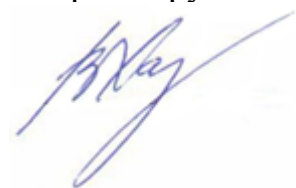


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

На правах рукописи



Хамедов Владимир Александрович

Разработка методики мониторинга лесных земель на основе космических снимков  
оптического и радарного диапазонов

25.00.26 – Землеустройство, кадастр и мониторинг земель

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук, доцент  
Мазуров Борис Тимофеевич

Новосибирск – 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	10
1.1 Нормативно-правовое обеспечение учета и мониторинга лесных земель в Российской Федерации.....	10
1.2 Учет и мониторинг лесных земель при осуществлении хозяйственной деятельности региона.....	12
1.3 Использование КС оптического и радарного диапазонов в современной практике оценки последствий воздействия на лесные земли природных и антропогенных факторов.....	15
1.4 Постановка задачи диссертационного исследования.....	20
1.5 Выводы по первому разделу.....	23
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ОПТИЧЕСКОГО И РАДАРНОГО ДИАПАЗОНОВ.....	25
2.1 Подбор космических снимков для проведения исследования.....	25
2.2 Оценка решения практических задач использования методов ДЗ при реализации программно-информационной подсистемы.....	30
2.3 Информационное обеспечение подсистемы мониторинга лесных земель.....	36
2.4 Алгоритмы выявления воздействий природных и техногенных факторов.....	47
2.5 Выводы по второму разделу.....	50
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ОПТИЧЕСКОГО И РАДАРНОГО ДИАПАЗОНОВ.....	52

3.1	Разработка и программная реализация алгоритма обработки комбинаций радарных и оптических снимков.....	52
3.2	Оптимизация алгоритма обнаружения изменений лесных земель по космическим снимкам оптического диапазона.....	65
3.3	Разработка базы данных изменений лесных земель.....	73
3.4	Разработка геопортала для предоставления общего доступа к результатам тематической обработки.....	75
3.5	Выводы по третьему разделу.....	76
4	ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ.....	77
4.1	Разработка регламентов информационного взаимодействия с региональными ОГВ по мониторингу лесных земель.....	77
4.2	Обнаружение и мониторинг рубок на лесных землях.....	79
4.3	Мониторинг лесных земель, подверженных загрязнению нефтью.....	80
4.4	Мониторинг лесных земель, подверженных загрязнению химическими веществами.....	83
4.5	Показатели эффективности применения мониторинга лесных земель в регионе.....	86
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	89
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	91
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ А	(обязательное) СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	(обязательное) СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ И ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ.....	119

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность темы исследования.* Существующая в настоящее время система управления земельными ресурсами предполагает ведение учета земель лесного фонда на государственном уровне в соответствии с требованиями государственного кадастра недвижимости (ст. 70 Земельного кодекса Российской Федерации и ст. 92 Лесного кодекса Российской Федерации) и государственного лесного реестра (ст. 91 Лесного кодекса Российской Федерации). Важное значение при учете таких земель имеет их подразделение на лесные и нелесные земли, а также достоверная и оперативная оценка состояния лесных земель, в том числе с учетом воздействия природных и антропогенных факторов.

Приказом Министерства экономического развития Российской Федерации от 26.12.2014 г. № 852 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель, за исключением земель сельскохозяйственного назначения» утвержден порядок осуществления государственного мониторинга земель, в рамках которого должны проводиться систематические наблюдения за фактическим состоянием и выявлением изменений количественных и качественных характеристик земель.

Очевидно, что для оперативного получения информации о состоянии земель территории регионов необходима организация многоуровневой системы мониторинга, основанной на комплексных наземных и дистанционных наблюдениях с применением современных возможностей геоинформационных технологий. В особенности это относится к системам мониторинга состояния земель севера Западной Сибири, территория которой из-за активного процесса заболачивания относится к одной из наиболее труднодоступных в стране.

В связи с большим количеством облачных дней в году, в течение которых невозможно обеспечить оперативный мониторинг территорий севера Западной Сибири космическими снимками (КС) оптического диапазона, актуальным является использование снимков радарного диапазона. Независимость радарной

съемки от условий освещенности и экранирования поверхности Земли облачностью или дымовыми шлейфами дает ряд преимуществ при осуществлении оперативных наблюдений в ходе мониторинга земель с использованием дистанционного зондирования (ДЗ). Однако радарные снимки требуют более сложной обработки, а для их достоверного дешифрирования необходимо получение дополнительной информации об исследуемой территории. В качестве решения в диссертационной работе предлагается комплексное использование комбинаций разновременных космических снимков оптического и радарного диапазонов, совместная обработка которых повышает достоверность результата их дешифрирования и обеспечивает проведение оперативных наблюдений, необходимых для определения времени воздействия на лесные земли факторов природного или антропогенного характера.

*Степень разработанности темы.* Решению вопросов дистанционного мониторинга территорий, занятых лесными землями, посвящено большое количество научных работ. Основы теории использования космических снимков в задачах лесной отрасли заложены Седых В. Н., Сухининым А. И., Коровиным Г. Н., Исаевым А. С., Данилиным И. М. и др. С целью разработки методических вопросов использования космических снимков оптического и радарного диапазонов для мониторинга состояния лесных земель автором использовались теоретические концепции и практические рекомендации отечественных ученых: Лупяна Е. А., Барталева С. А., Лебедева Ю. В., Карпика А. П., Асмуса В. В., Ершова Д. В., Гука А. П., Захарова А. И., Жарникова В. Б. и др., а также зарубежных ученых: Гонсалеса Р., Вудса Р., Прэтта У.

Научные исследования в области изучения состояния лесных земель проводятся с использованием существующих современных средств дистанционного мониторинга. Однако комплексного решения, позволяющего обеспечить с достаточной точностью практическую реализацию задач мониторинга состояния лесных земель севера Западной Сибири, до сих пор нет. Объединение известных методов обработки космических снимков, получаемых с использованием съемочной аппаратуры ДЗ различных диапазонов с разработкой

новых алгоритмов обнаружения изменений, позволит обеспечить оперативное и достоверное получение информации о состоянии лесных земель.

*Цель и задачи исследования.* Целью диссертационной работы является разработка методики оперативного мониторинга лесных земель на территориях севера Западной Сибири на основе комплексного использования оптических и радарных космических снимков.

*Основные задачи диссертационного исследования:*

- анализ предметной области и обзор существующих решений в области мониторинга лесных земель дистанционными методами;
- разработка методики обработки космических снимков оптического и радарного диапазонов с учетом воздействия отдельных внешних факторов, влияющих на оперативный мониторинг;
- разработка алгоритма обработки комбинаций разновременных оптических и радарных космических снимков и его программная реализация с целью обнаружения изменений на лесных землях;
- формирование базы данных изменений лесных земель на территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), обнаруженных по космическим снимкам;
- разработка подсистемы мониторинга для получения информации о количественных и качественных показателях лесных земель.

*Научная новизна* исследования заключается в следующем:

- разработанная методика мониторинга состояния лесных земель на основе комплексного использования космических снимков оптического и радарного диапазонов, в отличие от существующей практики, обеспечивает эффективность проведения оперативных наблюдений дистанционными методами за состоянием лесных земель в условиях севера Западной Сибири;
- разработанная подсистема мониторинга позволяет обеспечить региональные органы государственной власти (ОГВ) актуальными и достоверными сведениями по количественным и качественным показателям

мониторинга лесных земель при проведении базовых, периодических и оперативных наблюдений, получаемых с использованием дистанционного зондирования.

*Теоретическая и практическая значимость работы.* Теоретическая значимость заключается в разработке методики мониторинга лесных земель и способа комплексного использования комбинаций оптических и радарных космических снимков для обнаружения изменений на лесных землях в условиях низкой освещенности и при наличии облачности на исследуемой территории, позволяющих осуществлять системный подход в обеспечении оперативных наблюдений за состоянием лесных земель.

*Практическая значимость работы* заключается в создании общедоступной актуальной базы данных объектов с описанием их основных качественных и количественных характеристик, находящихся на лесных землях ХМАО и испытывающих природные и антропогенные воздействия.

*Методология и методы исследования.* Теоретические и прикладные исследования выполнялись на научной основе при использовании методов анализа изображений, анализа пространственных данных ДЗ, положений системного анализа, последних достижений в области современных технологий геоинформационных систем (ГИС).

*Положения, выносимые на защиту:*

– методика мониторинга лесных земель с использованием космических снимков оптического и радарного диапазонов позволяет повысить оперативность получения информации о состоянии территорий в условиях их недостаточной освещенности или при наличии облачности;

– алгоритм комплексной обработки комбинаций разновременных космических снимков оптического и радарного диапазонов и его программная реализация позволяют достоверно выявлять изменения на лесных землях;

– созданные подсистема мониторинга и база данных предоставляют общий доступ к количественным и качественным показателям изменений состояния лесных земель на территории ХМАО, полученных по разработанной методике.

*Степень достоверности и апробация работы результатов исследования.*

Достоверность результатов, полученных в работе, основана на использовании существующих, теоретически обоснованных и проверенных на практике методов обработки данных ДЗ. Прикладное применение полученных результатов в обеспечении контрольно-надзорной деятельности служб автономного округа подтверждает обоснованность выводов данной работы. Проверка работоспособности и эффективности разработанной методики мониторинга лесных земель на основе комплексного использования космических снимков, а также оценка достоверности полученных результатов осуществлялись путем проведения численных экспериментов с использованием материалов лесоустройства и натурных (полевых) данных.

Разработанная методика мониторинга лесных земель на основе комплексного использования комбинаций космических снимков оптического и радарного диапазонов реализована в Центре космических услуг (ЦКУ) ХМАО в целях обеспечения региональных органов исполнительной государственной власти и контрольно-надзорных служб и ведомств оперативной и достоверной информацией.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международном симпозиуме «Контроль и реабилитация окружающей среды» (г. Томск, 2004, 2008 гг.); международной научно-практической конференции «Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты» (г. Томск, 2005 г.); Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (г. Москва, 2005, 2006, 2008 и 2010 гг.); международной конференции «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» (г. Москва, 2007, 2013 гг.); научно-практической конференции, посвященной А. А. Дунину – Горкавичу (г. Ханты-Мансийск, 2005, 2006, 2008, 2011, 2016 гг.); Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2007» (г. Новосибирск, 2007 г.); совещании рабочей группы неправительственной

научной организации «Северный Форум» (г. Сент-Джонс (Канада), 2010 г.); IX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» (г. Новосибирск, 2013 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования» (г. Ханты-Мансийск, 2013, 2015 гг.); научно-практической конференции «Опыт комплексного использования результатов космической деятельности в интересах регионов России» (г. Москва, 2016 г.).

Результаты диссертационной работы внедрены в надзорной деятельности Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и в настоящее время успешно используются с целью получения информации о состоянии нарушенных земель на территории автономного округа.

*Публикации по теме диссертации.* Основные теоретические положения и результаты исследования представлены в 9 опубликованных научных работах, в том числе 4 статьи напечатаны в рецензируемых журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 1 статья – в издании, входящем в международную реферативную базу данных Scopus, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (номера свидетельств: № 2016660062 и № 2016660081), 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных (номер свидетельства № 2016620648).

*Структура диссертации.* Общий объем диссертации составляет 121 страница машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 191 наименование, содержит 8 таблиц, 38 рисунков, 2 приложения.

# 1 ОБЗОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

## 1.1 Нормативно-правовое обеспечение учета и мониторинга лесных земель в Российской Федерации

Согласно Земельного кодекса Российской Федерации [52], лесными землями могут являться земли как покрытые лесной растительностью, так и не покрытые ею, но предназначенные для ее восстановления. К не покрытым лесным землям относятся лесные рубки и гари, редины, прогалины. В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации [72], учет лесных земель осуществляется государственным лесным реестром, являющимся систематизированным сводом документированной информации о состоянии земель лесного фонда Российской Федерации (РФ). Ведение государственного лесного реестра лесов, расположенных в границах субъектов РФ, передано уполномоченным органам исполнительной власти субъектов РФ в области лесных отношений. Однако, в настоящее время, одной из существенных проблем, затрудняющей качество ведения государственного лесного реестра (ГЛР), является недостаточная точность и низкая оперативность определения в межревизионных период изменений, возникающих на лесных землях под воздействием как природных, так и антропогенных факторов.

