

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт медицины, экологии и физической культуры  
Экологический факультет  
Кафедра лесного хозяйства

## КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

«Мониторинг лесных пожаров и лесозащитных работ»

на тему:

### «Применение космических снимков с целью оценки степени повреждения лесов»

Студент,  
Кечаев А.А.  
1 курс, направление подготовки  
35.04.01 Лесное дело  
(уровень магистратуры)

А.А. Кечаев 1.06.17  
(подпись, дата)

хорошо  
(оценка)

Научный руководитель,  
к.б.н., доцент Митрофанова Н.А.

Н.А. Митрофанова 3.06.17  
(подпись, дата)

Ульяновск, 2017

## Оглавление

Введение .....	3
1. Современные спутниковые системы, используемые для мониторинга лесов.....	4
2. Особенности дешифрирования космических снимков .....	10
3. Особенности дешифрирования повреждений лесов .....	17
Выводы .....	25
Список использованных источников .....	28

## **Введение.**

Данные дистанционного зондирования с искусственных спутников Земли находят свое применение в изучение лесов России с 70-х годов прошлого века. Космические снимки используются для обнаружения и оценки последствий пожаров, контроля вырубок, выявления промышленных загрязнений, мониторинга массового размножения насекомых-вредителей и решения многих других хозяйственных и экологических задач. Однако эффективное использование спутниковых изображений невозможно без соответствующих методов и алгоритмов их обработки.

По мере развития спутниковых систем, когда на смену фотографическим приборам дистанционного зондирования пришли многоспектральные сканеры, значительно расширились свойства принимаемой информации. Современные спутниковые системы получают снимки с высокой оперативностью, ежедневной периодичностью и регулярным потоком данных, что открывает новые возможности для усовершенствования существующих методов и алгоритмов обработки космических снимков.

**Цель курсовой работы:** провести анализ применения космических снимков с целью оценки степени повреждения лесов.

### **Задачи:**

1. Изучить действующие современные спутниковые системы, используемые для дистанционного мониторинга лесов;
2. Выявить преимущества дистанционной индикации лесных повреждений.
3. Провести анализ информативности материалов аэрокосмических съемок различного спектрального и пространственного разрешения.
4. Оценить применение космических снимков для выявления очагов массового размножения вредителей.

## **1. Современные спутниковые системы, используемые для мониторинга лесов.**

Для мониторинга лесных насаждений в настоящее время используются следующие спутниковые системы:

1. Спутники Terra с установленными спектрорадиометрами MODIS;
2. Спутники LANDSAT TM/ETM+;
3. Спутники NOAA/AVHRR.

Каждая спутниковая система хороша для различных целей. LANDSAT успешно применяется для выявления и контроля лесных пожаров, для выявления воздействия на лесные насаждения шквалистых ветров. NOAA и Terra имеют большое значение в выявлении очагов вредных организмов [11, с. 255-264].

Объективная и своевременная информация о последствиях пожаров необходима для решения широкого класса прикладных задач лесного хозяйства, включая планирование охраны и защиты лесов, лесопользование и лесовосстановление, актуализацию данных о лесных ресурсах [18, с. 28]. Данные о степени повреждения лесов пожарами являются неотъемлемой составляющей информационного обеспечения оценок объемов прямых и вторичных пирогенных эмиссий углекислого и других тепличных газов в атмосферу, выполняемых в рамках обязательств стран по условиям Киотского протокола, а также научных исследований по проблемам глобальных изменений климата и биосферы [23, р. 72-88].

Традиционно оценка последствий лесных пожаров выполняется выборочно методами наземного лесопатологического обследования на основе визуальной оценки дефолиации или дехромации крон репрезентативной совокупности отдельных деревьев на пробных площадках с последующим определением интегральных характеристик состояния поврежденных насаждений [3, с. 23-29]. Очевидно, что использование такого

рода методов сопряжено с существенными финансовыми и трудовыми затратами, а их регулярное применение в масштабах страны едва ли экономически оправданно и практически реализуемо. В последние годы в отечественной практике организации и проведения лесопатологических обследований все большее применение находят спутниковые изображения, позволяющие существенно повысить полноту выявления и точность определения площади усыхающих насаждений, а также более эффективно организовать наземную оценку количественных характеристик их состояния [11, 9, 1].

Возможность использования спутниковых данных для оценки степени повреждения лесов пожарами отмечалась многими исследователями. Результаты исследований, в частности, продемонстрировали наличие корреляции между показателями степени повреждения и значениями коэффициента отражения в среднем инфракрасном канале [1, 5, 9, 16, 22, 24, 28, 29, 30], нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI и ряда других вегетационных индексов [6], получаемых на основе спутниковых изображений. Была отмечена также целесообразность комбинированного использования разновременных спутниковых данных, полученных до и после пожара [3, 23]. При этом большинство исследований до настоящего времени носило локальный характер, выполняясь на небольших территориях, часто ограниченных отдельными пожарами.

Разработанные к настоящему времени автоматические технологии спутникового мониторинга обеспечивают фактически непрерывное выявление и оценку площади повреждений лесов России пожарами на основе комплексного использования данных MODIS и Landsat-TM/ETM+ [11, с. 255-264].

Применение спутниковых систем стало возможным благодаря использованию аппаратов улавливающих световые лучи различных спектров. В том числе инфрокрасных [4, 12, 13, 16, 27, 33, 34].

В задачу лесопатологического дешифрирования аэрокосмических снимков входит диагностика. Исследование поврежденных лесов с помощью фотографических систем стало возможным благодаря внедрению в практику спектрзональных пленок и новых дистанционных методов изучения земных ресурсов (в том числе и из космоса) [11, 35].

Важным преимуществом фотографирования в инфракрасных лучах является высокая проникаемость инфракрасного излучения через атмосферу по сравнению с видимым светом. Для чистой атмосферы дальность фотографирования в инфракрасной области в 4-8 раз больше визуальной, даже для задымленной атмосферы, содержащей частицы размером 0,01-0,1 мкм в концентрации, определяющей дальность визуальной видимости в 10 км, инфракрасное фотографирование увеличивает этот предел в 1,5 раза [7, 8, 26].

