

А. Маркс (A. Marx; RapidEye, Германия)

Окончил Университет прикладных наук в г. Эберсвальде (Германия). Магистр по специальности «информационные технологии в лесном хозяйстве». С 2007 г. работает в компании RapidEye, в настоящее время — в научно-исследовательской группе в качестве эксперта по технологиям мониторинга лесов.

Р. Грисбах (R. Griesbach; RapidEye AG, Германия)

В 1996 г. окончил Сибирскую государственную геодезическую академию, факультет аэрофотогеодезии. С 2007 г. работает в компании RapidEye, в настоящее время — старший менеджер проектов научно-исследовательской группы компании. Кандидат технических наук.

Лесопатологический космический мониторинг: возможности группировки RapidEye*

Походный шелкопряд дубовый – представитель семейства бабочек, гусеницы которого являются вредителями в дубовых лесах. Эти бабочки широко распространены по всей Центральной и Южной Европе. В то время как популяция бабочек в южной части Европы находится под контролем естественных хищников, Северная Европа серьезно страдает от нашествия вредителей ввиду отсутствия таких хищников.

Согласно данным Википедии, бабочки представляют большую угрозу и для людей, а их ареал обитания будет все расширяться по мере потепления климата в Европе. Спинка взрослой гусеницы покрыта примерно 63 тыс. заостренных оборонительных щетинок, содержащих защитный токсин (thaumetopoein или тесно связанные с ним соединения). Волоски (или щетинки) легко отламываются, становятся летучими и могут вызвать эпидемию гусеничного дерматита (lepidopterism) у человека. После заражения у человека может проявляться папулезная сыпь, зуд, конъюнктивит, а при попадании в дыхательные пути – фарингит и нарушение дыхания, в том числе астма или даже анафилактический шок [http://en.wikipedia.org/wiki/Oak_Processionary].

Органы государственной власти земли Бранденбург в сфере лесопользования отмечают

быстрое и постоянно увеличивающееся распространение дубового походного шелкопряда и других вредителей, которое приводит к снижению уровня жизнеспособности дубов. В 2011 г. пораженные области возросли до 4000 га (увеличение на 230% по сравнению с 2010 г.). Помимо очевидного снижения уровня жизнеспособности дубов, мы наблюдаем первое широкомасштабное полное вымирание деревьев.

Влияние, которое оказывает эта проблема на здоровье людей, теперь гораздо серьезнее, чем раньше. Эта ситуация заставляет органы государственной власти принимать меры по борьбе с нашествием насекомых, однако существуют строгие правила применения средств для борьбы с вредителями. Применение препарата Dipel ES в земле Бранденбург дало положительные результаты, но его использование требует специального разрешения от Европейского союза, и приводит к временным ограничениям доступа в пораженные леса [<http://forst.brandenburg.de/sixcms/detail.php/bb1.c.260712.de>].

Органы государственной власти, ответственные за лесопользование и здравоохранение, столкнулись с трудной задачей по выявлению и разграничению пострадавших районов. Это основа для планирования и принятия решений.

Традиционно эту задачу выполняют лесники. Они

* Перевод с английского языка и подготовка к публикации Д.О. Мордовиной (Компания «Совзонд»).

регулярно посещают леса и визуально выявляют насекомых. Эксперты осматривают кроны деревьев и переносят на карту оценку интенсивности процесса дефолиации по четырем классам, отражающим ущерб: небольшие повреждения, заметные повреждения, серьезный ущерб, дефолиация (уничтожение растительности). Размеры лесных участков, за которые отвечает один лесник, непрерывно увеличиваются, и традиционные методы оказываются неэффективными и недостаточными. В результате возникла идея проводить мониторинг лесов спутниками группировки RapidEye. Компания RapidEye — поставщик данных высокого разрешения, а также геоинформационных продуктов, полученных на основе снимков. Благодаря группировке из 5 спутников компания RapidEye получает снимки поверхности Земли в количестве до 5 млн кв. км в сутки и увеличивает свой архив снимков более чем на 1 млрд кв. км ежегодно. Группировка спутников позволяет проводить повторную съемку обширных территорий с разрешением 5 м в мультиспектральном режиме, что является экономически выгодным решением для проведения космического мониторинга. На протяжении многих лет группировка спутников RapidEye доказала свою эффективность для проведения анализа растительности. Соответственно группировка RapidEye — это подходящее решение для анализа экологического состояния лесов.