Для решения данной проблемы на государственном уровне разрабатывается ряд мер, способствующих обеспечению устойчивого управления лесами [1]. Одной из основных задач при решении поставленной задачи на государственном уровне определено сокращение площади лесных массивов из-за незаконной вырубке деревьев и в результате лесных пожаров [81, 82, 84, 86]. С целью обеспечения контроля проведения лесовосстановительных работ законодательно вводятся новые требования. Например, в соответствии с федеральным законом «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования

регулирования лесных отношений» от 23.06.2016 г. № 218-ФЗ [109], вступающим в силу с 01.03.2017 г., для подтверждения требований соблюдения правил лесовосстановления необходимо прикладывать к отчету о воспроизводстве лесов материалы ДЗ (в том числе аэрокосмической съемки, аэрофотосъемки), фото- и видеофиксации.

В настоящее время в борьбе с незаконными рубками используются такие инструменты, как патрулирование лесного фонда лесными инспекторами и проведение совместных межведомственных проверок, дистанционный космический мониторинг [3] и использование Единой государственной автоматизированной информационной системы (ЕГАИС) учета древесины и сделок с ней. Однако взаимосвязь при использовании этих механизмов зачастую отсутствует [127]. Правительство РФ поручило разработать план по предотвращению незаконной заготовки и оборота древесины с перечнем конкретных мероприятий на период с 2016–2020 гг., в том числе подготовить предложения о внесении изменений в лесное законодательство Российской Федерации, предусматривающих установление сроков проведения натуральных проверок лесных участков по результатам дистанционного мониторинга и данных ЕГАИС учета древесины и сделок с ней [127].

Задачами государственной политики в области использования результатов космической деятельности [101] является, в том числе обеспечение координации выполнения работ по созданию с использованием результатов космической деятельности геоинформационных, информационно-управляющих, моделирующих, прогнозных и аналитических систем, систем поддержки принятия решений в целях их внедрения в деятельность органов исполнительной власти и органов местного самоуправления.

Проблема рационального использования земельных ресурсов в значительной мере может решаться эффективной системой управления [69]. Одним из основных звеньев системы управления является его нормативно-правовое обеспечение на основе правового механизма регулирования земельных отношений [75, 95, 135, 136]. В современных условиях этот механизм имеет

решающее значение, в том числе для системы управления северных и сибирских территорий. Именно эти территории с 60-х годов прошлого века стали основными источниками минерального и углеводородного сырья, обеспечивая высокую международную репутацию России.

Кроме того, в задачах мониторинга состояния лесных земель также большое значение имеет подписание Россией в ООН Парижского соглашения [119], в реализации которого существенную роль играют лесные массивы страны, поглощающие выбросы парниковых газов.

## 1.2 Учет и мониторинг лесных земель при осуществлении хозяйственной деятельности региона

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО) занимает одно из первых мест по добыче нефти в Российской Федерации. В ХМАО открыто более 400 месторождений, выдано более 283 лицензий на добычу и разведку нефти и газа [6]. Активное промышленное освоение северных регионов оказывает негативное воздействие на компоненты природной среды за счет низких экологических технологий, интеллектуального анализа данных и высокой степени аварийности [39]. Объявленные нефтегазодобывающими компаниями программы и системы охраны земельных и других природных ресурсов далеки от идеальных, учитывая низкий эффект при достаточно больших затратах времени и денег. При этом снижаются территориальные возможности традиционной хозяйственной деятельности, дестабилизируются природные процессы, сокращается видовой состав флоры и фауны.

Все изменения в составе и характеристике лесных земель, возникающие под воздействием внешних факторов, должны быть учтены в государственном лесном реестре (ГЛР). Согласно Порядку ведения ГЛР, утвержденному приказом Федерального агентства лесного хозяйства «Об утверждении Порядка ведения государственного лесного реестра» от 30.05.2011 г. № 194 [103], в ГЛР содержится систематизированная сводная информация о лесах и их

использовании, охране и воспроизводстве. В Ханты-Мансийском автономном округе ведение ГЛР осуществляется уполномоченным государственным органом в области лесного хозяйства – Департаментом природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и его структурными подразделениями, согласно Положению о Департаменте природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, утвержденного постановлением Губернатора Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «О Департаменте природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» от 06.09.2010 г. № 176.

Создание организационно-территориальных условий для устойчивого и рационального использования и охраны земельных ресурсов, по мнению ряда авторов [22, 37] подразумевает необходимость совершенствования разработки землеустроительной документации, начиная от схемы использования и охраны земли как всего Крайнего Севера, так и отдельных регионов.

На стадии проектирования объектов нефтегазового комплекса (НГК) для возможных случаев аварийного разлива нефтепродуктов разрабатывают специальный раздел в составе проектов рекультивации земель, выполняют расчет предполагаемого ущерба компонентам окружающей природной среды при составлении акта технического обследования.

В наибольшей степени на природную среду и природопользование влияют порывы трубопроводов, происходящих по различным причинам. В таких ситуациях одной из основных мер, направленных на соблюдение принципов устойчивого землепользования и охраны земельных ресурсов, является рекультивация участков нефтезагрязненных земель. При подготовке проекта рекультивации делается определение границ и площади загрязненной нефтью территории и отбор проб для химического анализа с целью выбора соответствующих материалов и технических средств [149].

В случае разлива нефти составляется «Акт технического расследования отказа трубопровода», который включает стоимость ущерба, определяемой по методике [100].

В [169] говорится, что эффективность институционального потенциала управления определяется созданием условий, необходимых и достаточных для формирования и развития процесса достижения поставленной цели. В отношении кадастра одной из таких целей, является завершение земельной реформы, начатой более 20 лет назад [11]. Нерешенной является комплексная проблема рационального использования и охраны земель, в современном аспекте рационального освоения лесов.

Приведем цитату из доклада [165] академика Российской академии сельскохозяйственных наук, министра сельского хозяйства и продовольствия РФ в 1991–1997 гг. В. Н. Хлыстуна: «государство должно не только отслеживать состояние земельных ресурсов, но и активно влиять на процесс рационального их использования и охраны. При этом последовательное и целенаправленное влияние может быть только на основе прогнозирования событий и планирования мер, обеспечивающих решение поставленной задачи».

Земли лесного фонда и входящие в их состав лесные земли являются землями наиболее ценных категорий [22]. Площадь лесных земель и произрастающих на них лесов превышает 700 млн. га, расчетная лесосека в которых превышает 630 млн. м<sup>3</sup>. Соответственно, их рациональное использование особенно актуально.

Для оценки лесных земель возможно введение системы показателей, определяющей ее основные технические параметры, организационно-правовое, экологическое и экономическое состояние [93]. Для лесов разработки в этом направлении начали осуществляться еще в конце 90-х годов прошлого века [98]. Был утвержден перечень критериев и индикаторов устойчивого управления лесами Российской Федерации и определены возможности их использования на национальном уровне. Предполагалось также осуществить их адаптацию для регионального уровня, например, в [40, 43, 45] разработана система критериев для

уровня лесничеств и лесных участков, а также представлена оценка деятельности органов лесоуправления в субъектах РФ.

В [14] рассмотрен алгоритм оценки рационального использования лесных участков в границах лесничеств (лесопарков) с учетом современного законодательства, документов лесного планирования, освоения, охраны, защиты и воспроизводства лесов. Рациональное использование земель особенно важно на территориях особо охраняемых земель. В [50] обсуждается проблема мониторинга земель с позиции формирования системы показателей проводимого мониторинга на особо охраняемых землях.

Важным механизмом системы управления социально-экономическим развитием страны являются государственные программы, отражающие приоритеты государственной политики в различных сферах ее деятельности [101, 100].

В работе [15] предложен механизм анализа систем управления, реализованный в настоящей статье на примере государственной программы развития лесного хозяйства в России. Представленные результаты характеризуют этапы реализации программы, отчетливее выделяют роль ее составляющих, которые интерпретированы в качестве организационно-правового, экономического, экологического и технического показателей управления гослесфондом и, соответственно, закрепленным за ним землями.

### 1.3 Использование КС оптического и радарного диапазонов в современной практике оценки последствий воздействия на лесные земли природных и антропогенных факторов

В настоящее время анализ последствий воздействия на лесные земли природных и техногенных факторов проводится на экспертном уровне, когда уже точно известны характеристики изменений [89, 90]. Например, известны площади выгоревших лесных массивов на основании актов о пожарах, составленных работниками службы лесоохраны или выявлены нарушения природоохранными

службами. Этот традиционный подход не ориентирован на оперативное определение масштабов воздействий и оценку их возможных последствий сразу же после воздействия на лесные земли и не позволяет принимать своевременные решения по управлению деятельностью лесных служб. Получение оперативной эколого-экономической оценки возможных последствий воздействий техногенных и природных факторов на лесные земли предполагает использование результатов космической деятельности, позволяющих решать задачи мониторинга с большой площадью охвата территории и высокой степенью оперативности, что наиболее важно для труднодоступных территорий севера Западной Сибири.

Для обеспечения мониторинга лесных земель могут быть использованы различные съемочные системы дистанционного зондирования Земли – как оптического, так и радарного диапазона. Наиболее часто используют данные оптического диапазона. Причина популярности этой информации – достаточная простота обработки КС оптического диапазона и тематической интерпретации полученных результатов [74]. Однако КС радарного диапазона имеют ряд преимуществ, по отношению к информации, получаемой в оптическом диапазоне.

Анализ статистических характеристик степени закрытия облаками подстилающей поверхности и длительности светлого дня в течение года, приведенные в работах [91, 148] показывает, что для большинства регионов России приемлемые условия для космической съемки поверхности Земли в оптическом диапазоне обеспечиваются преимущественно в летний период. С помощью радарных изображений могут быть получены детальные изображения земной поверхности и расположенных на них объектов независимо от метеоусловий и условий освещенности. Радарные изображения обеспечивают большую дальность наблюдения, одновременный обзор широкой полосы местности и возможность наблюдения объектов, невидимых в оптическом диапазоне длин волн. Высокая разрешающая способность таких систем приближает детальность радарных изображений к детальности оптического изображения.

Вопросы использования радарной и оптической космической съемки для решения задач мониторинга земель широко обсуждаются научным сообществом в публикациях, а также на ряде профильных научно – практических конференций и семинаров, таких как «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов», проводимой Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) (г. Москва); «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве», проводимой Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН) (г. Москва); «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли», проводимой Сибирским Федеральным Университетом (г. Красноярск) и др.

Радарные (от Radio Detection And Ranging) съемочные системы – это активные всепогодные средства зондирования, в основу которых положено использование отраженных от различных объектов земной поверхности сигналов, излучаемых радаром [92].

Радарная съемка ведется в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,3\text{--}100$  см [32]. Интенсивность отраженного от поверхности сигнала в зависимости от параметров радара (длины волны сигнала, мощности, поляризации сигнала, характеристики антенны) определяется рассеивающими и поглощающими свойствами растительного и почвенного покрова. Отраженный сигнал является случайный процессом, зависящим от физических и биометрических характеристик растительности и почвы, а также от топографических особенностей местности.

Диэлектрический коэффициент материала снимаемого объекта влияет на силу возвращаемого отраженного сигнала, поскольку он описывает, насколько хорошо может поглощаться материалом. Кроме того, поглощение электромагнитных волн зависит от их частоты. Значение диэлектрического

коэффициента материала объекта показывает возможность его выявления при помощи радарных систем.

Важным физическим параметром радарной съемки является поляризация. Поляризация – это свойство электромагнитных волн распространяться в определенной плоскости. Поляризационные плоскости обычно бывают горизонтальные (H) и вертикальные (V). Различают одинаковые (простые) поляризации – HH или VV, совместные (двойные) поляризации – HH и VV, а также перекрестные или непарные поляризации – HV и VH.

Вертикально-поляризованная электромагнитная волна будет эффективно взаимодействовать с вертикальными стеблями растительного слоя, а горизонтально-поляризованная волна — проникать сквозь растительный слой. Комбинирование разных поляризаций может улучшать распознавание различных объектов, поэтому важно правильно выбрать вид поляризации в каждом отдельном проекте [4].