Фотографирование в инфракрасных лучах имеет перед съемкой в видимых лучах следующие преимущества [2, с. 842-849]:

- Возможность фотографирования удаленных объектов в условиях замутненной атмосферы (при воздушной дымке, слабом тумане, неплотных дымовых завесах и т.д.).
- Возможность выявления различий в отражательной способности объектов, у которых такие различия при обычном фотографировании выявить нельзя.
- Возможность фотографирования в полной темноте при инфракрасных источниках облучения.

Приемы инфракрасной фотографии, основанные на использовании негативных фотографических слоев (пластинок или пленок), почти ничем не отличаются от приемов фотографирования в видимых лучах, однако сам процесс съемки различен:

- При фотографировании в инфракрасных лучах, как правило, используются светофильтры, поглощающие коротковолновые

видимые лучи и пропускающие только инфракрасные лучи фотографического диапазона.

- Негативные материалы, используемые в инфракрасной фотографии, обладают меньшей чувствительностью, чем обычные, что требует удлинения выдержки при съемке.
- Стабильность негативных фотоматериалов для инфракрасной фотографии значительно ниже, чем обычных, что создает дополнительные трудности при хранении.

Особенности отражения инфракрасного излучения листьями (хвоей) при повреждении насекомыми и болезнями обуславливают широкое применение инфракрасной фотографии в лесоводстве и сельском хозяйстве.

Используемые в инфракрасной фотографии эмульсии чувствительны к ультрафиолетовому, фиолетовому, синему, а также инфракрасному излучениям. Поэтому необходимо принять меры, чтобы ограничить экспозицию только инфракрасной областью. Для этого используются фильтры, помещенные на объективе фотоаппарата [10, с. 22-31].

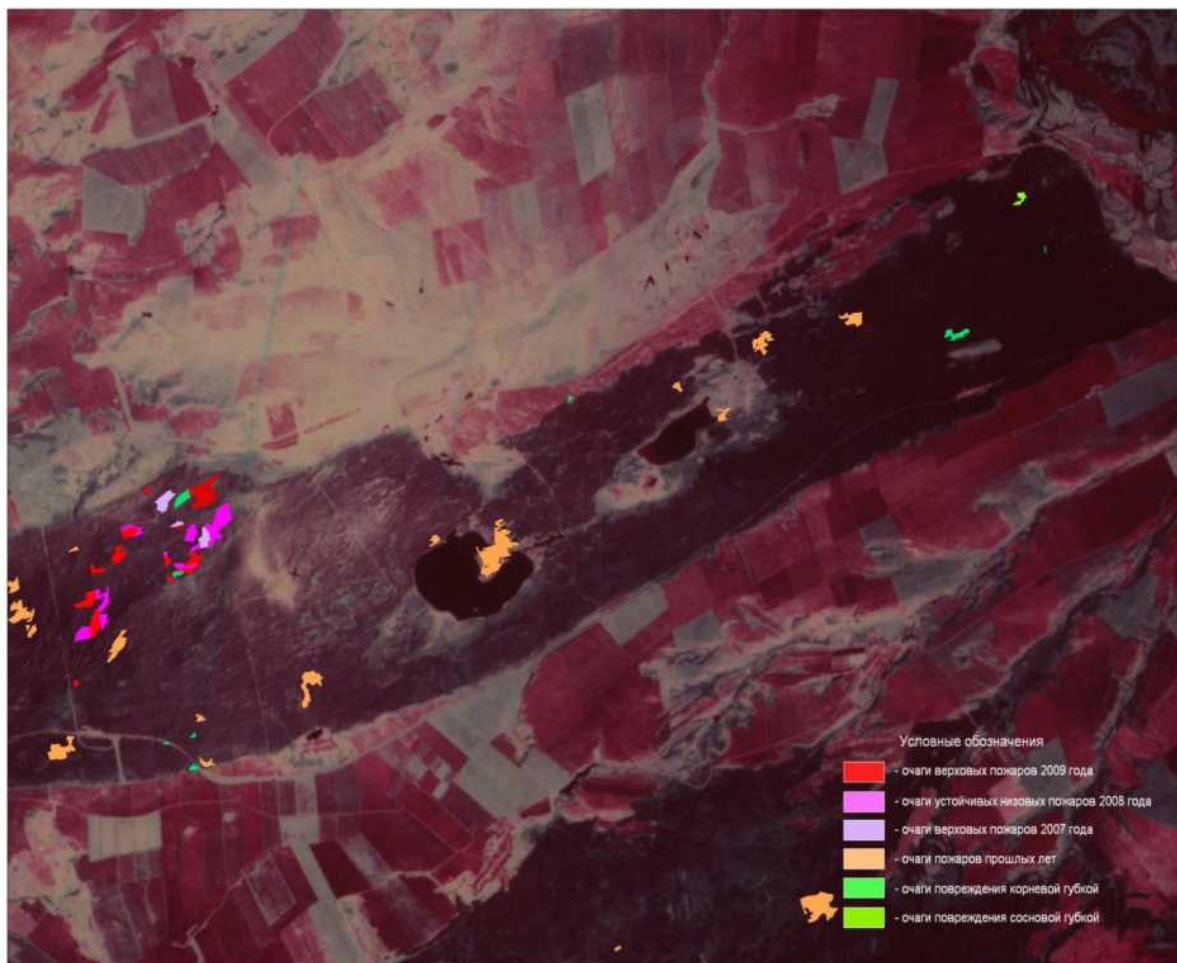


Рис. 1. Фрагмент космического снимка с очагами негативных (вредных) воздействий

Раскаленная поверхность горячей древесины (1400-1500К) и угли, имеющие различную температуру, - это источники с непрерывным распределением энергии излучения по спектру, т.е. по длинам волн. Пламя же пожара на землях лесного фонда имеет весьма сложный источник излучения, имеющий полосовую структуру распределения энергии по длинам волн. Излучаемая пламенем энергия приходится главным образом на длины волн, соответствующие полосам поглощения веществ, содержащихся в пламени. Продукты, выделяемые при сгорании древесины (в основном это водяные пары и углекислый газ), имеют в ближней инфракрасной (ИК) зоне спектра несколько характерных полос поглощения с центрами на длинах волн порядка 1,3; 1,87; 2,7; 3,6; 6,3 мкм для воды и 2,7; 4,3 мкм для углекислого газа.



