

УДК 502:528.8

DOI 10.17513/use.38066

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРНО-КОЛЫВАНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА АЛТАЙСКОГО КРАЯ ПОЛИГРАФОМ УССУРИЙСКИМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Долгачева Л.Е., Ротанова И.Н.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул, e-mail: popova_work@bk.ru

В статье рассмотрены вопросы применения данных дистанционного зондирования Земли с целью мониторинга распространения вредителей и болезней леса. Актуальность исследования обусловлена масштабностью распространения лесов с неудовлетворительным экологическим состоянием вследствие воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды, в частности распространения повреждений древесных насаждений насекомыми-вредителями. Внедрение лесоохранных технологий, основанных на применении дистанционных методов, в их числе многозональной космической съемки, является перспективным в условиях цифровизации лесоэкологического мониторинга. Цель исследования – выявление лесных территорий, на которых происходит распространение полиграфа уссурийского. Для достижения цели применялась автоматизированная обработка данных космической съемки, полученной с использованием спутниковой системы Sentinel-2 и Канопус-В. Результатом проведенных исследований стали данные, полученные в рамках дистанционного мониторинга состояния лесного фонда Горно-Колыванского лесничества Алтайского края. На данной территории обнаружено большое количество очагов повреждений лесных насаждений, вызванных жуком-короедом. Научная новизна состоит в развитии методов и способов обработки многозональных космических снимков, в частности в применении метода объектно-ориентированной классификации по спектральным признакам для выявления поражения древесной растительности насекомыми-вредителями, а также в оценке площадей распространения полиграфа уссурийского в Горно-Колыванском лесничестве Алтайского края. В статье приводится описание методики дешифрирования космоснимков Sentinel-2 и Канопус-В с применением автоматизированных методов. Методика включает как автоматизированный, так и визуальный подходы к дешифрированию. Был применен метод объектно-ориентированной классификации с обучаемым классификатором. Получены результаты по повреждению жуком-короедом полиграфом уссурийским лесных насаждений в Горно-Колыванском лесничестве Алтайского края. Очаги насекомого-вредителя выявлены на площади около 5 000 га.

Ключевые слова: лесопатология, жук-короед, цифровизация, автоматизированное дешифрирование, мониторинг лесных вредителей

Исследование выполнено в рамках гранта РФФ № 22-27-20135.

ASSESSMENT OF DAMAGE TO FOREST PLANTATIONS OF THE GORNO-KOLYVAN FORESTRY OF THE ALTAI TERRITORY BY THE POLYGRAPHUS PROXIMUS BLANDFORD USING REMOTE SENSING DATA

Dolgacheva L.E., Rotanova I.N.

Altai State University, Barnaul, e-mail: popova_work@bk.ru

The article deals with the application of remote sensing data of the Earth in order to monitor the spread of pests and diseases of the forest. The relevance of the study is due to the scale of the spread of forests with unsatisfactory ecological condition due to the impact of adverse environmental factors, in particular, the spread of damage to tree plantations by insect pests. The introduction of forest protection technologies based on the use of remote methods, including multi-zone satellite imagery, is promising in the conditions of computerization of forest environmental monitoring. The purpose of the study is to identify forest areas where the Ussuri polygraph (*Polygraphus proximus*), is distributed. To achieve this goal, automated processing of space survey data obtained using the Sentinel-2 and Kanopus-B satellite systems was used. The results of the research were the data obtained within the framework of remote monitoring of the state of the forest fund of the Gorno-Kolyvan forestry of the Altai Territory. A large number of foci of damage to forest plantations caused by the action of the bark beetle were found in this territory. The scientific novelty consists in the development of methods and methods for processing multi-zone satellite images, in particular, in the application of the method of object-oriented classification by spectral characteristics to detect damage to woody vegetation by insect pests, as well as in the assessment of the distribution areas of the Ussuri polygraph in the Gorno-Kolyvan forestry of the Altai Territory. The article describes the methods of decoding Sentinel-2 and Kanopus-B satellite images using automated methods. The technique includes both automated and visual approaches to decryption. The method of object-oriented classification with a trainable classifier was applied. The method of object-oriented classification with a trainable classifier was applied. The results were obtained on damage by the bark beetle Ussuri polygraph to forest plantations in the Gorno-Kolyvan forestry of the Altai Territory. Focus of the insect pest have been identified on an area of about 5,000 hectares.

Keywords: forest pathology, bark beetle, digitalization, automated decryption, forest pest monitoring

The study was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-27-20135.