Отражающую способность подстилающей поверхности характеризуют коэффициентом рассеяния, который представляет собой удельную эффективную площадь рассеяния – отношение эффективной площади рассеяния (ЭПР) элемента разрешения на местности к значению его геометрической площади. Обычно удельной ЭПР выражают в децибелах. Типичная величина удельной ЭПР шероховатой поверхности  $\sigma = \text{минус } 20 \text{ дБ}$  означает, что ЭПР участка такой поверхности в 100 раз меньше его реальной площади.

Древесный полог обладает неодинаковой проницаемостью для волн разной длины. Древостой лучше отражает сигналы в плоскости поляризации HH, а мощность HV-поляризованного сигнала коррелирует с величиной биомассы насаждений. Мощность сигналов L-волн и P-волн меньше, чем C-волн при наблюдении лугов, болот, сплошных вырубок, возобновившихся участков и лесных культур. Вода и влажность поверхности усиливают мощность отраженного сигнала радара.

Радарная съемка относится к перспективным видам дистанционного зондирования, свойства радарных изображений для целей дешифрирования

земель лесного фонда пока мало изучены. Известны примеры дешифрирования по радарным снимкам различных категорий земель, разделения на классы (например, хвойные и лиственные) покрытых лесом земель, расчета высоты древостоя на основе измерения длины радарной тени лесного полога [92, 141]. Наличие теней способствует зрительному восприятию ландшафтов на радарных изображениях в виде объемной модели местности. При смешивании радарных изображений одной и той же территории, выполненных при съемке с использованием разных длин волн и плоскостей поляризации, получают цветные синтезированные изображения, подчеркивающие особенности лесного полога (зарастающие места рубок, насаждения разной густоты, состава пород и др.). Аналогично изображениям других съемок, разновременные радарные изображения могут быть использованы при проведении мониторинга лесов. Однако интерпретация КС, полученных в радарном диапазоне, сложнее, чем снимков, полученных в оптическом диапазоне длин волн. Представлены примеры визуализации участка строящейся кустовой площадки на КС оптического диапазона (рисунок 1.1, *а* и радарного диапазона (рисунок 1.1, *б*).

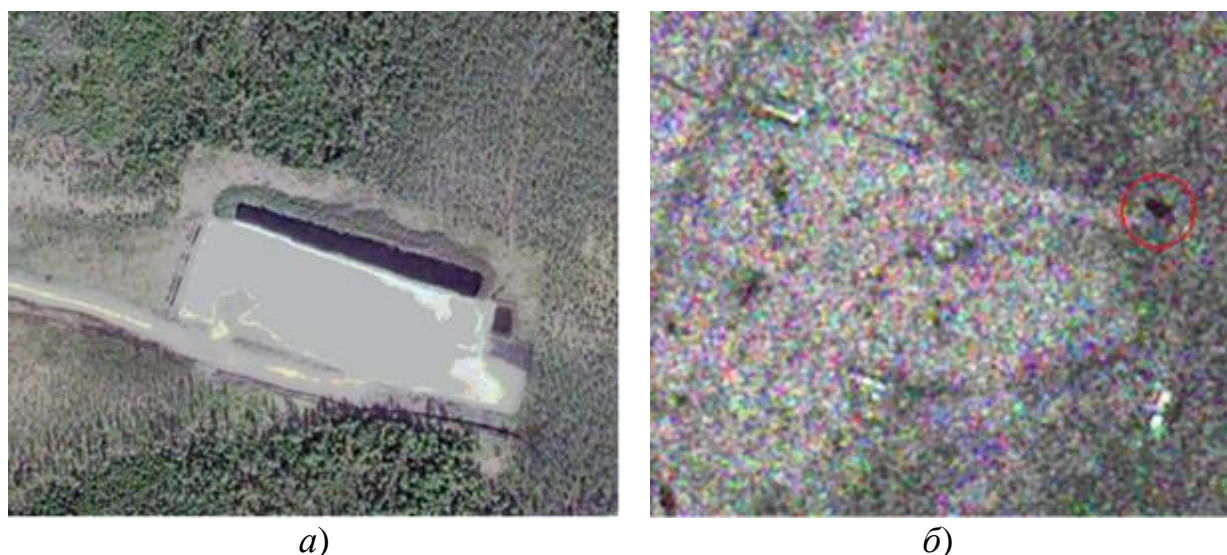


Рисунок 1.1 – Отсыпка песка на строящейся кустовой площадке: *а*) на снимке QuickBird за 08.06.2005 г.; *б*) на снимке ERS–2. Цветовой композит Red: 27.07.2005 г., Green: 30.08.2008 г., Blue: 11.07.2006 г.

Совместное использование данных различных съемочных систем приводит иногда к получению изображений, обладающих новыми свойствами [147].

На основе представленной в данном разделе информации, можно сформулировать требования к геоинформационной технологии комплексного мониторинга состояния лесов.

Разрабатываемая технология должна основываться на интеграции геоинформационной технологии, математического аппарата обработки и анализа и данных ДЗ. При этом необходимо обеспечить комплексное использование различных данных ДЗ для получения достоверного результата обработки. Организация мониторинга лесов требует разработки и развития специальной геоинформационной технологии, ориентированной на решение проблем экологического мониторинга и обеспечивающей свободный доступ к информации, получаемой на основе ДЗ. В состав программно-информационной подсистемы должны быть включены общедоступные базы данных, характеризующие качественные и количественные показатели мониторинга лесных земель и обеспечивающие всесторонний анализ информации о состоянии лесных земель.

#### 1.4 Постановка задачи диссертационного исследования

В РФ в рамках единой системы государственного экологического мониторинга (введен Федеральным законом «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 21.11.2011 г. № 331-ФЗ [110]) федеральными органами исполнительной власти, органами государственной власти субъектов РФ в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством РФ, посредством создания и обеспечения функционирования наблюдательных сетей и информационных ресурсов в рамках подсистем единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), а также создания и эксплуатации

уполномоченным Правительством РФ федеральным органом исполнительной власти государственного фонда данных осуществляется Государственный экологический мониторинг (государственный мониторинг окружающей среды).

Государственный мониторинг окружающей среды – это комплексная система наблюдения за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Мониторинг может быть классифицирован по территориальному признаку как глобальный, национальный, региональный и локальный, а также по отраслевому признаку.

Порядок ведения мониторинга в отношении отдельных природных объектов может быть отдельно детализирован в законодательстве. В частности, порядок ведения государственного мониторинга земель определен Приказом Министерства экономического развития Российской Федерации от 26.12.2014 г. № 852 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель, за исключением земель сельскохозяйственного назначения» [102].

Объектом мониторинга земель являются земельные участки, независимо от форм собственности на землю, целевого назначения и разрешенного использования. Ведение государственного мониторинга земель осуществляется Росреестром во взаимодействии с другими федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ и органами местного самоуправления. Проведение мониторинга земель обеспечивает своевременное выявление изменений состояния земель, их оценку, прогноз и выработку рекомендаций по устранению негативных процессов, а также информационное обеспечение различных органов государственного и муниципального управления.

Государственный мониторинг земель предполагает проведение мониторинга использования и мониторинга состояния земель. В таблице 1.1 приведена информация о проводимых наблюдениях в рамках государственного мониторинга лесов в соответствии с [102].

Таблица 1.1 – Проводимые наблюдения в рамках государственного мониторинга земель

Государственный мониторинг земель	
Мониторинг использования земель	Мониторинг состояния земель
Осуществляется наблюдение за использованием земель и земельных участков в соответствии с их целевым назначением	Осуществляется наблюдение за изменением количественных и качественных характеристик земель, в том числе с учетом данных результатов наблюдений за состоянием почв, их загрязнением, захламлением, деградацией, нарушением земель, оценка и прогнозирование изменений состояния земель

Мониторинг земель включает в себя семь подсистем (рисунок 1.2), соответственно количеству категорий земель в земельном фонде РФ. Свои подсистемы есть и в структуре мониторинга лесов, вод, объектов животного мира и иных объектов.



Рисунок 1.2 – Схема организации государственного мониторинга земель

В состав земель лесного фонда входят лесные земли, которые подразделяются на покрытые лесной растительностью и не покрытые лесной растительностью и нелесные земли. Для участков лесных земель в условиях севера Западной Сибири в целях обеспечения оперативного мониторинга

эффективным является применение данных ДЗ радарной съемки или комбинаций оптической и радарной съемки.

Задачей диссертационного исследования является разработка методики мониторинга лесных земель на основе комплексного использования КС оптического и радарного диапазонов для обеспечения возможности проведения оперативного дистанционного мониторинга состояния лесных земель, испытывающих воздействия природного и техногенного характера и обеспечения региональных органов государственной власти достоверными и актуальными сведениями по количественным и качественным показателям мониторинга лесных земель при проведении базовых, периодических и оперативных наблюдений, получаемых с использованием ДЗ.

### 1.5 Выводы по первому разделу

В настоящее время данные ДЗ широко используются в задачах оперативного тематического мониторинга земной поверхности [19, 20], в том числе земель лесного фонда [8, 9, 10, 12, 13, 26, 29, 30, 31, 40, 71]. Необходимость использования информации ДЗ для получения информации о состоянии лесных земель закреплена на законодательном уровне [18]. Например, законопроект [109], вступающий в силу с 01.03.2017 г., посвященный совершенствованию регулирования лесных отношений, вносит изменения в действующее лесное законодательство, согласно которым отчеты лесопользования должны дополняться материалами фотофиксации и данными ДЗ, которые позволят достоверно оценить фактический объем проведенных мероприятий по лесопользованию. Кроме того, данная информация должна быть публичной, регулярно размещаться в Интернете и быть доступной для ознакомления без взимания платы.

Однако отсутствие в настоящее время единых требований к форматам пространственных данных, их структуре и составу не позволяет системно и полноценно использовать существующие возможности ДЗ для мониторинга

состояния земель в интересах органов государственной власти, экологических, природоохранных и контрольно-надзорных служб и ведомств.

Объединение известных методов обработки космических снимков, получаемых с использованием съемочной аппаратуры ДЗ различных диапазонов с разработкой новых алгоритмов обнаружения изменений, позволит обеспечить оперативное и достоверное получение информации о состоянии лесных земель

Поставленная в диссертационной работе цель разработки методики мониторинга лесных земель на основе комплексного использования КС оптического и радарного диапазонов способствуют реализации системного подхода при предоставлении информации о состоянии земель заинтересованным службам и ведомствам и позволит обеспечить свободный доступ к результатам тематической обработки данных ДЗ.

## 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ОПТИЧЕСКОГО И РАДАРНОГО ДИАПАЗОНОВ

### 2.1 Подбор космических снимков для проведения исследования

В систематизированном архиве Центра космических услуг (ЦКУ) Ханты-Мансийского автономного округа – Югры имеются различные КС территории Западной Сибири за период с 1973 г. по 2016 г. со следующих спутников: Landsat 4–5\TM, Landsat 1–5\MSS, Landsat–7\ETM+, Landsat–8\OLI, SPOT–2\4\5, QuickBird, CBERS–2, Ресурс–Ф2М\МК–4, Ресурс–О\МСУ–Э\МСУ–СК, Метеор–3М\МСУ–Э\МСУ–СМ, IRS\LISS3\PAN, TERRA\ASTER, TERRA\AQUA\MODIS, NOAA\AVHRR, ENVISAT\ASAR\MERIS, ERS–1,2\SAR, JERS–1\SAR, SIR–C\X-SAR, ALOS\PALSAR\AVNIR–2\PRISM, Radarsat–1, TerraSar–X, Sentinel–1A, Sentinel–2A, БКА\PAN\MSS, Канопус–В\PAN\MSS, Ресурс–П\Геотон и др. Общий объем архива данных ДЗ составляет более 30Тб.