Интенсивность каждой спектральной полосы меняется в зависимости от температуры пламени. Кроме того внутри пламени имеются несгоревшие частицы, дающие в дополнение к полосовой структуре непрерывную составляющую излучения как в видимой, так и в ИК-зонах спектра. Суммарный полосовой состав излучения пламени весьма сложен и непрерывно изменяется во времени, поскольку из-за турбулентности среды в зоне горения наблюдаются различные ее участки [1, 23, 35].

Аэрокосмический мониторинг позволяет получать наиболее свежую информацию, что особенно важно для проведения ситуационного анализа в целях выработки оптимального решения. Эти данные служат основой для создания актуальных топографических и тематических карт, и, в действительности, являются первичным источником всей современной картографической информации. Более того, современные технологии аэрокосмического мониторинга, дистанционного зондирования и компьютерной обработки ДДЗ существенно превосходят возможности традиционных бумажных карт - как в отношении содержания, так и в отношении разнообразия методов визуализации. По оценкам экспертов, в ближайшем будущем ДДЗ станут основным источником информации для ГИС, в то время как традиционные карты будут использоваться только на начальном этапе в качестве источника статичной информации (рельеф, гидрография, основные дороги, населенные пункты, административное деление). Можно также добавить, что практически весь компьютерный географический анализ выполняется с представлением данных в растровой форме, которая свойственна ДДЗ [1, 11, 14, 15].

Развитие космических средств дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС) позволило разработать принципиально новые методы оценки состояния лесов. Важной задачей при оценке эколого-экономического ущерба, нанесенного лесному хозяйству в результате лесных пожаров, является определение площади поврежденных древостоев, а так же степени повреждения.

## 2. Особенности дешифрирования космических снимков

Дистанционная оценка лесопатологического состояния лесов - наименее разработанный раздел лесного дешифрирования. Это связано с неустойчивым проявлением и диагностикой на материалах аэрокосмических съемок признаков дешифрирования деревьев и насаждений различной степени ослабления и усыхания.

Лесным дешифрированием материалов аэрокосмических съемок называется процесс опознавания изображенных на них лесных объектов и установления их количественных и качественных характеристик.

Лесное дешифрирование может быть визуальным (глазомерным, аналитическим), измерительным, автоматическим (машинным), а также комплексным -аналитико-измерительным или автоматизированным (интерактивным, человекомашинным) [19, 20, 21].

При визуальном дешифрировании изучаемый объект характеризуют на основе признаков дешифрирования его изображения на аэрофото- или космическом снимке (на бумажном носителе или экране компьютера) невооруженным глазом или с помощью увеличительных или стереоскопических приборов. Иными словами, информация с аэрокосмического изображения считывается и анализируется с помощью зрительного и логического аппаратов дешифровщика. Поэтому этот вид дешифрирования называется также аналитическим, и его успешность зависит от степени подготовленности и опыта дешифровщиков [25, р. 208-216].

При измерительном дешифрировании все или некоторые параметры и характеристики дешифрируемых объектов измеряют на снимках с помощью механических, оптико-механических, оптико-электронных и других измерительных инструментов, приборов, устройств и систем [25, р. 208-216]. При аналитико-измерительном дешифрировании сочетается визуально-логический анализ изображения с измерением различных параметров дешифрируемых объектов.

Автоматическое дешифрирование основано на распознавании по спектральным и морфометрическим характеристикам дешифрируемых объектов их количественных и качественных показателей [32, p. 153-163]. В этом случае процесс дешифрирования выполняется с помощью технических средств обработки изображений. Роль человека состоит в создании системы, определении конкретной задачи и обработки съемочной информации с помощью соответствующих программ, а также поддержании нормального функционирования системы.

Автоматизированное (интерактивное, человекомашинное) дешифрирование сочетает в себе элементы аналитико-измерительного, выполняемого дешифровщиком-оператором по изображению на экране компьютера, с автоматическим дешифрированием. В этом случае съемочную информацию анализируют и обрабатывают с помощью технических средств обработки изображений при активном участии оператора-дешифровщика.

В зависимости от места проведения дешифрирование может быть полевым, камеральным (лабораторным), аэровизуальным или комбинированным [17, 19].

Полевое дешифрирование проводят непосредственно на местности путем сопоставления изображения на аэро- или космических снимках с натурой. Метод полевого дешифрирования является наиболее простым и точным, но требует больших затрат времени и труда. Камеральное дешифрирование проводят в лабораторных условиях, при этом сокращаются затраты труда инженерно-технического персонала и рабочих, происходит ускорение работ и значительное снижение их стоимости. Камеральное дешифрирование всегда выполняют с привлечением дополнительных картографических, нормативно-справочных и других фондовых материалов. Аэровизуальное дешифрирование проводят путем сопоставления изображений распознаваемых объектов на аэро- или космических снимках с местностью при полетах на самолетах или вертолетах.

Анализ информативности съемочных материалов показывает, что их практическое применение возможно, как правило, на основе рационального сочетания методов наземных и дистанционных наблюдений [31, р. 309-324].

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.

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. 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 [23, 35].

При различных видах лесного дешифрирования требуется знать, какие минимальные объекты могут быть обнаружены и опознаны на материалах съемок того или иного масштаба. Сгруппировав ранее перечисленные типы лесных повреждений на основе размеров структурных деталей, можно провести выбор вида и масштаба материалов дистанционных съемок, обеспечивающих распознавание наиболее характерных объектов лесопатологического дешифрирования [17, 23].

