landsat-8 OLI 2006, 2010, 2011, 2014, 2016 гг. Расчёт был проведён по следующей формуле:

$$SWVI_{\text{сред}} = \frac{\left((SWVI_{2006} - SWVI_{2010}) + (SWVI_{2010} - SWVI_{2011}) + \right. \\ \left. + (SWVI_{2011} - SWVI_{2014}) + (SWVI_{2014} - SWVI_{2016}) \right)}{n},$$

где $SWVI_{2006}$ — индекс SWVI по снимку 2006 г.; n — количество элементов $dSWVI$.

Рис. 6. Визуализированные средние значения индексов SWVI

Рис. 7. Успешное лесовосстановление в точке 22

Вычитая индексы SWVI разновременных снимков, получаем разность индексов dSWVI. По данной разности можно определить возникновение вырубок и гарей на более позднем снимке. Просуммировав dSWVI, можно проанализировать лесовосстановление на участках, подверженных рубкам и лесным пожарам. Для усреднения значений следует разделить данную сумму на количество рассчитанных dSWVI.

Для удобства восприятия чёрно-белое изображение на рис. 6 было раскрашено градиентной заливкой. Рубки 2014 и 2016 гг. отображены красным цветом с диапазоном значений SWVI от 0,07 и более. Рубки 2006 и 2010 гг. отображены на рисунке светло-коричневым цветом, что соответствует значениям от 0 до 0,1. Вырубки 2010 г. имеют большие значения индекса вырубок 2006 г. Вырубки старше 2006 г. имеют отрицательные значения индекса и отображены зелёным цветом. Проанализировав данное изображение, можно сделать вывод, что более старые вырубки, на которых происходит лесовосстановление, имеют самые низкие значения индекса в сравнении с остальными пикселями изображения.

На местности, представленной на рис. 6, были произведены полевые исследования, которые подтвердили факт связи значений разности индексов SWVI с интенсивностью лесовосстановления на практике.

В точках 22 и 23 отмечается активное лесовосстановление. На рис. 7 приведена фотография местности в точке 22.

Из данного анализа можно сделать вывод, что индекс SWVI подходит для оценки лесовосстановления, но у данного метода также существуют ограничения в зависимости от метеорологических условий. Рост индекса SWVI на участке, где происходит лесовозобновление, наблюдается в течении 15–20 лет для хвойных пород, после чего индекс достигает значения, характерного для спелого хвойного леса.

Заключение

Использование облачных технологий, например Google Earth Engine, позволяет уменьшить трудозатраты по подбору и загрузке космоснимков. Широкие возможности автоматизации и доступность позволяют использовать облачные технологии для разработки схем нарушенных и восстанавливающихся древостоев, а также для оценки лесовосстановления и ресурсного потенциала отдельных массивов и других практических задач.

При оценке лесных экосистем, подвергшихся неблагоприятным факторам, необходимо отслеживать изменения от начала воздействия до достижения нормативных показателей успешного лесовосстановления.

Совокупность значений SWVI для неповреждённых участков не отличается до момента воздействия неблагоприятного фактора (лесного пожара), различия не выявлены на 95%-м уровне, после воздействия различия существенны.

Изучение особенностей отображения динамичных экосистем имеет практическое значение. Сравнение с неповреждёнными участками позволяет разрабатывать методики по оценке состояния древесной растительности. Оценка территорий, нуждающихся в лесовосстановлении, имеет важное значение для организации рационального лесопользования.

Исследование выполнено при поддержке Правительства Архангельской области в рамках конкурса научных проектов «Молодые учёные Поморья» 2016 г. № 08-2017-04а «Совершенствование мониторинга воспроизводства лесов дистанционными методами как элемента устойчивого лесопользования в Арктической зоне Архангельской области».