Для проведения диссертационного исследования были использованы КС оптического диапазона с КА Метеор–3М, Landsat–7, Landsat–8, Sentinel–2A, БКА, Канопус–В, Ресурс–П и радарного диапазона с КА ERS–2, Sentinel–1A. Организация ежедневного приема данных с КА ERS–2 [35] и Метеор–3М центром дистанционного зондирования Земли в Югорском научно – исследовательском институте информационных технологий (ЮНИИ ИТ) (г. Ханты-Мансийск) обеспечило получение необходимой информации для проведения диссертационной работы. Космические снимки с КА Канопус–В, БКА и Ресурс–П в настоящее время предоставляются Федеральным космическим агентством (Роскосмос), а общедоступные данные с КА Landsat–7, Landsat–8, Sentinel–2A и Sentinel–1A получают из распределенных источников.

Наличие в ЮНИИ ИТ программно-аппаратных средств приема и обработки данных ДЗ позволило сформировать комплексный банк данных спутниковой

информации [16]. Имеющаяся в архиве информация космической съемки оптического диапазона среднего и высокого пространственного разрешения использовалась при выполнении ряда научных работ [2, 17, 21, 23, 55, 63, 65, 79, 124, 144, 163]. В диссертационной работе использованы КС Метеор–3М, Landsat–7 (с 2004 г.), Канопус–В, БКА, Ресурс–П (с 2013 г.) [67] и Sentinel–2А (с 2016 г.).

В таблице 2.1 представлены основные технические характеристики используемых КС оптического диапазона.

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики космических снимков оптического диапазона

Наименование съемочной аппаратуры	Номинальное пространственное разрешение, м	Ширина полосы съемки, км	Периодичность съемки, сутки
Метеор–3М\МСУ-Э	32,0	76,0	$\geq 30$
Канопус–В\ПСС	2,1	23,3	$\geq 30$
Канопус–В\МСС	10,5	20,1	$\geq 30$
БКА\ПСС	2,1	23,3	$\geq 30$
БКА\МСС	10,5	20,1	$\geq 30$
Ресурс–П\Геотон	0,9	38,0	$\geq 30$
Ресурс–П\Геотон	3,0	38,0	$\geq 30$
Landsat–7\ETM+\PAN	15,0	183,0	$\geq 3$
Landsat–7\ETM+\VNIR, SWIR	30,0	183,0	$\geq 3$
Landsat–8\OLI\PAN	15,0	185,0	$\geq 3$
Landsat–8\OLI\VNIR, SWIR	30,0	185,0	$\geq 3$
Sentinel–2A\VNIR	10,0	290,0	$\geq 3$

По соглашению с Европейским космическим агентством (ЕКА), в ЮНИИ ИТ с 2005 г. по 2011 г. с использованием имеющегося приемного спутникового

комплекса выполнялись работы по оперативному приему, предварительной обработке и передачи информации с КА ERS–2 в Европейский институт космических исследований ESRIN (Италия). Таким образом, ЮНИИ ИТ был одним из приемных пунктов [35], обеспечивающих получение информации с космического аппарата на территорию Сибири. Информация, получаемая приемным комплексом в г. Ханты-Мансийске, дополняла пространственное покрытие территории России, получаемое с приемных станций в г. Кируне, о. Шпицбергене и г. Пекине.

С использованием полученной информации ERS–2 в ЮНИИ ИТ были выполнены следующие научные проекты ESA Category–1 на территорию Сибири:

- ID 3110 «All – weather detection of forest fires and their consequences in Northern Siberia»;
- ID 3158 «Agricultural applications of remote sensing in West Siberia»;
- ID 3159 «Environmental pollution monitoring of the oil production regions using ERS – 2 data»;
- ID 3161 «Application of remote sensing and GIS for flood monitoring in Western Siberian»;
- ID 3162 «Establishing the system of the near-real time space monitoring of changes in the buffer zone of pipelines with ERS – 2 SAR use»;
- ID 3166 «InSAR application for monitoring of ground displacement in areas of an intensive oil recovery in Western Siberia».

Радарный спутник ERS–2 был запущен в 1995 г. и действовал до 2011 г. Спутник был размещен на солнечно-синхронной орбите. Ее средняя высота – 785 км, наклонение –  $98,5^\circ$  [57]. Солнечно-синхронной называют орбиту, на которой спутник каждый раз проходит одну широту в одно и то же время (обычно – среднее солнечное время). При этом долгота точки пересечения широты от витка к витку меняется, поэтому каждый раз, проходя над одной широтой, спутник производит съемку новую долготы, благодаря чему в архиве ЮНИИ ИТ за период с 2005 г. по 2011 г. был накоплен большой архив радарных КС на

территорию Западной Сибири. В таблице 2.2 представлено описание основных технических характеристик спутника.

Таблица 2.2. Основные технические характеристики космических снимков КА ERS–2

Спектральный диапазон	С-диапазон		
Периодичность съемки, сутки	3 - 17		
Режим съемки	Номинальное пространственное разрешение, м	Ширина полосы съемки, км	Поляризация
Active Microwave Instrument – Synthetic Aperture Radar (AMI-SAR Image Mode)	26 × 30	100	VV

Архив радарных КС сформирован в форматах PRI (Precision Image) и SLC (Single Look Complex Image). Полоса захвата сканера SAR составляет 100 км, интервал между пролетами с полосами перекрытия три дня, интервал между пролетами с полосами перекрытия в половину кадра для северных широт 17 суток, период повторения подспутниковых трасс 35 суток. Поляризация сигнала горизонтальная на прием и на передачу, луч зондирования направлен вправо, длина волны активного зондирования  $\lambda = 5,6$  см.

Для обеспечения автоматизированной обработки данных была разработана технология пакетной обработки при построении кадров в формате PRI радарных изображений ERS–2, принятых ЮНИИ ИТ и хранящихся на лентах DLT. Для обеспечения оперативной обработки КС реализовано управление X-терминалом операционной системы IRIX с виртуальной машины в среде WINDOWS. В результате производительность обработки была увеличена в три раза по сравнению с интерактивным режимом с участием оператора.

В апреле 2014 г. был запущен радарный спутник Sentinel-1A. Проект Европейского космического агентства Sentinel предназначен для поддержки программы Copernicus. Миссия Sentinel-1 [33], представляющая собой группировку из двух радарных спутников на полярной орбите, оснащенных радаром с синтезированной апертурой (SAR), продолжит радарные съемки С-диапазона, начатые спутниковыми системами ERS-1, ERS-2, Envisat (оператор ESA) и RADARSAT-1,2 (оператор-компания MDA, Канада). Второй спутник миссии (Sentinel-1B) был запущен на орбиту в апреле 2016 г. Основные технические характеристики спутника приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные технические характеристики космических снимков КА Sentinel-1

Спектральный диапазон	С – диапазон		
Периодичность съемки, сутки	1–3		
Режим съемки	Номинальное пространственное разрешение, м	Ширина полосы съемки, км	Поляризация
Stripmap (SM; single-look)	5 × 5	80	Двойная (по выбору — HH/HV или VV/VH)
Interferometric Wide Swath (IWS; single-look)	5 × 20	240	
Extra Wide Swath (EWS; single-look)	...	400	
Interferometric Wide Swath (IWS; 3 looks)	25 × 80	240	
Wave mode (WM; single-look)	20 × 5	20 × 20	

В апреле 2015 г. Sentinel-1A приступил к съемке территории Сибири, что позволило продолжить работы по оперативной тематической обработке радарных данных на территории региона.

## 2.2 Оценка решения практических задач использования методов ДЗ при реализации программно-информационной подсистемы мониторинга лесных земель

На основе анализа требований к геоинформационной технологии комплексного мониторинга состояния лесов, сформулированных в разделе 1 диссертационной работы, определен состав разрабатываемой системы мониторинга лесных земель [154, 159, 162], в которую входят следующие компоненты: подсистема картографического обеспечения мониторинга, программное обеспечение геоинформационных систем, база данных о характеристиках лесных земель, прикладные программы анализа состояния лесных земель в условиях воздействия природных и антропогенных факторов, интерфейс предоставления результатов обработки и анализа потребителю. Картографическая база данных включает цифровую карту породного состава лесов ХМАО [128, 144], созданную на основе обработки КС среднего пространственного разрешения с КА Landsat и карту пожарной опасности.

В работе [25] описаны критерии оценки качеств изображений. Это критерии верности воспроизведения. Исследования данной работы включали в себя оценку решения практических задач использования методов ДЗ в условиях ХМАО. В теории принятия решений не найдено общего метода выбора критериев оптимальности. В основном руководствуются опытом или рекомендациями. В диссертационной работе с учетом цели мониторинга состояния лесных земель была выбрана двухкритериальная оптимизация, критериями в которой являются «качество» и «цена». Это наглядно позволяет учесть производственно-технические (качество продукции) и экономические (цена) требования. В аспекте решаемой задачи продукцией является информация о состоянии лесных земель.

Поэтому автором предложен следующий критерий оптимальности

$$E = \frac{fT}{S} = \min, \quad (2.1)$$

где  $T$  – время, необходимое для выполнения работы по тематическому анализу;

$S$  – площадь исследуемого объекта;

$f$  – показатель формы объекта, определяемый отношением квадрата периметра объекта ( $p^2$ ) к его площади ( $S$ )

$$f = \frac{p^2}{4\pi S} . \quad (2.2)$$

Исследование зависимости (2.2) показателя формы объекта  $f$  от пространственного разрешения (дискретизации) КС для выборки из 185 объектов различной формы и площади, в том числе 113 объектов природного характера (лесные гари) и 72 объекта техногенного характера (линейные и площадные объекты НГК).

На рисунке 2.1 представлены примеры изображений одного и того же объекта, полученные при обработке КС с разной дискретизацией. На рисунке 2.1, *а* приведен контур объекта с низкой дискретизацией, показатель формы объекта для которого  $f = 92,6$ . На рисунке 2.1, *б* приведен контур объекта с высокой дискретизацией, показатель формы объекта для которого  $f = 53,3$ .

Таким образом, значение показателя формы объекта  $f$  уменьшается при использовании КС с высокой дискретизацией, при этом качество результата обработки КС повышается.

Минимизация критерия (2.1) с учетом формулы (2.2) есть поиск оптимального варианта использования системы мониторинга лесных земель на основе ДЗ для конкретных лесных участков.

При умножении критерия (2.1) на стоимость КС, формируемую оператором космической системы ДЗ, возникает вариант оценки затрат получения полезной информации с использованием КС для конкретного участка территории.

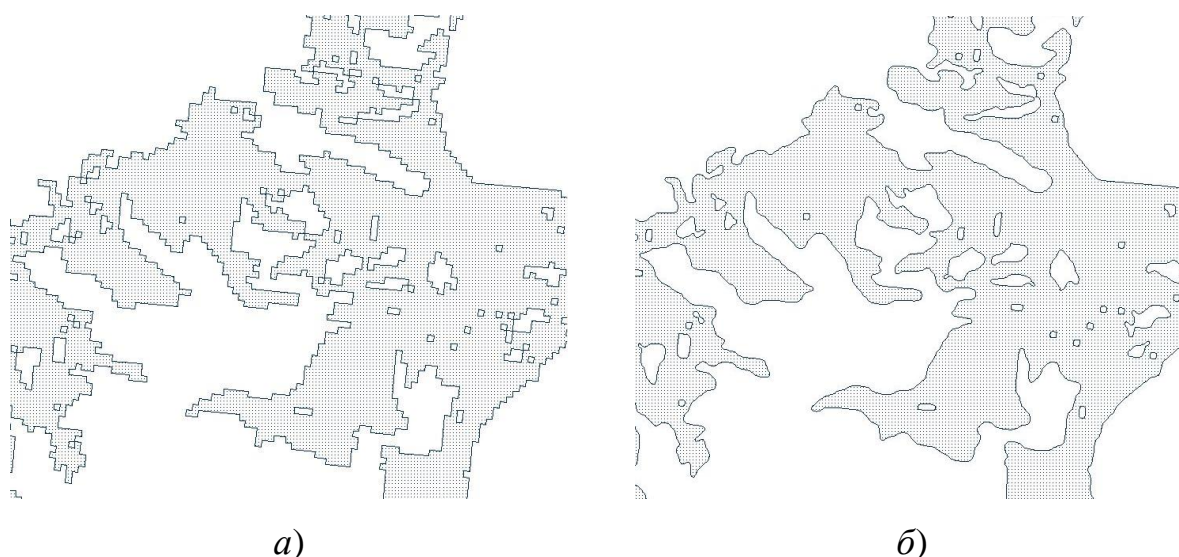


Рисунок 2.1 – Фрагменты изображений объектов (лесная гарь) на снимках:  
 а) с низкой дискретизацией; б) с высокой дискретизацией

Пример возможной оценки затрат на получение информации ДЗ для территорий Ханты-Мансийского автономного округа, в границах которых проводится обнаружение лесных пожаров и их вероятных последствий (лесные гари и горельники) средствами космического мониторинга. Для территории округа определены участки, отнесенные к зонам авиапатрулирования авиационными отделениями службы авиационной и наземной охраны лесов и участки, отведенные для космического мониторинга (рисунок 2.2). Как видно из схемы, основная часть территории контролируется авиационными наблюдениями. Синим цветом на схеме показаны участки (19,66 % от общей площади), контроль за состоянием лесных земель на которых осуществляется с применением космического мониторинга. Распределение площади по зонам ответственности и ориентировочные стоимости КС за единицу площади представлены в таблице 2.4. В качестве примера приведены стоимости космических снимков с КА БКА (Беларусь) с пространственным разрешением 2,1 м/пиксел и с КА KazEoSat-1 (Казахстан) с пространственным разрешением 1 м/пиксел.