Для обнаружения незначительных лесных повреждений, а также определения числа ослабленных деревьев по аэрофотоснимкам приходится пользоваться сверхкрупномасштабными материалами аэрофотосъемки (масштаб 1:1000 и крупнее), на которых опознаются повреждения части крон

или отдельных ветвей в кронах деревьев. При значительном повреждении крон деревьев (до 2/3 и более) масштаб используемых крупномасштабных аэрофотоснимков уменьшается до 1:5000... 1:7000. Пространственно выраженные участки поврежденного леса или погибшие насаждения позволяют использовать среднемасштабные аэрофотоснимки (1:10 000... 1:15 000), а также конверсионные космические снимки (КС) высокого разрешения (1...2 м) и увеличенные космические снимки с разрешением 10...40 м [17, 19, 23].

Системы признаков дешифрирования разрабатываются, как правило, применительно к конкретным лесным объектам и материалам съемки, дешифровочные возможности которых зависят от сезона проведения съемочных работ, погодных условий, типа фотопленки, фотобумаги и процесса их фотохимической обработки. В зависимости от этих условий лесопатологические объекты отображаются на материалах съемки по-разному. На современном этапе все большее распространение получает автоматизированный способ дешифрирования, при котором не исключается экспертная тематическая интерпретация результатов, полученных при автоматической классификации материалов съемок. В связи с этим профессиональная подготовка экспертов остается актуальной задачей. В течение какого-то времени будет сохраняться необходимость подготовки лесопатологов-дешифровщиков на основе глубокого изучения изобразительных свойств материалов съемок, а также разработки дешифровочных признаков лесопатологических объектов, составленных в описательной форме.

Эти признаки специально разработаны для спектрзональных аэрофотоснимков (СН-6М) масштаба 1:10 000... 1:12 000.

В качестве признаков использован цвет и процентное участие поврежденных деревьев в пологе древостоев, разнообразие размеров крон деревьев, возможность стереоскопического наблюдения полога в глубину, особенности рисунка падающих теней. Признаки, определяющие характер

границ лесных выделов, позволяют уточнять их конфигурацию за счет выделения поврежденных и погибших участков древостоев [17, с. 256-259].

Последовательность дешифрирования материалов съемок. Процесс дешифрирования материалов съемок включает следующие этапы: привязку, обнаружение объектов, их опознание, интерпретацию и экстраполяцию [19, с. 177-178].

Привязка снимков заключается в определении пространственного (географического) положения территории, изображенной на снимках, и осуществляется при помощи географических, топографических или лесных тематических карт. Ориентирами и опорными точками для привязки служат места взаимного пересечения элементов гидрографической сети, дорог, трасс коммуникаций, просек, а также населенные пункты и другие, надежно опознаваемые объекты. *Обнаружение объектов* - выделение различных рисунков изображения, характерных для дешифрируемых объектов или их групп. Опознавание объектов, или их идентификация, включает анализ комплекса прямых признаков дешифрирования тона (цвета), формы, рисунка (структуры, текстуры), размеров изображения и элементов рисунка, определяющих физиономичность изображенных объектов, а также косвенных признаков, указывающих на сопряженность распознаваемых объектов с другими объектами или природными и антропогенными особенностями. *Интерпретация* заключается в определении характеристик дешифрируемых объектов по прямым и косвенным признакам в зависимости от тематической направленности дешифрирования. *Экстраполяция* - включает идентификацию аналогичных объектов на всей территории, изображенной на одном снимке или нескольких снимках, полученных при одних и тех же атмосферно-оптических условиях съемки,

При лесопатологическом дешифрировании иногда с трудом можно различить здоровые и ослабленные деревья или насаждения, а также отличить сильно ослабленные от ослабленных и усыхающих деревьев или насаждений. Поэтому при интерпретации может быть предложена схема,

когда первоначально привлекается заведомо избыточное число признаков, из которых затем отбирают наиболее информативные. Анализируют не только традиционные прямые признаки, характеризующие особенности структуры изображений, но и дополнительные (ландшафтно-климатические, топографические и другие параметры), которые могут повысить результативность дешифрирования материалов съемок. При этом часто возникает задача совместного анализа разнотипных количественных, качественных и классификационных признаков. Таким образом, процедура классификации, ранжирования и отбора признаков дешифрирования состоит из нескольких этапов [23, р. 72-88].

На первом этапе выявление информативных признаков дешифрирования проводится на основе анализа коэффициентов корреляции между признаками. Отдельные из признаков с высокими значениями парной корреляции на основе экспертной оценки лесопатологов могут быть исключены из списка информативных признаков как дублирующие друг друга. На следующем этапе предусматривается ранжирование признаков по привносимой ими доли вероятности в распознавание категорий состояния деревьев или насаждений. На заключительном этапе происходит определение оптимального набора признаков, которые обеспечивают заданную точность выделения информационных классов. В задачу экспертов обычно входит оптимизация числа классов, распознаваемых с приемлемой для практики точностью изображения, целостности и густоты кроны.

Например, при дешифрировании аэрофотоснимков СН-15 (масштаб 1:4000... 1:5000) Байкальского заповедника процедура распознавания категорий состояния более 260 хвойных деревьев (пихты, ели и кедра) была проведена<sup>1</sup> в три этапа (рис. 21). На первом этапе здоровые (I), ослабленные (II), сильно ослабленные (III) и усыхающие (IV) деревья, кроме деревьев текущего (V) и старого (VI) сухостоя, распознавались с невысокой точностью. Для их распознавания использовался набор из девяти признаков дешифрирования (цвет, форма проекций кроны, густота кроны, целостность

крон и др.). Правильность определения классов состояния значительно возросла за счет повышения вероятности распознавания объединенной группы, в которую вошли здоровые и ослабленные деревья (79.5 %). Сильно ослабленные и усыхающие деревья (III и IV категории состояния), образовавшие второй класс состояния, по-прежнему распознавались неуверенно (48.7 %). Дальнейшее объединение деревьев проведено таким образом, что в первый класс состояния вошли сырорастущие деревья I—III категорий состояния, а во второй - деревья погибшей части древостоя, т.е. IV-VI категорий состояния.