ТЕСТОВЫЙ УЧАСТОК

Для демонстрации возможностей группировки по классификации степени жизнеспособности деревьев научно-исследовательская группа компании RapidEye выбрала лесную зону с серьезными повреждениями крон дубов на юго-западе от г. Потсдама. Тестовый участок включает в себя районы, прилегающие к озерам Швиловзе и Темплинер Зее. Основные породы деревьев в этом районе следующие: дуб скальный (*Quercus petraea*), бук европейский или бук лесной (*Fagus sylvatica*), дуб красный (*Quercus rubra*), робиния псевдоакация, или робиния лжеакация, или робиния обыкновенная (*Robinia pseudoacacia*), и береза повислая (*Betula pendula*).

Согласно данным State Forest Competency Center, эта область поражена насекомыми, которые повре-

ждают дуб, и всего лишь за один год пораженная территория увеличилась вдвое (425,6 га в 2011 г. и 939,5 га в 2012 г.).

ПОЛУЧЕНИЕ СНИМКОВ

После того как научно-исследовательская группа определила для тестирования метода мониторинга распространения вредителей район рядом с г. Потсдамом, были выбраны подходящие снимки в архиве RapidEye. Самый простой и эффективный способ поиска данных — онлайн-сервис EyeFind, предназначенный для поиска снимков в архиве компании RapidEye.

На сервис EyeFind можно загрузить шейп-файл Esri интересующего участка в проекции UTM, координаты WGS 84. Как только данные загружены, можно выбрать подходящие параметры облачности и интересующую дату, и программа подберет в архиве снимки, соответствующие введенным параметрам. После того как наиболее подходящие снимки будут отобраны, их можно заказать.

Для демонстрации результатов этого исследования были отобраны архивные снимки от 28 июня 2011 г. (рис. 1) в качестве картографической основы. Для оценки актуальной экологического состояния была заказана новая съемка.

Спутники RapidEye проводят съемку в 5 спектральных каналах: синем, зеленом, красном, крайнем красном и ближнем инфракрасном. Для научно-исследовательской работы были выбраны снимки, представленные на рис. 1. Несмотря на то что на правом есть небольшая атмосферная дымка, эти снимки являются отличным материалом для научно-исследовательской работы, ввиду того что на них совсем нет облаков.

АНАЛИЗ СНИМКОВ

После первоначальной проверки качества снимки RapidEye проходили первичную обработку: радиометрическую и атмосферную коррекцию. На отобранных для исследования снимках точность позиционирования исходных данных была лучше, чем один пиксель, и этого было достаточно для того, чтобы сопоставлять снимки. Этого удалось добиться благо-



Рис. 1. Снимки RapidEye (слева — от 28 июня 2011 г., справа — от 26 мая 2012 г.)

даря наличие густой сети точных опорных точек по всей территории Германии.

Процесс выявления районов, пораженных походным шелкопрядом дубовым и другими вредителями, должен выполняться по заранее определенным правилам:

1. Ввиду того что поражены только дубовые леса, для получения точных результатов необходимо выделить лиственные леса.
2. У пораженных пород деревьев снижается уровень жизнеспособности, и при помощи спутников RapidEye понижение этого параметра можно измерить.
3. Найденные участки зараженности размером не больше одного пикселя не рассматриваются. Зараженность хорошо прослеживается в центре очага и меньше к периферии.