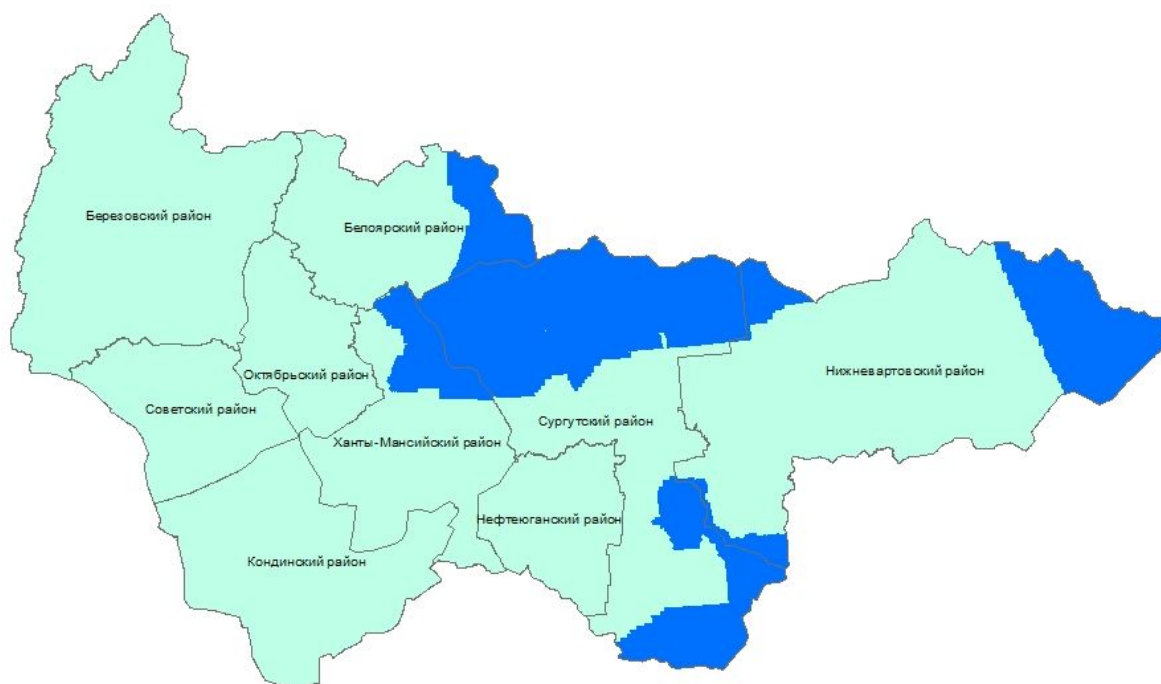


Рисунок 2.2 – Схема распределения зон авиационного (участок голубого цвета) и космического (участок синего цвета) мониторинга территории округа

Таблица 2.4 – Оценка затрат на получение информации ДЗ для отдельных территорий

Общая площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Площадь авиапатрулирования, тыс. км <sup>2</sup>	Площадь мониторинга, тыс. км <sup>2</sup>	Доля площади наблюдения мониторингом от общей площади, %	Стоимость получения космических снимков, \$	
				2,1 м/ пиксел	1 м/ пиксел
53643,401	43097,753	10545,648	19,66	1,5 / км <sup>2</sup>	9,0 / км <sup>2</sup>

На рисунке 2.3 представлена обобщенная структурная схема разработанной подсистемы мониторинга лесных земель, ориентированной на совместном использовании программного обеспечения ГИС, данных ДЗ и результатов их тематической обработки.

В состав программного обеспечения включены стандартные пакеты программ ГИС и разработанное специальное программное обеспечение мониторинга состояния лесных земель. Разработанная схема рассмотрена в авторских работах [162, 161].



Рисунок 2.3 – Обобщенная схема подсистемы мониторинга лесных земель

В качестве стандартных пакетов программ ГИС использованы ERDAS Imagine и ArcGIS.

Программное обеспечение ERDAS Imagine включает в себя функции системы обработки изображений, аппаратные средства графического отображения и географическую информационную систему (ГИС).

Пакет программного обеспечения ERDAS Imagine использует

иерархическую объектноориентированную архитектуру, позволяющую использовать как растровые изображения, так и топологические векторные данные. Растровые изображения хранятся в \*.img файлах, векторные слои являются покрытиями, основанными на ARC/INFO модели данных.

Растровые данные могут быть использованы в тематических задачах:

- выбора места;
- разработки природных ресурсов;
- эксплуатации нефтегазовых месторождений;
- планирования хозяйственной деятельности;
- обнаружения изменений территорий;
- векторные данные используются для следующих задач:
- планирования освоения территорий;
- проектирования транспортных и связных коммуникаций.

Преимущество интегрированной растровой и векторной системы ERDAS Imagine состоит в совместном использовании разных форматов данных и возможности доступа к функциям систем обработки разных типов пространственных данных.

В состав ERDAS Imagine включен пакет сервисных программ для улучшения изображения. Это, в основном, механизм коррекции, позволяющий улучшить качество изображения (Фурье-анализ, фильтры высоких и низких частот, кубическая интерполяция). Функции редактирования можно применять ко всему изображению в целом, или к отдельной области изображения. С другой стороны, представляющая интерес область может охватывать несколько файлов изображения. В этом случае ERDAS Imagine дает возможность объединить несколько файлов изображения для создания одного файла мозаичного изображения.

Для систематизации и эффективной обработки геопространственных данных для конкретного проекта в ERDAS Imagine возможно создание базы данных слоев, охватывающих пространственную область исследования.

Созданная с помощью ERDAS Imagine база данных может состоять из:

- непрерывных слоев (спутниковых изображений, аэрофотоснимков);
- тематических слоев (землепользования, растительности, гидрологии, почв и т. п.);
- векторных слоев (гидрография, линии коммуникаций нефтегазового хозяйства, линий связи, различных земельных участков и т. п.);
- статистических данных;
- атрибутивных данных.

Особенностью программного обеспечения ERDAS Imagine является возможность создания собственных алгоритмов обработки геопространственных данных с помощью модуля ERDAS Modeler и возможности написания макросов обработки в ERDAS Macro Language.

ArcGIS позволяет легко создавать компоновки геопространственных изображений для наглядности представления результатов обработки. Достоинством пакета является полная совместимость геопространственных изображений как векторных, так и растровых форматов.

В состав прикладного программного обеспечения включаются стандартные пакеты программ (например, статистической обработки и анализа данных типа STATISTICA, STATGRAPHICS) и прикладные специальные программы, созданные для решения конкретных задач мониторинга состояния лесных земель.

### 2.3 Информационное обеспечение подсистемы мониторинга лесных земель

К информационному обеспечению разработанной подсистемы мониторинга лесных земель относятся базы данных о состоянии лесных земель и базы спутниковых данных. Базы данных о состоянии лесных земель включает результат тематической обработки космических снимков и информацию Государственного лесного реестра (ГЛР) с описанием характеристик лесных участков.

В таблице 2.5 приведен перечень основных наблюдаемых показателей

мониторинга, сформированных с учетом требований Приказа Министерства экономического развития РФ от 26.06.2015 г. №П/343 «Об утверждении Порядка организации деятельности и взаимодействия территориальных органов и структурных подразделений Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии при осуществлении государственного мониторинга земель» [104].

Таблица 2.5 – Показатели мониторинга состояния лесных земель

Наблюдаемый процесс на лесных землях	Показатель мониторинга состояния земель		Используемые данные ДЗ
	Количественный	Качественный	
Нарушение земель, в том числе в результате лесной вырубki или лесного пожара	Общая площадь и изменение площади в наблюдаемый период времени	Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазон
Захламление, в том числе порубочными остатками		Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазон
Подтопление		-	Оптический и радарный диапазон
Проведение рекультивационных работ с посадкой лесных насаждений		Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазон
Загрязнение химическими веществами		Степень развития процесса	Оптический и инфракрасный диапазон
Загрязнение нефтью и нефтепродуктами		-	Оптический и инфракрасный диапазон

Созданию базы спутниковых данных предшествовала аналитическая работа по подбору изображений различных спектральных каналов, подходящих для обнаружения изменений природного и техногенного характера на лесные земли.

В качестве примера на рисунке 2.4 представлены изображения одного и того же участка в спектральных каналах с длинами волн 0,5–0,59 мкм, 0,6–0,69 мкм и 0,81–0,90 мкм. Анализ спектральных каналов снимка показывает, что для определения, например, контура лесной гари можно исключить из обработки снимки в спектральном диапазоне длин волн 0,61–0,69 мкм (рисунок 2.4, б), так

как на них контуры лесной гари практически неразличимы на фоне окружающего леса, что наглядно видно на рисунке 2.4.

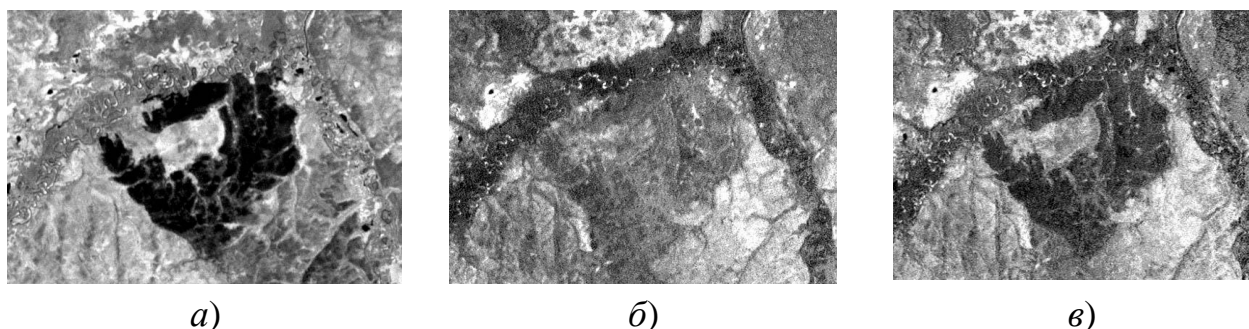


Рисунок 2.4 – Изображения участка лесной гари в разных спектральных каналах оптического диапазона: а)  $\lambda = 0,81-0,9$  мкм; б)  $\lambda = 0,61-0,69$  мкм; в)  $\lambda = 0,5-0,59$  мкм

В результате было установлено, что для выявления изменений техногенного характера, имеющих, как правило, более высокую яркость на снимке по сравнению с яркостью окружающего фона, следует выбирать изображения, полученные в спектральном диапазоне 0,61–0,69 мкм. Изображения, полученные в спектральном диапазоне 0,5–0,59 мкм также подходят для обнаружения изменений, но амплитуда яркости объектов на снимке в этом случае меньше. А в диапазоне волн 0,81–0,9 мкм техногенные изменения плохо различимы, поэтому их не рекомендуется использовать для выявления изменений на лесных землях.