### **3. Особенности дешифрирования поврежденных лесов**

Ежегодно значительная часть лесов России подвергается воздействию ослабляющих факторов: пожаров, сильных ветров, засухи, повреждению вредителями и болезнями. ФГУ «Российский центр защиты леса» занимается мониторингом состояния лесов. Для этого заложена большая сеть постоянных пробных площадей, проводится подробная наземная оценка состояния лесов более чем на 1 млн га ежегодно. Однако этого недостаточно для того чтобы контролировать состояние всех повреждаемых лесов. В дополнение к точным наземным методам, необходим эффективный инструмент для обнаружения и оценки площади поврежденных лесных участков на большой площади.

В России проведены большие исследования по использованию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для определения состояния лесов. Первое изучение по черно-белым аэрофотоснимкам масштаба 1:8000 – 1:10 000 сухостойных насаждений и определения их степени усыхания в 1926 г. проводил Г.Г. Самойлович. Особенности лесопатологического дешифрирования аэрокосмических снимков изучали также С.В. Белов, А.А.Кирильцева, А.С. Исаев, Ю.А. Прокудин, В.Я. Ряполов, В.В. Киселев, Ю.П. Кондаков, П.А. Кропов, В.М. Жиринов, СЕ. Ямбург, Л.А. Берснева и другие исследователи [1, с. 23-29].

В производственных масштабах применялось аэровизуальное обследование, аэрофотосъемка с целью определения состояния ограничивалась, в основном, опытными работами. При дешифрировании аэрофотосъемки достигалась высокая точность определения отпада, степени дефолиации, соответствующие нормы вошли в отраслевые руководства и инструкции. Однако применение аэрофотосъемки ограничивает высокая стоимость и низкая оперативность работ, сложное получение разрешительных документов. К моменту получения аэрофотосъемки информация на снимках часто уже не соответствует актуальному состоянию лесов. Космическая съемка в большинстве случаев дает более низкую

точность определения состояния, однако более оперативна, дешевле (данные некоторых сенсоров бесплатны). На сегодняшний момент мы имеем на большую часть территории России ежегодное многократное покрытие данными различного разрешения.

В тоже время большую проблему представляет получение безоблачных данных. Из-за недостатка данных часто приходится использовать для разных частей объекта данные различных сенсоров, имеющие разные особенности отображения дешифрируемых объектов.

Наиболее успешней пример применения спутниковых данных в лесном мониторинге — системы мониторинга лесных пожаров. В России функционирует несколько таких систем, наиболее развита ИСДМ (Информационная система дистанционного мониторинга), разработанная ИКИ РАН по заказу Рослесхоза [11, с. 255-264]. Она построена на использовании снимков AVHRR и MODIS. Так же в рамках системы были запущены Российские спутниковые аппараты серий «Метеор-М» (с января 2021 года) и «Ресурс-П» (с февраля 2015 года). Данные аппараты используются в основном для отслеживания лесных пожаров. В развитие принципов системы ИСДМ был создан Блок Лесопатологического Мониторинга (БЛПМ). Его алгоритм обработки снимков MODIS хорошо показал себя на детектировании крупных очагов сибирского шелкопряда. Однако практика использования модуля показала, что разрешения MODIS недостаточно, чтобы надежно детектировать и идентифицировать большинство патологических нарушений в лесах. Для детектирования нарушений, которые проявляются как мозаика мелких пораженных участков, а также нарушений в сильно фрагментированных лесах необходимы снимки более высокого разрешения.

С 2008 г. ФГУ «Рослесозащита» ведется мониторинг территорий с наиболее напряженной лесопатологической ситуацией по снимкам Landsat TM/ETM+ с частичным привлечением снимков RapidEye, ALOS/AVNIR-2.

Главными объектами дистанционного мониторинга в 2007–2011 гг. являлись ветровалы года в европейской части России, очаги непарного шелкопряда в Краснодарском крае и очаги стволовых вредителей в Московской области.

Визуальное дешифрирование обеспечивает более быстрые результаты и требует меньше наземных эталонов, чем любой из алгоритмов автоматического выявления изменений. Однако достаточно сложна проблема пропуска участков, особенно мелких, нестабильность результатов дешифрирования разными людьми. Автоматическое дешифрирование требует больших затрат на подбор необходимого алгоритма и его параметров, достаточно большой обучающей выборки и трудоемкой верификации результатов, однако в перспективе обладает более высокой производительностью и стабильностью результатов. Целесообразность применения визуального или автоматического дешифрирования зависит от ситуации.

При автоматизированном выявлении поврежденных участков применяются различные методы компьютерной классификации изображений. Для одиночных снимков в основном используются алгоритмы классификации с применением эталонов, например, по методу максимального правдоподобия [3, с. 62-71]. Выявление изменений с помощью анализа серий снимков обычно показывает более высокую точность. Различными исследователями использовались критерии на основе разницы вегетационных индексов NDVI, SWVI и результатов преобразования Tasselled Cap [4, 5]. Также возможно применение метода опорных векторов (SVM), нейронных сетей.

При лесопатологическом дешифрировании необходимо выявить повреждение, оценить его площадь, степень, динамику и предположительную причину.

Для дешифрирования могут использоваться спектральные текстурные признаки, форма повреждений. Для выявления изменений используются в основном спектральные признаки, алгоритмы классификации по которым

наиболее развиты. Для определения причины повреждения, отделения гибели и повреждения лесов от других нарушений (рубок, пожаров) часто необходимо использовать форму и текстуру объекта. Автоматизировать это несколько сложнее.

Следует отдельно рассматривать случаи, когда преимущественно происходит резкая гибель насаждений (ветровал, очаги стволовых вредителей) и ситуации, когда участки повреждаются в разной степени. В первом случае оправдано применение пороговых критериев и дискриминантного анализа, который позволяет разделить здоровые и погибшие насаждения, во втором целесообразно проводить регрессионный анализ для уточнения степени повреждения. В ходе работ по дистанционному мониторингу апробировались эти способы в различных вариациях (пороги изменения NDVI, SWVI, использование дискриминантной функции и регрессионной функции по разным каналам).