Следуя вышеупомянутым правилам, научно-исследовательская группа компании RapidEye завершила первый этап по обработке данных. Следующая задача — отделить лиственный лес, создав общий шаблон леса для выбранной демонстрационной области. Здесь была применена методология, разработанная специалистами компании RapidEye в рамках международного исследовательского проекта по обеспечению данными о состоянии

лесов «European Forest Downstream Services (EUFODOS) — Improved Information on Forest Structure and Damages», связанного с оценкой ущерба, нанесенного лесному хозяйству, и с картографированием параметров, отражающих состояние лесов. В основе продукта EUFODOS P2 — Forest Cover Map — лежат только снимки компании RapidEye. Никаких дополнительных данных по инвентаризации лесов или другой опорной информации не требуется. За короткое время в интерактивном режиме специалист по внешним признакам почвенно-растительного покрова определяет лесной массив. Это необходимо для обучения алгоритма классификации. Благодаря этому выявление данного типа леса не зависит от стандартных определений типа леса (на основе данных о сомкнутости крон деревьев или других параметров). Этот метод легко компенсирует любые остающиеся радиометрические отклонения на снимках, которые могут быть вызваны сезонными или атмосферными эффектами. Forest Cover Map представлен в виде геопривязанного векторного слоя, который очерчивает область, покрытую лесом. Forest Cover Map может использоваться как отдельный продукт для проведения инвентаризации лесов, но в большинстве случаев карта используется как набор данных, взятый за



Рис. 2. Снимок RapidEye в ИК-диапазоне с наложенным поверх шаблоном леса (темно-зеленый цвет — хвойный лес, светло-зеленый — лиственный лес)

основу для дальнейшего извлечения информации о лесном массиве. В этом случае карта используется в качестве шаблона снимка. На рис. 2 показана полученная дифференцированная карта лесных массивов, которая потом была использована для анализа уровня жизнеспособности лесов в соответствии с правилом № 2.

Оценка уровня жизнеспособности деревьев основана на коэффициенте поглощения. Если листвен-

ная масса кроны деревьев уменьшается из-за того, что листву поедают личинки насекомых, то соответственно содержание хлорофилла падает, а с ним и способность поглощать свет в красном и синем спектрах волн уменьшается из-за снижения процесса фотосинтеза. Кроме того, структура лиственных клеток в строении древесины, отражающих сигнал в ближнем ИК-диапазоне, разрушается.

Обычно для составления карты дефолиации используется индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Однако исследования показали, что индекс NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) обеспечивает получение более точных данных. Поэтому, в этом исследовании был использован именно индекс NDRE.

Принимая во внимание весь спектр возможных значений индекса NDRE для определения уровня жизнеспособности деревьев, нужно использовать общую схему с градацией, которую затем легко интерпретировать. Для демонстрационного исследования были выделены 20 уровней, отражающих различные стадии жизнеспособности деревьев. У каждого уровня есть свой цвет, и на снимках они отображаются в виде слоев (рис. 3).

Полученный продукт соответствует продукту P3 Forest Vitality Map, разработанному компанией RapidEye в рамках уже упомянутого проекта EUFODOS. Продукт поставляется в виде 8-битового геопривязанного растрового файла, отражающего пространствен-

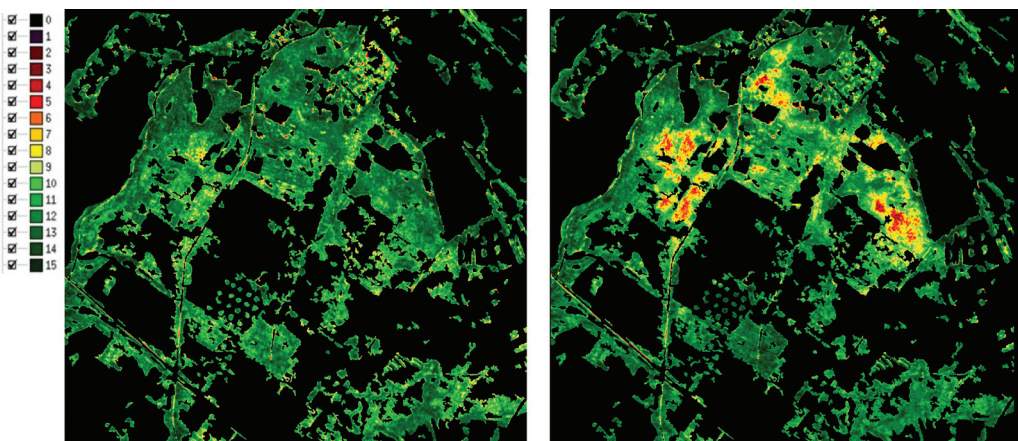


Рис. 3. Forest Vitality Maps (слева снимок за 2011 г., справа — за 2012 г.)