Для обнаружения и картографирования объектов НГК на лесных землях возможно применение [5] спутниковых снимков среднего пространственного разрешения (3–30 м). Для проведения более точных численных оценок необходимо использовать снимки с высоким пространственным разрешением (0,3–3 м). Изложенные [5] требования к выбору спектрального диапазона и пространственного разрешения спутниковых снимков справедливы при обнаружении как линейных объектов (дороги, линии электропередач, трубопроводы и др.), так и площадных объектов (лесные рубки, лесные гари, технологические площадки объектов НГК) при контроле целевого использования

лесного фонда.

В связи с большим числом дней в году, в течение которых территория севера Сибири экранирована облачностью [91, 148] или недостаточно освещена, в авторских работах [55, 63, 64, 21, 161, 164] проведены исследования по выявлению изменений лесных земель с помощью радарных снимков. Признаком дешифрирования в этом случае становится изменение характера отражения радиосигнала из-за появления в лесном массиве неоднородностей, вызванных воздействием факторов природного или антропогенного характера. При этом радарные снимки могут использоваться автономно либо в комбинации с оптическими снимками, что повышает достоверность обнаружения изменений на лесных землях. Эти исследования показали перспективность использования радарных снимков для мониторинга лесных земель.

Одним из вариантов использования радарных снимков является синтез радарного и оптического снимков [63]. Цветное изображение более информативно, чем черно-белое. Поэтому, комбинируя радарный снимок со спектральными каналами оптического снимка, можно получить цветосинтезированное изображение, используемое в качестве дополнительной информации для интерпретации радарного снимка.

Далее необходимо определить последовательность расположения каналов в синтезируемом изображении. Комбинируя каналы в различной последовательности, можно показать, что наилучшей RGB-комбинацией является та, которая соответствует расположению компонент цвета в спектре разложения солнечного излучения: от красного к синему согласно уменьшению длины волны регистрируемого излучения каналов: красный  $\lambda = 5,6$  см (ERS-2\SAR), зеленый  $\lambda = 0,81-0,9$  мкм, синий  $\lambda = 0,5-0,59$  мкм. На рисунке 2.5 показан результат RGB – синтеза комбинации радарного снимка ERS-2 и изображений спектральных каналов с КА Метеор-3М, представленных на рисунке 2.4, а, в.

При указанной комбинации каналов изменения лесных земель (рисунок 2.5), имеющие на радарном снимке более высокую яркость, будут усилены благодаря эффекту синергизма сигналами оптических каналов и лесные

участки на изображении будут иметь красный цвет.

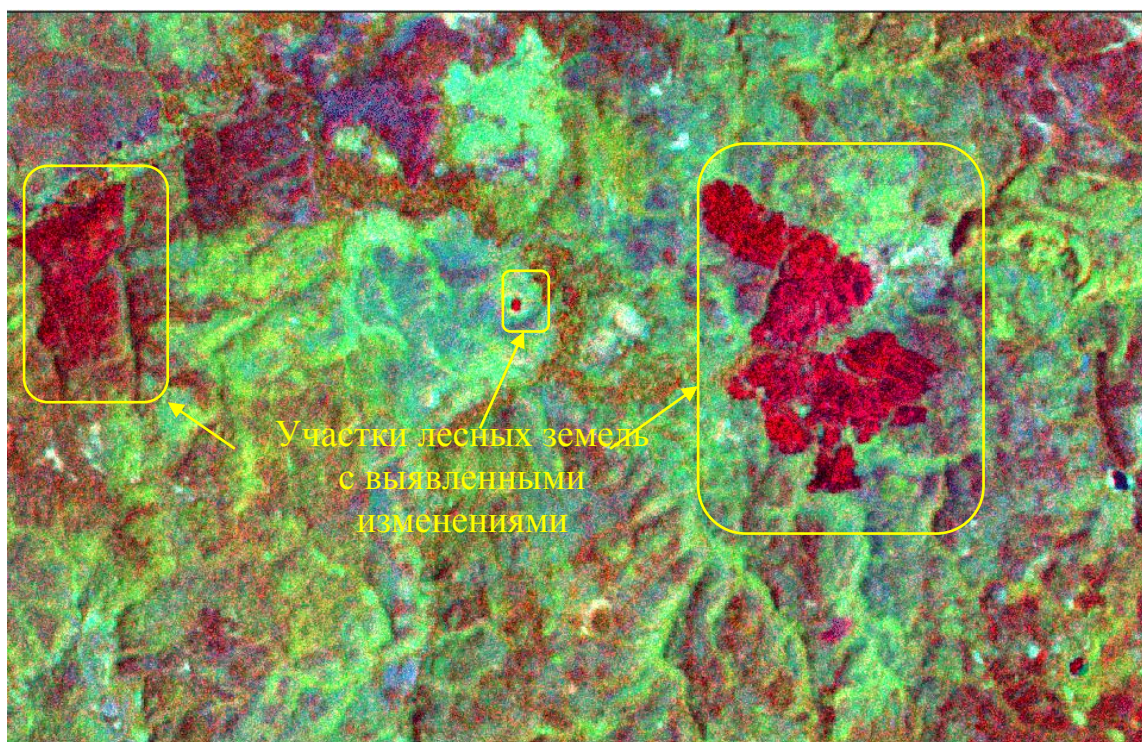


Рисунок 2.5 – RGB-синтезированное изображение из комбинации снимков ERS-2\SAR (Red), Метеор-3М  $\lambda = 0,8-0,9$  мкм (Green) и Метеор-3М  $\lambda = 0,5-0,6$  мкм (Blue)

Лесные участки на снимке, соответствующие участкам без изменения характеристик, будут иметь зеленый цвет. Изменения на лесных участках в этом случае хорошо распознаются на зеленом фоне. Многочисленные эксперименты [63, 62] по синтезу радарных снимков ERS-2 и спектральных каналов многоспектральных оптических снимков подтвердили повышение достоверности дешифрирования лесных гарей на радарных снимках.

Достоверность дешифрирования объектов на земной поверхности, а также полученные оценки геометрических свойств, радиометрического и линейного разрешения на местности позволяют обеспечить совместное использование радарных данных с данными КА Ресурс-П для создания и обновления тематических карт-схем участков лесных земель масштаба 1 : 10 000, с данными КА БКА и Канопус-В масштаба 1 : 25 000, с данными КА Landsat-7, Landsat-8 или Sentinel-2A масштабов 1 : 50 000 и 1 : 100 000.

Погрешность определения пространственных характеристик наблюдаемых объектов на карта-схеме зависит не только от масштаба карт, но и от величины погрешности, допускаемой при подготовке карт-схемы и нанесении на нее пространственных объектов с различными по сложности формами [73]. Координаты пространственных объектов определяются с той же погрешностью, как они наносятся на карты-схемы. Для карт-схем масштаба 1 : 25 000 погрешность составляет 5–7 м, для карт-схем масштаба 1 : 50 000 погрешность составляет 10–15 м, для карт-схем масштаба 1 : 100 000 погрешность составляет 20–30 м.

В таблице 2.6 представлены возможные комбинации КС оптического и радарного диапазонов для создания разновременных синтезированных изображений, используемых в дальнейшем при проведении тематической обработке. В таблице индексом КС<sub>1</sub> обозначены космические снимки, полученные на территорию исследуемого участка до его изменения, а индексом КС<sub>2</sub> – космические снимки, полученные на территорию участка после его изменения. Комбинации могут состоять как из разновременных оптических и радарных КС, так и снимков одного диапазона.

Таблица 2.6 – Комбинации снимков оптического и радарного диапазонов

Канал	Возможные комбинации синтезирования RGB изображения													
	1		2		3		4		5		6		7	
Red	КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>			КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>
Green	КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>			КС <sub>1</sub>	КС <sub>2</sub>			КС <sub>2</sub>		КС <sub>2</sub>		КС <sub>1</sub>
Blue	КС <sub>1</sub>			КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>		КС <sub>1</sub>
Диапазон съемки	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический
Условия	Съемка в условиях облачности или низкой освещенности										Съемка при отсутствии облачности			

В результате проведенных исследований обнаружено, что для достоверного дешифрирования изменений по радарным КС достаточен их синтез с архивными

оптическими снимками, на изображениях которых изменения отсутствуют. На рисунке 2.6 представлен синтез радарного снимка с КА ERS–2, полученного 23.07.2006 г. и снимка с КА Landsat–7, полученного 03.07.2001 г. Изменения в характеристике древостоя на участках лесных земель (участки красного цвета) на результирующем изображении хорошо видны за счет их высокой яркости на радарном снимке. При этом лесные участки с незначительными изменениями характеристик или лесные участки с восстановившимся древостоем, на радарном изображении не выявляются. На рисунке 2.6 ярко-зелеными участками изображены разновременные лесные гарь, видимые на оптическом снимке, полученном в 2001 г. На радарном снимке, полученном в 2006 г., эти участки лесных гарей заросли и не дешифрируются.

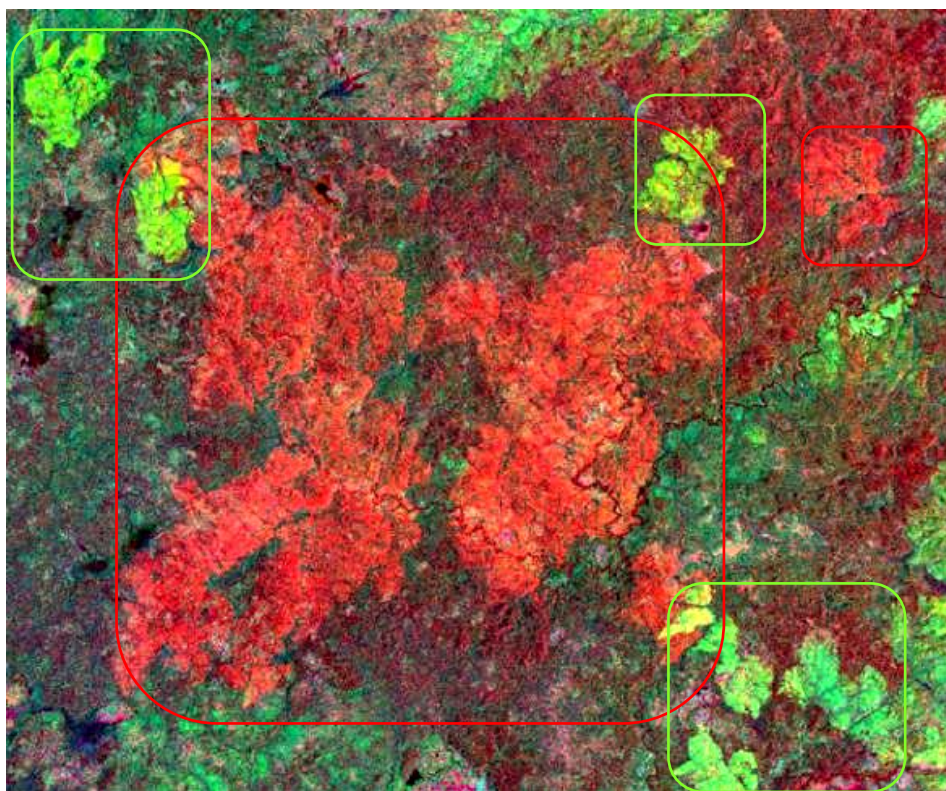


Рисунок 2.6 – Синтезированное изображение архивного снимка с КА Landsat–7 03.07.2001 г. и изображения с КА ERS–2 23.07.2006 г.

Особенностью такого комплексирования разновременных снимков является возможность выделения на изображении областей пересечения контуров лесных

гарей. На рисунке 2.6 такие области имеют желтый цвет. Таким образом, с помощью комплексирования разновременных снимков, можно выявить повторно выгоревшие участки леса. При комплексировании только радарных снимков, несмотря на схожесть подхода, такие участки выделяются намного хуже. В RGB-синтезированном изображении при наложении участков гарей получается цвет, зависящий от используемых спектральных каналов и их расположения в RGB-компоните. При синтезировании изображения из радарных снимков совмещающиеся участки разновременных гарей приобретают близкий к белому цвет, что менее наглядно.

Изменения в состоянии лесных земель дешифрируются также по синтезированному изображению, созданному из разновременным радарных снимков. В качестве примера на рисунке 2.7 представлен результат синтеза трех разновременных радарных снимков с участками лесных гарей.