В современном мире одной из актуальных задач устойчивого развития лесного хозяйства является переход к многоцелевому лесопользованию, при котором будет обеспечиваться охрана, защита и воспроизводство лесов. К снижению продуктивности лесных экосистем приводит целый ряд экологически неблагоприятных факторов, среди которых: лесные пожары, насекомые-вредители, подъем уровня грунтовых вод, климатические аномалии, антропогенное вмешательство и т.д. Влияние этих факторов на лесные экосистемы с каждым годом становится все более масштабным и катастрофичным. Как следствие, появляется острая необходимость более детального подхода к изучению состояния таких экосистем, а также процессов, приводящих к их изменению [1]. Чтобы отследить динамику изменений лесных экосистем, организуются мероприятия по лесопатологическому мониторингу с целью получения оперативной информации о санитарном состоянии лесных насаждений. Получить такую информацию помогают современные методы исследований, среди которых дистанционное зондирование Земли.

Обязательной частью лесопатологического мониторинга являются наблюдения за распространением вредителей и болезней лесных насаждений. Однако вследствие труднодоступности многих лесных территорий не всегда возможно проводить мониторинг путем непосредственных выездов на местность. В таких случаях на помощь приходят дистанционные методы, в частности космическая съемка.

Распространение насекомых-вредителей может привести к значительному ущербу для лесных насаждений, поэтому важным становится получение оперативной информации об их санитарном состоянии. Дистанционное зондирование Земли позволяет получать необходимую информацию о состоянии лесов на больших территориях, что способствует выявлению очагов распространения насекомых-вредителей и принятию оперативных управленческих решений по контролю распространения очага. Современная космическая съемка имеет высокое пространственное разрешение, что позволяет получать оперативную и достоверную информацию о санитарном состоянии лесных насаждений [2].

Вспышки насекомых-вредителей на территории Алтайского региона (Алтайский край и Республика Алтай) фиксировались в разные временные периоды. Среди наи-

более сильных выделяются вспышки полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus*, 1894), коконопряда сибирского (*Dendrolimus superans*, 1877), пилильщика-ткача звездчатого (*Lyda nemoralis*, 1871), шелкопряда непарного (*Lymantria dispar*, 1758). Для территории Алтайского края особую опасность вызывает распространение полиграфа уссурийского, который ежегодно фиксируется на лесных территориях. Это обосновывает необходимость своевременного выявления очагов вредителей, а также организацию мониторинга их распространения.

В настоящее время мониторинг за санитарным состоянием лесных насаждений основывается на анализе состояния растительности без учета возможных последствий изменения через определенный период времени, тем самым не позволяя дать объективный прогноз санитарного состояния на будущее. На решение этой проблемы направлены данные дистанционного зондирования, в частности автоматизированные методы [3].

Цель исследования заключается в выявлении и оценке лесных ценозов, которые являются очагами обитания и распространения жука-короеда полиграфа уссурийского, с применением автоматизированной обработки данных космической съемки и объектно-ориентированного метода классификации.

Материалы и методы исследования

Полиграф уссурийский (*Polygraphus proximus*, 1894) относится к отряду жесткокрылые или жуки (*Coleoptera*), семейство короеды (*Ipididae*). Он имеет широкое распространение и чаще всего повреждает пихтовые насаждения. Обитает в толстой и переходной коре, но иногда встречается и на толстых ветвях. По стволу пораженного дерева располагаются многочисленные отверстия, что приводит к усыханию кроны. Весной с одного дерева вылетает порядка сорока тысяч особей, которые продолжают размножаться и повреждать соседние здоровые деревья. Полиграф уссурийский выводит два поколения в течение вегетационного периода. Молодые жуки и куколки встречаются в июне – первой половине июля, затем во второй половине августа – конце сентября. Вредители предпочитают деревья, после недавнего ветровала и бурелома, а также стоячие деревья с признаками усыхания. На территории Алтайского края полиграф уссурийский встречается на пихте сибирской [3].

Дешифрирование проводилось по многозональным космическим снимкам спутниковой системы Sentinel-2, имеющим среднее пространственное разрешение 15 м в пикселе. В первичную обработку снимков входила конвертация яркостных характеристик в показатели излучения на сенсоре и атмосферная коррекция. В качестве верификационных данных применялись снимки сверхвысокого разрешения российской спутниковой системы Канопус-В, а также материалы наземных наблюдений. Работы проводились в программной среде QuantumGIS 3.10.