Характерной особенностью растительности является относительно малое отражение в красной области спектра и большее в ближней инфракрасной. При повреждении растений и снижении фотосинтеза отражение в красной области спектра увеличивается, а в ближней ИК падает. Кроме того значительно возрастает отражательная способность в среднем ИК канале, что связано с падением содержания влаги в поврежденных деревьях. Чем больше эти изменения спектральной отражательной способности, тем легче выявляются поврежденные насаждения (рис. 2).

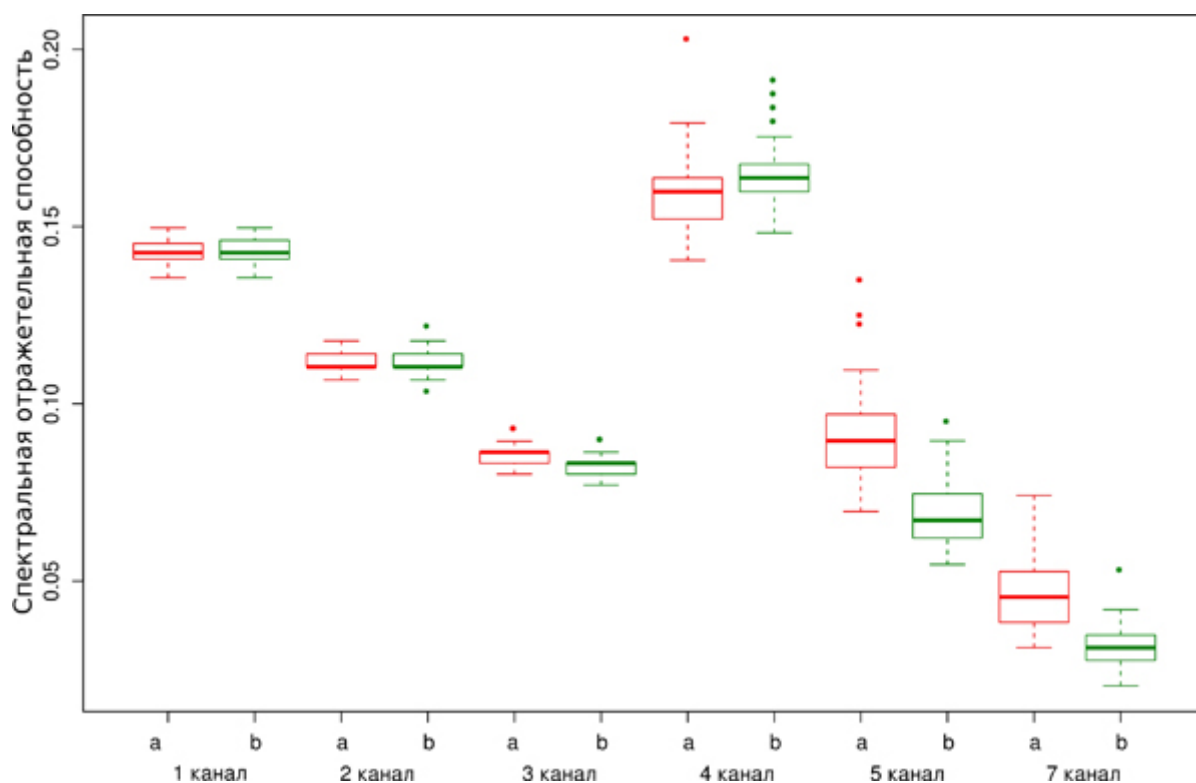


Рис. 2. Спектральная отражательная способность поврежденных и здоровых насаждений по данным Landsat TM на примере очагов короеда типографа в Московской области.

По оси ординат отложена спектральная отражательная способность участков-эталонов. Столбцы соответствуют спектральному каналу Landsat TM (с 1 по 7) и группе эталонов: с индексом а (красные) относятся к поврежденным короедом участкам, с индексом b (зеленые) к неповрежденным. Параллелепипед соответствует границам квантилей (x25, x75), горизонтальные штрихи крайним значениям, жирная черта — медиана, звездочками обозначены выбросы.

Однако, кроме спектральных свойств поврежденных растений, на то, что мы видим на снимке, влияет еще ряд факторов. Крона одного дерева меньше размера пикселя, поэтому часто происходит смешение спектральных характеристик здоровых и поврежденных деревьев, что может существенно снижать контрастность изменений. Таким образом, чем выше мозаичность, неоднородность повреждений, тем выше требования к разрешению снимков.

Кроме того, следует иметь ввиду, что сезонные изменения спектральной отражательной способности сельхозугодий, лугов, пойм

гораздо более контрастны, чем изменения леса при повреждении. Поэтому при автоматизированном поиске участков поврежденного леса важно уже на первом этапе отделить покрытые лесом площади от непокрытых — создать маску лесов.

Следующий момент лесопатологического дешифрирования — высокие требования к временному разрешению. При повреждении насаждений хвоелистогрызущими насекомыми часто сразу же после повреждения начинается процесс восстановления листвы (хвои). В этой ситуации оценить степень повреждения можно только по снимкам на пике объедания. В массивах, повреждаемых стволовыми вредителями, требуется максимально быстрое выделение поврежденных участков, пока санитарно-оздоровительных мероприятия в них могут быть эффективны.

На сегодняшний момент не существует «идеального» спутника, изображения с которого имели бы пространственное, временное и спектрально разрешение и производительность, позволяющие решать все задачи мониторинга состояния насаждений. На практике необходимо использовать набор разных данных:

**MODIS** — для оперативного выявления крупных повреждений в однородных лесных массивах труднодоступных районов в автоматическом режиме.

**Landsat, SPOT-4** — для производительного и в высокой степени автоматизированного выявления и оценки площади относительно крупных повреждений один или несколько раз в год на больших площадях (вплоть до всей территории РФ).