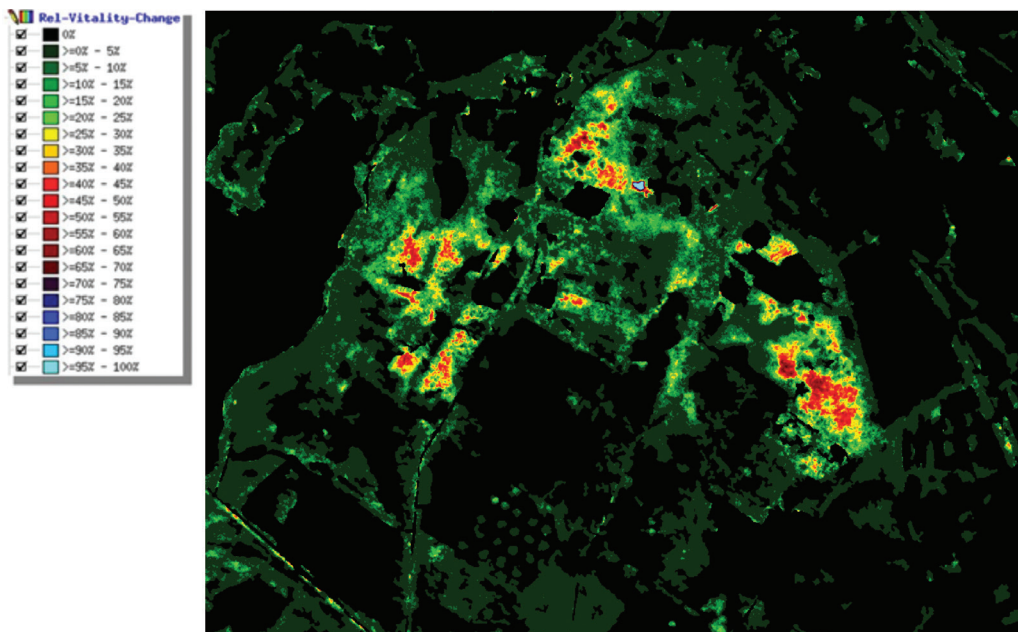


Рис. 4. Forest Vitality Change Map (ухудшение состояния жизнеспособности)

ное распределение относительных значений, соответствующих уровню жизнеспособности лесов за определенный промежуток времени. Зараженные участки успешно детектируются по этой карте.

Еще больше информации можно получить, используя продукт P4 Forest Vitality Change Map, также разработанный в рамках проекта EUFODOS (рис. 4).

При условии что параметры по уровню жизнеспособности на Forest Vitality Change Map в разные периоды времени масштабируются одинаково, мы можем оценить динамику этих изменений. Эта карта компании RapidEye поставляется в виде 8-битового геопривязанного растрового файла. Он показывает градацию интенсивности изменений леса по относительному ухудшению уровня жизнеспособности деревьев. Размер шага между ячейками составляет 5%, показатели масштабируются до максимального обнаруженного значения изменений.

Такая карта может быть использована для извлечения данных о районах, где параметр, отражающий интенсивность изменений леса, превышает заданный порог. Например, если отклонения 20% от

«нормы» и более считаются ненормальными, то можно определить области, на которые нужно обратить внимание.

Для того чтобы создать карту, результаты, полученные в виде растрового файла, нужно преобразовать в шейп-файл ESRI, в котором характеристики интенсивности изменений по уровню жизнеспособности деревьев будут представлены в атрибутивной таблице. Подобные файлы геопривязаны и могут быть легко наложены поверх спутникового снимка, или их можно использовать на любом GPS-устройстве в качестве фона. Позже при помощи этих продуктов можно будет находить районы для проведения полевых исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Научно-исследовательские работы в компании RapidEye проводятся при выполнении двух условий факторов: во-первых, должен существовать спрос у пользователей, и, во-вторых, должна существовать возможность получения прибыли.