Литература

1. Андреева Н. М., Барталев С. А., Басова Е. В., Бугаева К. С., Бутусов О. Б., Голованов А. С., Громцев А. Н., Данилина Д. М., Дробушевская О. В., Еришов Д. В., Ефремов С. П., ЕФремова Т. Т., Жирин В. М., Зукерт Н. В., Исаев А. С., Князева С. В., Козлов Д. Н., Коновалова М. Е., Коновалова М. Е., Корзухин М. Д., Коровин Г. Н., Кофман Г. Б., Кошкарлова В. Л., Кравченко А. В., Курхинен Ю. П., Левицкая Н. Н., Лупян Е. А., Лямцев Н. И., Назимова Д. И., Нефедьев В. В., Огуреева Г. Н., Пестерова О. А., Пименов А. В., Пузаченко М. Ю., Пшегусов Р. Х., Сазонов С. В., Седельникова Т. С., Темботова Ф. А., Тихонова Е. В., Тлупова Ю. М., Царегородцев В. Г., Черненко Т. В., Эйшлин С. П. Разнообразие и динамика лесных экосистем России / под ред. А. С. Исаева; ЦЭПЛ РАН. Кн. 1. М.: Изд-во КМК, 2012. 461 с.
2. 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. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В. К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
3. Барталев С. А., Стыценко Ф. В., Егоров В. А., Лупян Е. А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
4. Воробьев О. Н., Курбанов Э. А., Полевщикова Ю. А., Лежнин С. А. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 124–134.
5. Временная инструкция проведения Государственного лесопатологического мониторинга. ФБУ «Рослесозащита»: приказ № 113-р от 19.06.2015.
6. Князева С. В., Эйшлин С. П., Жирин В. М. Дистанционная оценка изменения состояния лесных экосистем за 20-летний период после массового размножения сибирского шелкопряда // Доклады 6-й Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии». М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 126.
7. Королёва Н. В., Еришов Д. В. Оценка погрешности определения площадей ветровалов по космическим изображениям высокого пространственного разрешения Landsat-TM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 80–86.
8. Крылов А. М., Соболев А. А., Владимирова Н. А. Выявление очагов короеда-типографа в Московской области с использованием снимков Landsat // Вестник Московского гос. ун-та леса. Лесной вестн. 2011. № 4. С. 54–60.

9. Крылов А. М., Владимиров Н. А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 1. С. 53–57.
10. Крылов А. М., Владимиров Н. А., Малахова Е. Г. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнич. академии. 2012. Вып. 200. С. 197–207.
11. Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 03.07.2016).
12. Малахова Е. Г., Крылов А. М., Владимиров Н. А., Ягунов М. Н., Еришов Д. В., Королёва Н. В. Опыт применения дистанционных наблюдений для выявления повреждений лесов // Доклады 6-й Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии». М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 47.
13. Правила лесовосстановления [Электронный ресурс]: утв. Приказ МПР России от 16.07.2007 № 183. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (дата обращения 15.03.2015).
14. Солдатов В. В., Ягунов М. Н., Голубев Д. В., Сашко Е. В. Дистанционный лесопатологический мониторинг лесов Красноярского края // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Материалы всерос. научно-практич. конф. Железногорск, 14.06.2013. Железногорск, 2013. С. 37–42.
15. Стыценок Ф. В. Разработка и применение методики и автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных: дис. ... канд. техн. наук (спец. 25.00.34). М., 2016. 131 с.
16. Сухих В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 392 с.
17. Хамедов В. А. Разработка методики мониторинга лесных земель на основе космических снимков оптического и радарного диапазонов: дис. канд. техн. наук (спец. 25.00.26). Новосибирск: СГУГиТ, 2016. 121 с.
18. 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.
19. Черепанов А. С. Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов) // Геоматика. 2009. № 3. С. 66–75.

Improving forest monitoring by using cloud technologies as an element of sustainable forest management

A. P. Bogdanov^{1,2}, A. A. Karpov^{1,2}, N. A. Demina¹, R. A. Aleshko²

¹ Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk 163062, Russia

² Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk 163002, Russia
E-mail: aleksandr_bogd@mail.ru