**RapidEye** — для выявления нарушений в смешанных, неоднородных насаждениях, повреждений, представляющих из себя мозаику мелких поврежденных и здоровых участков, выявления дефолиации пород, быстро восстанавливающих листву.

**GeoEye, WorldView-2** и т.п. — для мониторинга ограниченной площади особо ценных лесов (например, Московской области).

За последние годы специалистами ФГУ «Рослесозащита» выполнено несколько крупных работ по дешифрированию поврежденных участков леса: составлены схемы расположения поврежденных ветром участков на территории европейской России, дефолиации насаждений в Краснодарском крае, ведется мониторинг очагов короэда-типографа в Московской области.

Основными применяемыми снимками являлись Landsat TM/ETM+. В дополнение к ним применялись RapidEye, ALOS/AVNIR-2, SPOT-5. Во всех случаях нарушения с приемлемой точностью выделялись по паре снимков с использованием порога изменения индекса SWVI. Применение дискриминантного уравнения или метода опорных векторов (SVM) позволяет несколько улучшить точность.

Основные ошибки связаны не с пропуском данных, а с ложным детектированием. Большая часть ложных детектирований связана с нелесными участками. Для борьбы с этими ошибками производилось маскирование нелесных участков. Маска лесов создавалась по снимку, сделанному до начала повреждения, с помощью ISODATA с последующей переклассификацией или с помощью SVM. Следующей важной задачей являлась отделение повреждений леса вредителями, болезнями и ветром от рубок, пожаров и строительства. Отделение производилось вручную в основном по форме и времени появления.

При дешифрировании различных повреждений важными оказывались разные моменты. Прошедшие в 2009 и 2010 гг. по лесам европейской части России ветровалы представляют собой сочетание нескольких крупных и множества мелких полос. Самые крупные заметны даже на MODIS, на Landsat уверенно дешифрируется 50–70% площади ветровала [6]. Для дешифрирования остальных более мелких участков требуются снимки большего разрешения. Наиболее эффективно применение спектрзональных снимков: на панхроматических ветровалы плохо отделяются от полей, прогалин, выборочных рубок.

Как показало дальнейшее развитие событий, мелкими участками ветровала не стоит пренебрегать. В условиях засухи вокруг мелких участков ветровала в ельниках Московской области сформировалось множество очагов короеда-типографа. Очаги короеда-типографа представляют собой мозаику куртин усыхания разного размера.

Для выявления очагов типографа, так же как и для ветровалов, необходимы спектрзональные снимки. Процент выявленных участков линейно зависит от разрешения. На снимках Landsat выявляются около 60% куртин [1, 11, 17].

Повреждения лесов непарным шелкопрядом более однородны. Во многих случаях они достаточно хорошо детектируются MODIS, однако, по данным MODIS затруднительно отделить их от рубок, пожаров, фенологических изменений. На снимках Landsat они видны лучше, однако периодичность съемки Landsat не всегда позволяет получить безоблачные снимки в период между максимальным объеданием и восстановлением листы. Нами использовался аппарат RapidEye, который смог выполнить съемку насаждений в период максимального повреждения в условиях малого количества ясных дней. Кроме того снимки RapidEye позволяют лучше понять ситуацию в смешанных насаждениях, где повреждается только часть пород и дефолиация мозаична. Использование регрессионного анализа позволяет разделить насаждения на неповрежденные, поврежденные в средней степени (20-50% дефолиации) и сильно поврежденные (60–100% дефолиации) [17, 19].



## Выводы

При написании данной курсовой работы были решены следующие задачи:

1). Изучены действующие современные спутниковые системы, используемые для дистанционного мониторинга лесов. Несмотря на активную разработку отечественных спутниковых систем, преимущество остаётся за зарубежными системами MODIS, AVHRR, TM/ETM+.

2). Выявлены преимущества дистанционной индикации лесных повреждений. Применение аэрофотосъемки ограничивает высокая стоимость и низкая оперативность работ, сложное получение разрешительных документов. К моменту получения аэрофотосъемки информация на снимках часто уже не соответствует актуальному состоянию лесов. Космическая съемка в большинстве случаев дает более низкую точность определения состояния, однако более оперативна, дешевле (данные некоторых сенсоров бесплатны). На сегодняшний момент мы имеем на большую часть территории России ежегодное многократное покрытие данными различного разрешения.

В тоже время большую проблему представляет получение безоблачных данных. Из-за недостатка данных часто приходится использовать для разных частей объекта данные различных сенсоров, имеющие разные особенности отображения дешифрируемых объектов.

Благодаря непрерывно ведущейся съемке Landsat TM/ETM+, материалы которой свободно доступны, сложилась ситуация, когда возможно относительно оперативное и дешевое дешифрирование значительной части патологических процессов, происходящих в лесах Российской Федерации. На ограниченной территории это дешифрирование может проводиться с использованием относительно простых техник (использование критериев на основе разницы NDVI, SWVI, метода опорных векторов) в полуавтоматическом режиме. С помощью использования спутниковых систем можно выявлять различные лесные повреждения на тех

участках лесных насаждений, в которых наземное наблюдение затруднено. Что позволяет иметь более полную информацию о состоянии лесных насаждений.

3). Проведён анализ информативности материалов аэрокосмических съёмок различного спектрального и пространственного разрешения. Опыт работ показывает, что для выявления многих типов повреждений (особенно в районах, где экономически целесообразно проводить санитарно-оздоровительные мероприятия и борьбу с вредителями) необходимо применение оперативных спектральных данных разрешением крупнее 10 м. К сожалению, такие данные не столь доступны, как Landsat или MODIS, однако их закупка, на территорию регионов с наиболее сложной лесопатологической ситуацией экономически оправдана.