Методика исследования санитарного состояния лесных насаждений состояла из следующих этапов:

- получение космической съемки территории, поврежденной вредителем;
- первичная обработка снимков, выявление границ поврежденных лесных насаждений посредством визуального дешифрирования;
- проведение автоматизированного дешифрирования, создание сигнатур обучающей выборки для классификации космоснимка;
- перевод полученного растрового изображения в векторный слой, редактирование вектора относительно цели выявления очагов полиграфа уссурийского;
- сверка полученных участков с материалами лесоустройства, верификация результатов дешифрирования;
- редактирование табличных данных полученного shp-файла, подсчет поврежденных площадей, подготовка файла к выгрузке в геоинформационную систему.

Для автоматизированного распознавания поврежденных насаждений был применен метод объектно-ориентированной классификации, т.е. отнесения поверхности к одному из заранее заданных классов с обучаемым классификатором [4]. Первый этап объектно-ориентированной классификации включал в себя кластеризацию точек изображения, относительно их спектральных особенностей, а также взаиморасположения. Далее полученные участки дешифрировались с помощью классификации с обучением.

Космический снимок был разделен на 11 классов, включающих порядка 30 полигонов обучающей выборки. Такое количество полигонов обучающей выборки является оптимальным для получения достоверных результатов.

Для выявления лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоя-

нием было выделено 11 классов: 1) облака; 2) тени от облаков; 3) сельскохозяйственные поля (открытый грунт); 4) водные объекты; 5) техногенные объекты; 6) хвойный лес; 7) лиственный лес; 8) смешанный лес; 9) скальные выходы; 10) поврежденные породы; 11) иные, не покрытые лесом земли.

Полученное растровое изображение было подвергнуто постклассификационной обработке (уменьшение шумов изображения, сглаживание границ классов и т.п.), а затем векторизации. В результате векторизации классифицированного изображения получен векторный слой участков леса с неудовлетворительным санитарным состоянием.

Модельным участком послужила территория Горно-Колыванского лесничества Алтайского края, где площади повреждения полиграфом уссурийским подтверждаются данными наземной верификации уже на протяжении многих лет. Горно-Колыванское лесничество занимает площадь более 190000 га и расположено в юго-восточной части Алтайского края на территории Курьинского, Змеиногорского, Третьяковского, Краснощековского муниципальных районов [3].

Результаты исследования и их обсуждение

В Алтайском крае и Республике Алтай более всего жук-короед распространен в основном на пихте сибирской, однако встречается и на сосне, ели и кедре. На территории Алтайского края очаги полиграфа уссурийского вспыхивают ежегодно, и поэтому выявлять очаги и прогнозировать их распространение необходимо в оперативном порядке [5].

Было выполнено дешифрирование лесных массивов, произрастающих в Горно-Колыванском лесничестве Алтайского края. На снимках среднего и высокого пространственного разрешения каналов ближнего и среднего инфракрасных диапазонов отчетливо дешифрируются поврежденные лесные насаждения. Ближний инфракрасный канал достаточно информативен при оценке санитарного состояния лесных насаждений в летний период, поскольку коэффициент отражения крон деревьев достаточно высок. В синтезе каналов SWIR-NIR-RED здоровая растительность отражена в оттенках зеленого [6]. В зависимости от породы оттенки зеленого изменяются от темных (хвойные насаждения) до светлых (лиственные насаждения) (рис. 1, а, б).

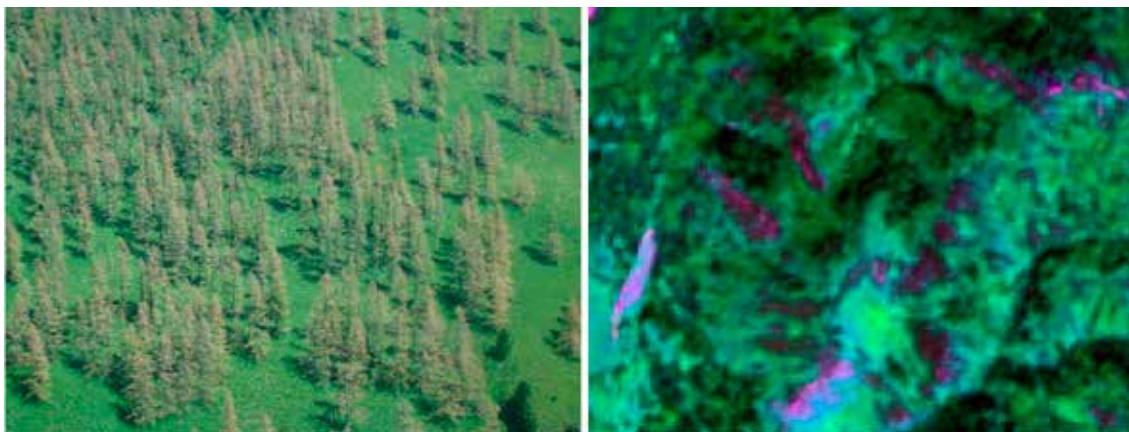


Рис. 1. а) побурение крон пихты лесных насаждений Горно-Колыванского лесничества (фото автора); б) космический снимок