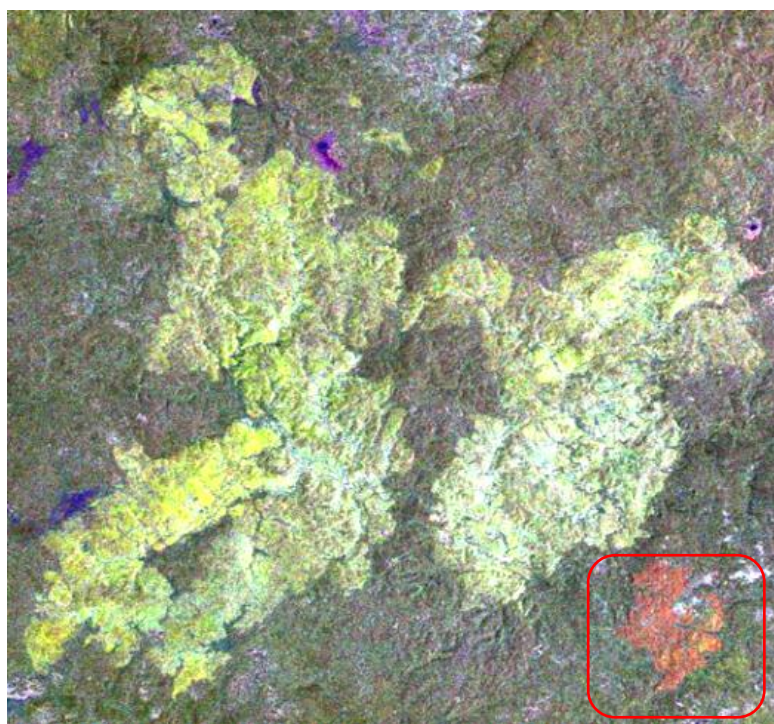


Рисунок 2.7 – Синтезированное изображение из разновременных радарных снимков: 23.07.2006 г. (Red); 18.06.2006 г. (Green); 16.10.2005 г. (Blue)

На результирующем изображении четко различаются разновременные участки лесных гарей. Красным цветом на изображении выделена гая, появившаяся в интервале времени между 18.06.2006 г. и 23.07.2006 г. Более светлые участки гари соответствуют старым гарям (на всех трех составляющих изображение снимках эти участки имеют высокую яркость).

Интересен результат при комбинации каналов радарных снимков, полученных в зимний период. В отличие от оптического диапазона, в котором зимние снимки являются малоинформативными, использование зимних радарных снимков дает дополнительные возможности для анализа полученного материала (рисунок 2.8). При такой комбинации четко разделяются участки болотистой местности, озера, увлажненные и заболоченные участки местности.

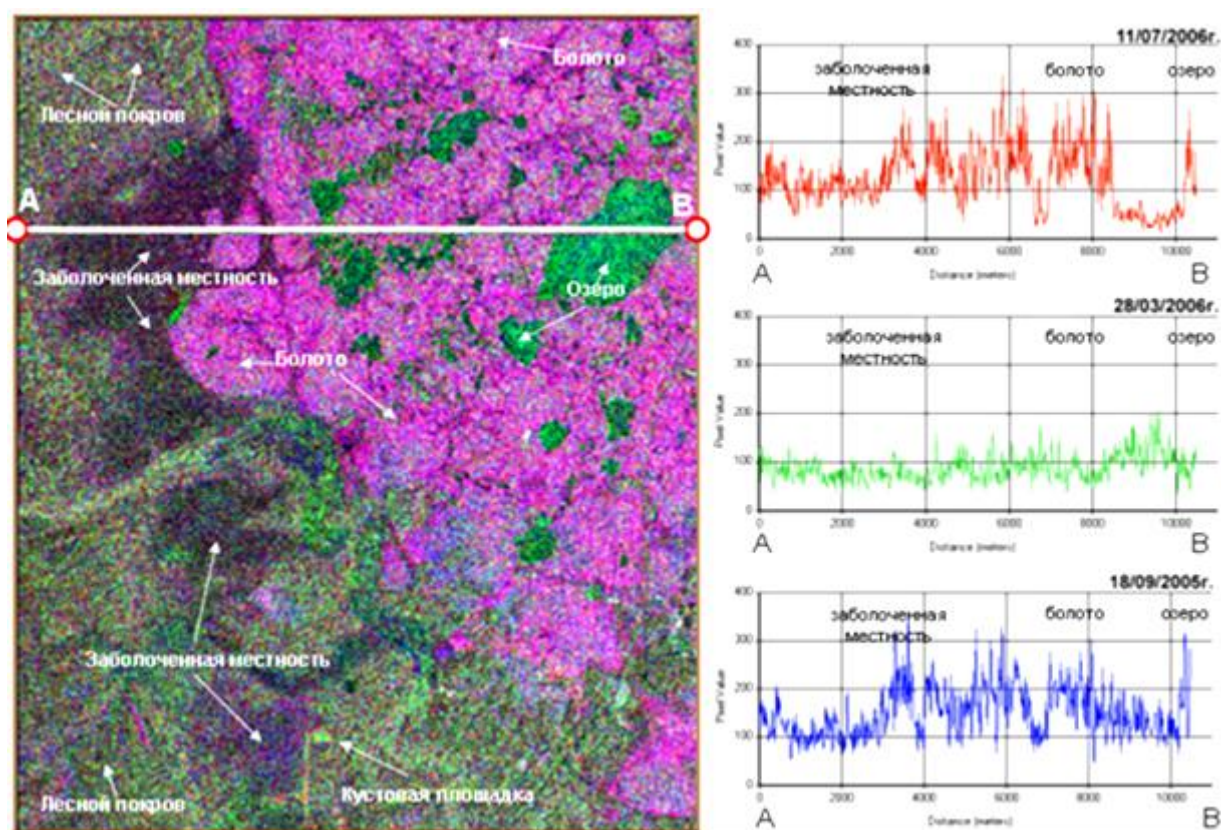


Рисунок 2.8 – Комбинация радарных снимков, полученных в зимний период

На основе информации, получаемой после обработки и анализа КС, создаются тематические карты-схемы, которыми наполняется база данных о состоянии лесных земель региона.

Важными в системе мониторинга лесных земель региона являются вопросы актуализации цифровые карты лесов и карты классов пожарной опасности (КПО). Методические вопросы актуализации карт породного состава лесов на основе КС и существующих материалов лесной таксации разработаны автором и изложены в ряде публикаций. Например, в [23, 144] изложена методика обновления карт породного состава лесов, основанная на использовании оптических спутниковых снимков среднего пространственного разрешения.

В работе [142] автором представлены методические вопросы создания карты КПО. Разработан алгоритм пространственной обработки информации из БАД, определяющий принадлежность каждого лесного выдела к одному из пяти [107] КПО. Схема алгоритма обработки атрибутивных данных для построения цифровой карты КПО приведена на рисунке 2.9.

На рисунке 2.10 представлен результат обработки информации из БАД на основе алгоритма, приведенного на рисунке 2.9. На рисунке 2.10 слева показан лесной участок, раскрашенный по основным лесообразующим породам согласно принятого в лесном хозяйстве стандарта с обозначением номеров лесных кварталов и выделов. На рисунке 2.10 справа этот же участок раскрашен по КПО по пятибалльной шкале оценки [107].

Не закрашенные на картах участки соответствуют исключенным из лесного фонда участкам. Карту КПО можно использовать для оценки степени пожароопасности при различных факторах воздействия на участки лесных земель.

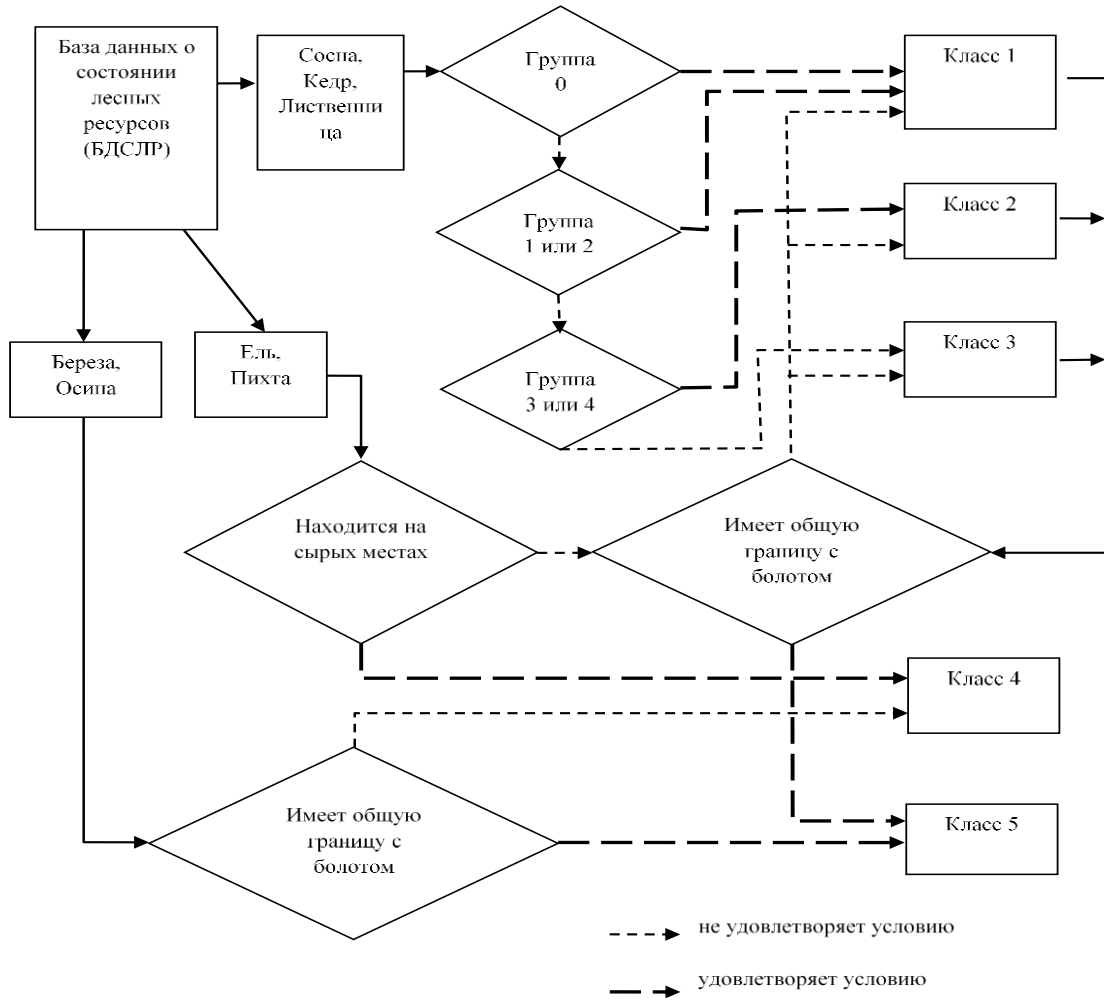


Рисунок 2.9 – Обобщенный алгоритм построения карта-схем КПО

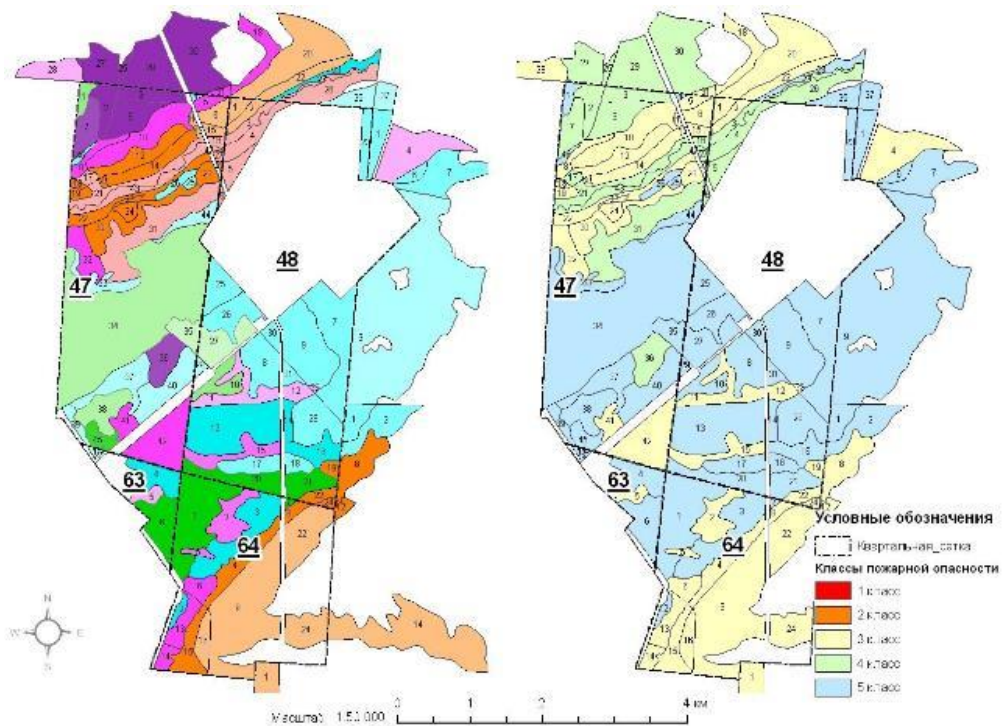


Рисунок 2.10 – Фрагмент подготовленной карта-схемы КПО

## 2.4 Алгоритмы выявления воздействий природных и техногенных факторов

Блок программного обеспечения программно-информационной подсистемы мониторинга лесных земель позволяет осуществить полную технологическую цепочку обработки данных ДЗ, которая состоит из трех основных этапов:

- предварительная обработка космических снимков;
- тематический анализ космических снимков;
- интеграция полученных результатов в геоинформационной системе.