4). Оценено применение космических снимков для выявления очагов массового размножения вредителей. На сегодняшний момент не существует «идеального» спутника, изображения с которого имели бы пространственное, временное и спектрально разрешение и производительность, позволяющие решать все задачи мониторинга состояния насаждений. Определение повреждения насаждений происходит по косвенным признакам, по этому легче всего выявлять лесные пожары. Определение очагов массового размножения вредителей имеет ряд недостатков. Во-первых, из-за схожести признаков дашефрирования в насаждениях повреждаемых засухой, очагами массового размножения вредителей и болезней, ветровалов и буреломов, а так же вырубков. Во-вторых, при определении очагов массового размножения вредителей необходимо иметь точные и своевременные данные. Сразу после повреждения, насаждения начинают процесс восстановления. Если спутниковый снимок сделан не вовремя, то очаг можно не заметить. Так же негативным фактором является облачность, которая может очень затруднить процесс дашефрирования полученных данных. К тому же, более результативные данные получается выявить при крупных очагах массового

размножения вредителей, в то время, как очаги находящиеся на начальной фазе развития, могут быть пропущены.

### Список использованных источников

1. Андреев С. Н., Фирсов В. Г. Синтез нейросетевых и голографических методов обработки данных дистанционного зондирования Земли // Гелиогеофизические исследования. 2014. № 9. С. 23-29.
2. Буренков В. И., Гольдин Ю. А., Кравчишина М. Д. Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2007 г. по судовым и спутниковым данным // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 842-849.
3. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата / В. И. Бышев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 62-71.
4. Глуховец Д. И., Гольдин Ю. А. Исследование биооптических характеристик вод Карского моря с использованием данных спутниковых и судовых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 4. С. 346-350.
5. Доронин Ю. П. Физика океана. СПб. : РГГМУ, 2000. 298 с.
6. Европейское космическое агентство, миссия SMOS[Электронный ресурс]. URL: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/SMOS](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/SMOS).
7. И. Буренков [и др.] // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 716-729.
8. Казьмин А. С. Изменчивость крупномасштабных океанических фронтальных зон: анализ глобальной спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 1. С. 213-218.
9. Кашкин В. Б., Сухинин А. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие. М. : Логос, 2001. 264 с.
10. Коберниченко В. Г., Тренихин В. А. Методы синтеза изображений на основе данных дистанционного зондирования Земли различного разрешения // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 4. С. 22-31.

11. Крицук С. Г. Картирование бореальных лесов по спутниковым данным (на примере особо охраняемых природных территорий Ленинградской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 4. С. 255-264.
12. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А. Выявление и распознавание различных типов вод в прибрежной зоне Черного моря и в озерах Крыма на основе анализа гиперспектральных данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 135-147.
13. Оптические характеристики вод Карского моря по судовым и спутниковым наблюдениям /
14. Полякова Е. В., Гофаров М. Ю. Морфометрический анализ рельефа острова Вайгач по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 226-234.
15. Преимущество космических радарных систем при выполнении маркшейдерских работ на нефтегазовых месторождениях (на примере Южно-Русского месторождения) / Ю. Б. Баранов [и др.] // Геоматика. 2011. № 1. С. 12-15.
16. Стругайло В. В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2012. № 5. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/411847.html>.
17. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / под ред. В. Ф. Кравченко. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
18. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М. : Техносфера, 2008. 312 с.
19. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М. : Техносфера, 2010. 560 с.
20. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2007. 584 с.

21. Changing states of North Atlantic large marine ecosystems / K. Sherman [et al.] // Environmental Development. 2013. № 7. P. 46-58.
22. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal / J. P. Lacaux [et al.] // Remote Sens. Environment. 2007. Vol. 106. P. 66-74.
23. Forest disturbances, forest recovery, and changes in forest types across the Carpathian ecoregion from 1985 to 2010 based on Landsat image composites / P. Griffiths [et al.] // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 151. P. 72-88.
24. Ingebrigtsen R., Lindgren F., Steinsland I. Spatial models with explanatory variables in the dependence structure // Spatial Statistics. 2014. Vol. 8. P. 20-38.
25. Kartushinsky A. V. Dynamic Features of Frontal Zones Structure in the Ocean for Using in the Numerical Models Based on Satellite Data // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2011. № 4(2). P. 208-216.
26. Kartushinsky A. V. The investigation on the dynamics of frontal zones in the ocean based on the numerical modelling, using the AVHRR satellite data // Advances in Space Research. 2004. № 33 (7). P. 1173-1178.
27. Kartushinsky A. V. Time-Space Structure and Variability of Surface Temperature frontal Zones in the Ocean // Advances in Space Research. 2000. 25(5). P. 1107-1110.
28. Kartushinsky A. V., Sidorenko A. Y. Analysis of the variability of temperature gradient in the ocean frontal zones based on satellite data // Advances in Space Research. 2013. № 52 (8). P. 1467-1475.
29. Kazmin A. S., Rienecker M. M. Variability and frontogenesis in the large-scale oceanic frontal zones // J. of Geoph. Res. Oceans. 1996. Vol. 101, C1. P. 907-921.
30. Krivtsov V., Jago C. F. Some aspects of phytoplankton and ecosystem modelling in freshwater and marine environments: consideration of indirect interactions, and the implications for interpreting past and future overall ecosystem functioning // Ecological Modeling Chapters / ed. W.-J. Zhang. NovaScience, 2011. P. 205-222.

31. Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali) / J. Gardelle [et al.] // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2010. Vol. 14. P. 309-324.
32. Shevyrnogov A. P., Kartushinsky A. V., Vysotskaya G. S. Application of satellite data for investigation of dynamic processes in inland water bodies: Shira Lake (Khakasia, Siberia), a case study // *Aquatic Ecology*. 2002. Vol. 36, № 2. P. 153-163.
33. Shevyrnogov A., Vysotskaya G., Shevyrnogov E. Results of analysis of spatial and temporal long-term stability of quasistationary areas in the global ocean based on multi-satellite measurements (CZCS and SeaWifs data) // *Advances in Space Research*. 2004. T. 33. P. 1184-1188.
34. The emergence and growth of a submarine volcano: The Kameni islands, Santorini (Greece) / P. Nomikou [et al.] // *GeoResJ*. 2014. T. 1-2. P. 8-18.
35. Using annual time-series of Landsat images to assess the effects of forest restitution in post-socialist Romania / P. Griffiths [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 118. P. 199-214.