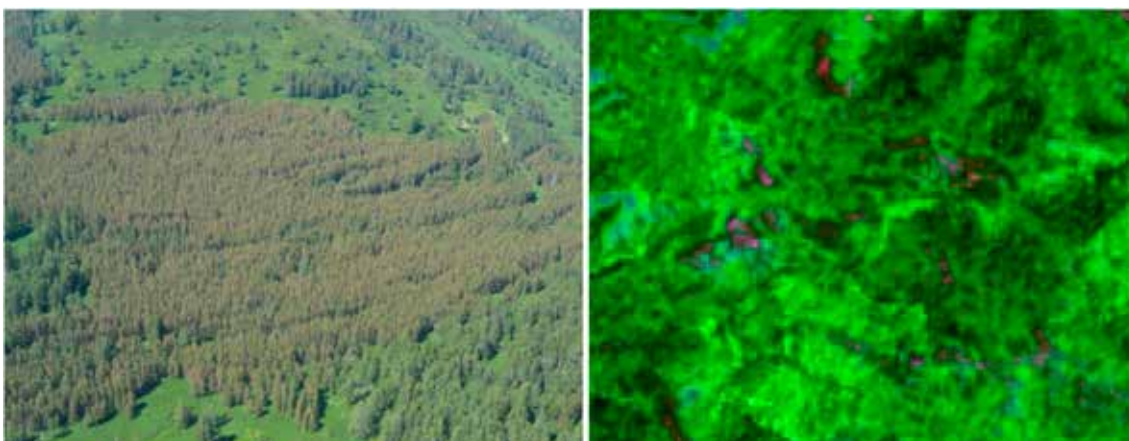


Рис. 2. а) усыхание ветвей в кронах (фото автора); б) усыхание сосны (космический снимок)

Основными повреждаемыми породами являются сосна и пихта. Сосновые насаждения имеют более высокую яркость в видимых частях спектра, а также в среднем инфракрасном диапазоне. Следует отметить, что у насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием отмечается увеличение яркости в среднем инфракрасном канале, однако в ближнем инфракрасном канале, наоборот, происходит снижение яркости. Таким образом, анализ изменения яркости в инфракрасном диапазоне позволяет определить степень повреждения лесных насаждений.

Кроме того, лесные насаждения с неудовлетворительным санитарным состоянием имеют мелкопятнистую структуру, отличающуюся сложностью рисунка. Группы погибших насаждений имеют мелкоконтурную мозаичную текстуру и отличаются высокой спектральной яркостью в среднем

инфракрасном диапазоне и видимой части спектра. Следовательно, наиболее информативной комбинацией каналов является синтез коротковолнового инфракрасного (SWIR), ближнего инфракрасного (NIR) и красного (RED) каналов. В такой комбинации поврежденные лесные насаждения имеют красноватый оттенок на общем зеленом фоне древесной растительности (рис. 2, а, б).

Для классификации с обучением был использован метод минимальной дистанции, суть которого заключается в отнесении пиксела к тому эталонному классу, евклидово расстояние до центра которого в пространстве признаков минимально. Для вычисления средних значений яркости, характеризующих каждый класс, была использована обучающая выборка. Для каждого пиксела были вычислены расстояния до центров (средних значений яркости) классов, затем присвоено название класса, расстояние

до которого минимально. Данный метод позволяет представить результаты классификации наилучшим образом, поскольку позволяет учитывать полигоны обучающей выборки, состоящие из небольшого количества пикселей. В синтезе каналов SWIR-NIR-RED насаждения с неудовлетворительным санитарным состоянием отражаются в оттенках красного (рис. 3).

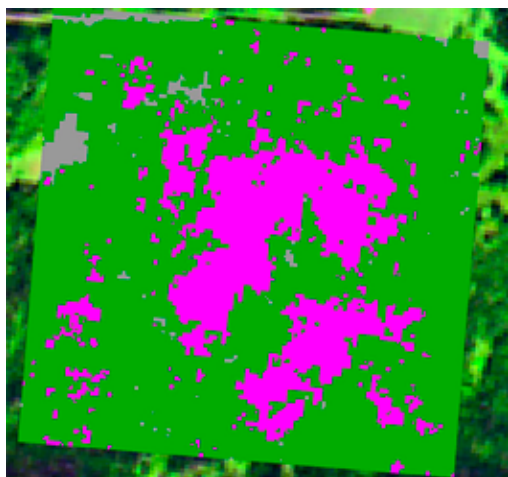


Рис. 3. Фрагмент классификации по методу минимальной дистанции (до уменьшения шумов на изображении)

Метод объектно-ориентированной классификации позволяет получить достоверные результаты, поскольку учитывает отдельные связи между объектами, анализ которых поможет в решении задач лесопатологического мониторинга за санитарным состоянием лесных насаждений (рис. 4).