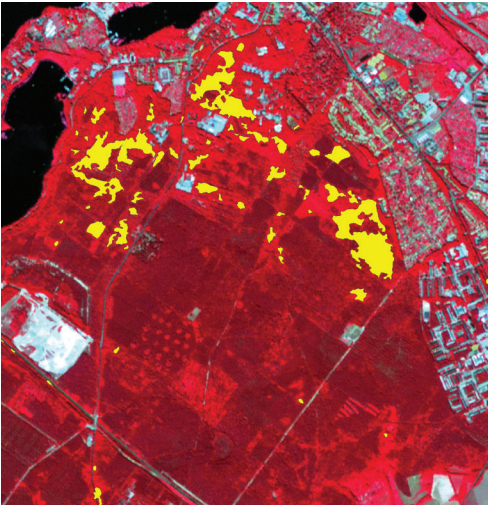


Рис. 5. Снимок RapidEye в ИК-диапазоне с наложенными поверх снимка данными, свидетельствующими об изменении границ полигонов

Необходимо, чтобы пользователи оценили полезность функций продукции с повышенными качественными характеристиками.

В вышеупомянутых случаях пользователи принимали участие в реализации проекта и делились своими экспертными знаниями для утверждения продукции, применяемой на демонстрационном полигоне. Всего для проекта использовались 144 контрольные точки. Некоторые контрольные точки являлись центральными точками векторных полигонов заражений, а большинство точек были выбраны случайным образом. На основе визуализации параметров, отражающих уровень заражения в этих точках, был определен набор справочных данных для сравнения с данными дистанционного зондирования.

Продукт P2 Forest Cover Map (классификация лиственных лесов) отражал данные с точностью в 92% по сравнению с полевыми показателями (133 полевые точки из 144 были правильно классифицированы).

Несмотря на довольно большую разницу во времени между проведением съемки и осуществлением замеров на полигонах, 74% проверенных точек на полигонах соответствуют данным продукта P4 «Forest

Vitality Change Map» (симптомы заражения: да/нет).

Следует учесть, что благодаря вторичному приросту многие деревья частично восстановились, и, следовательно, проводить подробную оценку ущерба, нанесенного жизнеспособности деревьев (небольшие повреждения, заметные повреждения, серьезный ущерб, дефолиация), практически невозможно.

В любом случае пользователей попросили подробно рассказать и оценить возможности использования этих сервисных продуктов. А именно удобно ли работать с продукцией (при оперативном мониторинге лесов, охране лесных массивов), возможно ли внедрить систему в текущие рабочие процессы, оценить экономическую выгоду при использовании продукции (преимущества, недостатки, воздействие и др.), а также описать другие параметры внедрения системы.

Лесники, которые принимали участие в проверке полевых данных, были удовлетворены полученными результатами. Для индивидуальной работы такие карты как Forest Vitality Map предоставляют необходимые данные для выявления критических районов. Используя этот продукт, можно направить силы на работу именно в пораженных районах и соответственно сэкономить время и ресурсы.

Научно-исследовательская группа компании RapidEye, несомненно, будет продолжать разрабатывать и тестировать методы получения информации, используя дистанционное зондирование, но уже для применения не только в сфере лесничества. Вся работа должна соответствовать требованиям рынка. Если есть потенциальная возможность успешно реализовать проект, то компания RapidEye будет рада начать сотрудничество с местными организациями и пользователями для разработки индивидуальной продукции. Как альтернативный вариант, партнеры могут быть обучены создавать информационные продукты, соответствующие их индивидуальным требованиям или требованиям их клиентов.

На примере этого исследования мы видим, что заказчики, поставщики данных и исследовательские группы могут работать сплоченно на благо всех участников, и что совместная работа позволяет получать выгоду каждому из участников.