At the present time, forest monitoring is conducted in various ways. The main goal of forest monitoring that uses remote sensing technologies is to assess the state of the forest. The assessment of reforestation is also one of the tasks of forest monitoring on the basis of this form of technology. Satellite monitoring allows assessing forest recovery in clean cut and burnt areas for their conversion into forest areas with successful reforestation and appointment of cleaning cutting in the future. To distinguish forest cutting, burnt areas and the assessment of reforestation, it is possible to use spectral indices. In this article, an analysis of dynamic patterns of indices SWVI, NBR, and NDVI in forests under negative effect (i.e. cutting, burnt areas) was conducted. Landsat 5 and 8 satellite images were used for the analysis of forest environment changes at different times. The calculation and analysis of the data was performed using the Google Earth Engine platform. This platform uses cloud technology that allows automatic and accelerated processing of large amounts of data and satellite images. Furthermore, field studies of forest areas exposed to low fire and clean cutting were conducted in the framework of this research. Sample areas were located in the Obozerskoe and Krasnoborskoe forests of the Arkhangelsk region. This research showed that it is possible to use spectral indices to monitor and assess reforestation.

Keywords: remote monitoring methods, decryption, multispectral space imagery, forest pathological condition, vegetation index, SWVI; NBR, NDVI, Google Earth Engine; Arkhangelsk region

Accepted: 27.11.2017

DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100

References

1. Andreeva N. M., Bartalev S. A., Basova E. V., Bugaeva K. S., Butusov O. B., Golovanov A. S., Gromtsev A. N., Danilina D. M., Drobushchinskaya O. V., Ershov D. V., Efremov S. P., Efremova T. T., Zhirin V. M., Zukert N. V., Isaev A. S., Knyazeva S. V., Kozlov D. N., Konovalova M. E., Konovalova M. E., Korzukhin M. D., Korovin G. N., Kofman G. B., Koshkarova V. L., Kravchenko A. V., Kurkhinen Yu. P., Levitskaya N. N., Loupian E. A., Lyamtsev N. I., Nazimova D. I., Nefed'ev V. V., Ogureeva G. N., Pesterova O. A., Pimenov A. V., Puzachenko M. Yu., Pshegusov R. Kh., Sazonov S. V., Sedel'nikova T. S., Tembotova F. A., Tikhonova E. V., Tlupova Yu. M., Tsaregorodtsev V. G., Chernen'kova T. V., Eidlina S. P., *Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii* (Variety and dynamics of forest ecosystems in Russia), CEPF RAS, Vol. 1, Moscow: Izd. KMK, 2012, 461 p.
2. Baranchikov Yu. N., Bobrinskii A. N., Golubev A. V., Gordienko P. V., Denisov B. S., Zhirin B. M., Kondakov Yu. L., Lyamtsev N. I., Malysheva N. V., Maslov A. D., Matusevich L. S., Mozolevskaya E. G., Pet'ko V. M., Sokolova E. S., Tuzov V. K., *Metody monitoringa vrediteley i bolezney lesa* (Methods for monitoring pests and diseases of forests), V. K. Tuzov (ed.), Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
3. Bartalev S. A., Stytsenko F. V., Egorov V. A., Loupian E. A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Remote sensing for estimation of forest deaths in Russia from fires), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
4. Vorob'ev O. N., Kurbanov E. A., Polevshchikova Yu. A., Lezhnin S. A., Otsenka dinamiki i narushennosti lesnogo pokrova v Srednem Povolzh'e po snimkam Landsat (Assessment of dynamics and disturbance of forest cover in the Middle Povolzhje by Landsat images), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 124–134.
5. *Interim Rules of Forest Pathology Monitoring*, Roslesozaschita (Russian Center for Forest Protection) Order No. 113-r, June 19, 2015.
6. Knyazeva S. V., Eidlina S. P., Zhirin V. M., Distantcionnaya otsenka izmeneniya sostoyaniya lesnykh ekosistem za 20-letnii period posle massovogo razmnzheniya sibirskogo shelkopryada (Remote assessment of changes in the state of forest ecosystems over a 20-year period after mass breeding of the Siberian silkworm), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozjaistve i ekologii* (Remote Sensing and GIS-technologies in Forestry and Forest Management), Proc. 6th All-Russia Science Conference, Moscow: CEPF RAS, 2016, p. 126.
7. Koroleva N. V., Ershov D. V., Otsenka pogreshnosti opredeleniya ploshchadey vetrovalov po kosmicheskim izobrazheniyam vysokogo prostranstvennogo razresheniya Landsat-TM (Assessment of an error of determination of areas of windfalls using space images of high spatial resolution of Landsat-TM), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 80–86.
8. Krylov A. M., Sobolev A. A., Vladimirova N. A., Vyyavlenie ochagov koroeda-tipografa v Moskovskoy oblasti s ispol'zovaniem snimkov Landsat (Revealing of centers of typographus in Moscow region with use of pictures Landsat), *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoi vestnik*, 2011, No. 4, pp. 54–60.
9. Krylov A. M., Vladimirova N. A., Distantcionnyi monitoring sostoyaniya lesov po dannym kosmicheskoi s'emki (Remote sensing data for forest monitoring), *Geomatika*, 2011, No. 1, pp. 53–57.
10. Krylov A. M., Vladimirova N. A., Malakhova E. G., Vyyavlenie i otsenka ploshchadei katastroficheskikh vetrovalov 2009–2010 gg. po dannym kosmicheskoi s'emki (Identification and assessment of forest areas damaged by windfalls in 2009–2010 by means of remote sensing), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2012, Vol. 200, pp. 197–207.
11. *Forestry Code of the Russian Federation*, No. 230-FZ of 04.12.2006, Rev. 03.07.2016.
12. Malakhova E. G., Krylov A. M., Vladimirova N. A., Yagunov M. N., Ershov D. V., Koroleva N. V., Opyt primeneniya distantsionnykh nablyudenii dlya vyyavleniya povrezhdenii lesov (The experience in remote control techniques for revealing the forest damages), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozjaistve i ekologii* (Remote Sensing and GIS-Technologies in Forestry and Forest Management), Proc. 6th All-Russia Science Conference, Moscow: CEPF RAS, 2016, p. 47.
13. *Pravila lesovosstanovleniya* (Forest Restoration Rules), No. 183, 2007, July 16.