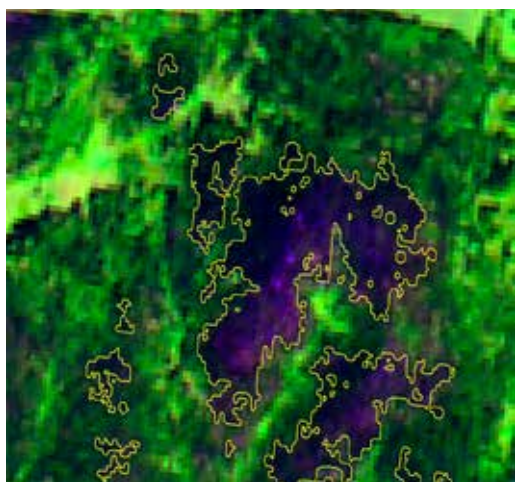


Рис. 4. Фрагмент участков с поврежденной растительностью, полученных в результате классификации (углы сглажены)

На территории Горно-Колыванского лесничества участки лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием распространены по всей территории. Они характеризуются различной величиной и искаженной формой провалов в проекции полога древостоев. В совокупности автоматизированное дешифрирование и данные наземной верификации позволили выделить очаг полиграфа уссурийского на общей площади порядка 5 тыс. га.

Заключение

В Алтайском регионе ежегодно фиксируются большие площади усыхания лесных насаждений вследствие повреждения насекомыми-вредителями, среди которых значимое место занимает жук-короед полиграф уссурийский. Многие участки Горно-Колыванского лесничества Алтайского края являются труднодоступными для наземных наблюдений, поэтому применение дистанционных методов для таких территорий особенно актуально.

Мониторинг распространения лесных насаждений с неудовлетворительным санитарным состоянием является актуальной задачей лесопатологических исследований. Расширение спектра современных методов и технологий делает доступным оперативное отслеживание изменений состояния лесных насаждений посредством применения данных дистанционного зондирования Земли.

Для оперативного выявления очагов и прогнозирования их распространения в структуру мониторинга входит дистанционное зондирование на основе многозональной космической съемки. Для обработки полученных данных использованы автоматизированные методы дешифрирования. Технология включала как уже разработанные, относительно унифицированные и апробированные способы, так и целевые подходы, отражающие специфику обстановки. Для релевантности полученных данных привлекались аналитические и статистические данные по выявлению вредителей в пределах Горно-Колыванского лесничества.

Проведенное исследование может быть использовано для дальнейшего мониторинга лесопатологической ситуации на территории лесничества, так и применимо к другим территориям, подверженным влиянию насекомых-вредителей. Полученные результаты могут быть использованы для принятия управленческих решений и разработки мероприятий по борьбе с по-

вреждениями насекомыми – вредителями лесных насаждений.

Список литературы

1. Никитина Ю.В. Разработка и исследование технологии мониторинга динамики лесных экосистем по материалам дистанционного зондирования: дис ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2007. 193 с.
2. Долгачева Л.Е., Ротанова И.Н. Анализ повреждений лесов Алтайского края насекомыми-вредителями с применением данных ДЗЗ // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. Производство и образование: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2021 г.). СПб.: Политехника, 2022. С. 309–316.
3. Долгачева Л.Е., Ротанова И.Н. Использование данных дистанционного зондирования для выявления затопленных участков ленточных боров // Acta Biologica Sibirica. 2019. Т. 5, № 4. С. 83–88.
4. Гурченков А.А., Мурынин А.Б., Трекин А.Н., Игнатьев В.Ю. Метод объектно-ориентированной классификации объектов подстилающей поверхности в задаче аэрокосмического мониторинга состояния импактных районов Арктики // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. № 3. С. 135–146.
5. Тараскин Е.Г. Роль и современное состояние уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* blend) в лесах Кемеровской области // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 6. С. 102–105.
6. Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учебное пособие. Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchukperminova-tematicheskoe-deshifrovanie-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf> (дата обращения: 12.07.2023).