14. Soldatov V. V., Yagunov M. N., Golubev D. V., Sashko E. V., Distantionnyi lesopatologicheskii monitoring lesov Krasnoyarskogo kraia (Remote forest pathological monitoring of forests of the Krasnoyarsk Territory), *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* (All-Russia Science and Application Conference), Proc. Conf., Zheleznogorsk, 2013, pp. 37–42.
15. Stytsenko F. V., *Razrabotka i primeneniye metodiki i avtomatizirovannoy tekhnologii otsenki pirogennoy gibeli lesov na osnove sputnikovyykh dannykh. Dis. kand. tekhn. nauk* (Development and application of methods and automated technology for assessing pyrogenic forest deaths based on remote sensing. Cand. tech. sci. thesis), Moscow, 2016, 131 p.
16. Sukhikh V. I., *Aerokosmicheskie metody v lesnom khozyaistve i landshaftnom stroitel'stve* (Aerospace methods in forestry and landscape construction), Yoshkar-Ola: MarGTU, 2005, 392 p.
17. Khamedov V. A., *Razrabotka metodiki monitoringa lesnykh zemel' na osnove kosmicheskikh snimkov opticheskogo i radarnogo diapazonov. Dis. kand. tekhn. nauk* (Development of methods for monitoring forest lands based on satellite images of the optical and radar ranges. Cand. tech. sci. thesis), Novosibirsk: 2016, 121 p.
18. Khamedov V. A., Mazurov B. T., *Razrabotka metodicheskikh voprosov sozdaniya sistemy sputnikovogo monitoringa sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh vozdeistviya neftegazovogo kompleksa territorii Zapadnoi Sibiri* (Development of methodological problems of creating satellite monitoring of forest ecosystems under the impact oil and gas sector of West Siberia), *Vestnik SGUGiT*, 2015, No. 3(31), pp. 16–31.
19. Cherepanov A. S., *Tekhnologiya vyyavleniya medlennykh izmenenii v lesakh po mul'tispektral'nym kosmicheskim snimkam (na primere vymokaniya lesov)* (Forest slow changes detection technology through multispectral remote sensing data (by the example of forest damping-off)), *Geomatika*, 2009, No. 3, pp. 66–75.