Для анализа КС использованы стандартные пакеты программ ГИС, с помощью которых проводится предварительная обработка КС (ортотрансформирование, нормализация, радиометрическая коррекция, атмосферная коррекция, выравнивание яркости и др.) и их тематический анализ (классификация, спектральный анализ, тематическое дешифрирование и др.).

Для тематической обработки КС используется разработанное специальное программное обеспечение обнаружения и картографирования лесных рубок, участков нефтезагрязнений, лесных гарей, оценки ущерба, нанесенного лесному фонду и статистического анализа данных.

В блоке программ статистического анализа данных реализованы алгоритмы расчета средних значений, доверительных интервалов, коэффициента корреляции, линейной аппроксимации, представленные в [162].

Средние значения анализируемых переменных рассчитываются по формуле

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.3)$$

где  $x_i$  – значение исследуемого параметра;

$n$  – объем выборки;

$i = \overline{1, n}$  .

Ширина доверительного интервала рассчитывалась по формуле

$$I_{\beta} = (X_{cp} - t_{\beta} \sigma_{X_{cp}}; X_{cp} + t_{\beta} \sigma_{X_{cp}}) , \quad (2.4)$$

где  $X_{cp}$  – среднее значение исследуемого параметра;

$t_\beta$  – величина, зависящая от доверительной вероятности;

$\sigma_{X_{cp}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}$  – среднее квадратическое отклонение оценки  $X_{cp}$ ;

$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{cp})^2}{n-1}$  – оценка дисперсии.

Коэффициент корреляции рассчитывался по формуле

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (2.6)$$

где  $\sigma_x, \sigma_y$  – средние квадратические отклонения значений случайных величин  $x_i$  и  $y_i$ ;

$$K_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{cp})(y_i - Y_{cp})}{n} \text{ – корреляционный момент;} \quad (2.7)$$

$X_{cp}, Y_{cp}$  – средние значения случайных величин  $x_i$  и  $y_i$ ;

$x_i, y_i$  – значения исследуемых параметров.

При сглаживании экспериментальных зависимостей используется уравнение линейной аппроксимации в виде

$$y = \frac{K_{xy}}{D_x} x + Y_{cp} - \frac{K_{xy}}{D_x} X_{cp}, \quad (2.8)$$

где  $K_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - X_{cp} Y_{cp}$  – корреляционный момент; (2.9)

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - X_{cp}^2 \text{ – оценка дисперсии.} \quad (2.10)$$

Обрабатываемые изображения могут включать несколько спектральных диапазонов информации. Каждый диапазон представляет собой набор значений для определенной части электромагнитного спектра (красного, зеленого, синего), создаваемую комбинированием различных каналов или формированием диапазонов из других источников. Все типы земной поверхности – водные объекты, различного вида растительность, дороги и т. п. – поглощают часть

электромагнитного спектра, давая распознаваемые значения электромагнитного излучения. Зная, какие длины волн поглощаются поверхностью того или иного объекта можно анализировать изображения дистанционного зондирования и проводить обработку с целью получения требуемого результата.

Обработка разновременных изображений оптического и радарного диапазонов позволяет выявить изменения, вызванные воздействиями природного или техногенного характера.

На рисунке 2.11 схематично представлена реализация алгоритма выявления изменений на оптических снимках. Важным шагом является выбор оптимального спектрального канала, так как это влияет на результат выявления изменений. После подбора временного интервала анализа и выбора соответствующих изображений начального (время  $t$ ) и конечного (время  $t + \Delta t$ ) временного интервала проводится сравнение изображений.



Рисунок 2.11 – Алгоритм выявления воздействий природных/антропогенных факторов с использованием снимков оптического диапазона

Сравниваются спектральные яркости выбранных диапазонов съемки. Подбор порога сравнения позволяет настроить алгоритм сравнения в зависимости

от требуемого результата. Поскольку изменения могут быть обусловлены как за счет увеличения спектральной яркости (например, новые объекты), так и уменьшения спектральной яркости (усиление природного фактора антропогенных объектов) сравниваемых изображений, алгоритмом предусмотрено обработка обоих случаев с настраиваемым порогом сравнения. На результирующем разностном изображении отображаются все выявленные изменения.

Алгоритмы обработки природного и техногенного характера отличаются, как правило, выбором определенного спектрального диапазона. Для антропогенных факторов воздействия (строительство и обустройство объектов нефтегазового комплекса на территории лесного фонда) наиболее оптимальным является спектральный диапазон 0,6–0,7 мкм [56, 157, 162]. Для выявления воздействий природных факторов, например, лесных пожаров, наиболее эффективно использование изображений в спектральном диапазоне 0,8–0,9 мкм.

Из разновременных радарных изображений формируется многоканальное изображение, которое после проведения предварительной обработки дешифрируется с использованием бинарной классификации. Для этого необходимо иметь как минимум два разновременных изображения, при увеличении количества используемых изображений определение границ классов осуществляется с большей точностью.

Основные результаты исследования были получены на основе обработки данных радарной съемки с КА ERS–2. В настоящее время, с апреля 2015 г., для обеспечения задач мониторинга территории Западной Сибири доступна информация с радарного КА Sentinel–1A. Современные возможности тематической обработки радарных КС представлены [57, 174].

## 2.5 Выводы по второму разделу

Актуальность проведения дистанционного мониторинга состояния лесных земель территорий севера Западной Сибири с использованием данных ДЗ обусловлена рядом факторов. Основными из них являются сложные природно-

климатические условия региона и труднодоступность территорий. При этом, интенсивное промышленное освоение территорий, связанное с развитием нефтегазового комплекса Западной Сибири, влечет за собой активные процессы изменения состояния лесных земель. Обширные территории региона не позволяют обеспечить мониторинг состояния земель существующими наземными и авиационными средствами наблюдений. Поэтому, использование КС является перспективным.

Для решения методических вопросов создания подсистемы мониторинга состояния лесных земель определен критерий поиска оптимального решения задачи мониторинга земель для конкретных участков лесных земель. Представлено описание основных характеристик космических систем и их возможности для решения поставленных в работе задач. Разработаны требования к выбору спектральных каналов и пространственному разрешению спутниковых снимков для выявления воздействий антропогенных и природных факторов на лесные земли. На основе требований определен перечень используемых спутниковых данных.

Определена обобщенная схема системы мониторинга состояния лесов в условиях воздействия природных и антропогенных факторов и описаны составные компоненты системы. Определен состав общего и прикладного программного обеспечения, необходимого для функционирования подсистемы мониторинга состояния лесов.

Совокупность представленных методических решений составляет методику мониторинга лесных земель на основе комплексного использования КС оптического и радарного диапазонов. Внедрение разработанной методики позволяет обеспечить проведение оперативных наблюдений при осуществлении государственного мониторинга земель. Экспертная оценка обеспеченности информацией для конкретного участка территории при этом возрастает до 80 %.

### 3 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ОПТИЧЕСКОГО И РАДАРНОГО ДИАПАЗОНОВ

#### 3.1 Разработка и программная реализация алгоритма обработки комбинаций радарных и оптических снимков

Для практической реализации разработанной методики мониторинга лесных земель было разработано следующее программное обеспечение:

- специальное программное обеспечение мониторинга состояния лесных земель по космическим снимкам оптического и радарного диапазонов;

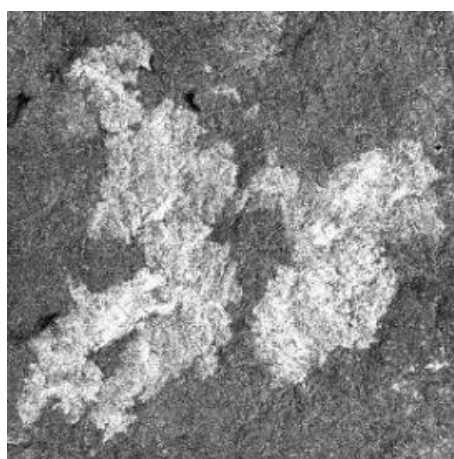
- база данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО», содержащая информацию о количественных и качественных характеристиках состояния лесных земель, полученную на основе обработки космических снимков;

- специализированный геопортал для представления результатов тематической обработки широкому кругу пользователей <http://geoport.ural.ru/arcgis/home/projects.html>.

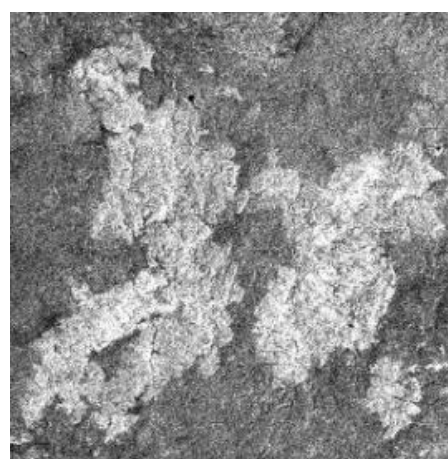
В качестве исследуемых объектов рассмотрены участки лесных гарей, находящиеся на лесных землях. Дешифрирование и картографирование таких участков является наиболее сложным процессом в связи с неоднородностью состава лесного покрова в границах участка и сложной геометрической формы таких объектов.

Дешифрировать изменения состояния земель с использованием КС можно двумя способами: визуально либо с использованием программных средств обработки изображений. Первый способ используется в случаях, когда автоматизированное определение контура объекта затруднено. Второй способ определения контура объекта является более точным, менее трудоемким и потому наиболее предпочтительным.

На рисунке 3.1 в качестве примера обнаружения лесной гари представлены два снимка на одну и ту же территорию с интервалом получения съемки в один месяц. На рисунке 3.1, б в нижнем правом углу снимка видна появившаяся лесная гарь периода. Представленные на рисунке 3.1 участки лесных гарей видны и при визуальном сравнении снимков, однако цветосинтезированное изображение позволяет выявить на снимке множество других, более мелких изменений.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Изображение участка лесной гари на радарных снимках:

а) 18.06.2006 г.; б) 23.07.2006 г.

В качестве примера приведем результат цветосинтезированного изображения, полученного с использованием радарных снимков ERS–2 на рассмотренный ранее участок гари (рисунок 3.2). На цветном изображении хорошо видны разновременные участки гарей, небольшие водные объекты. Красным цветом выделен участок лесной гари, появившийся во временном интервале между 18.06.2006 г. и 23.07.2006 г. Более светлые участки гари соответствуют гарям прошлых лет. На всех трех исходных снимках цветосинтезированного изображения эти участки имеют высокую яркость. Цветовая палитра созданного цветосинтезированного снимка зависит от комбинации каналов на RGB-снимке. Предпочтительнее располагать радарные снимки в хронологическом порядке, при этом упрощается интерпретация произошедших изменений.

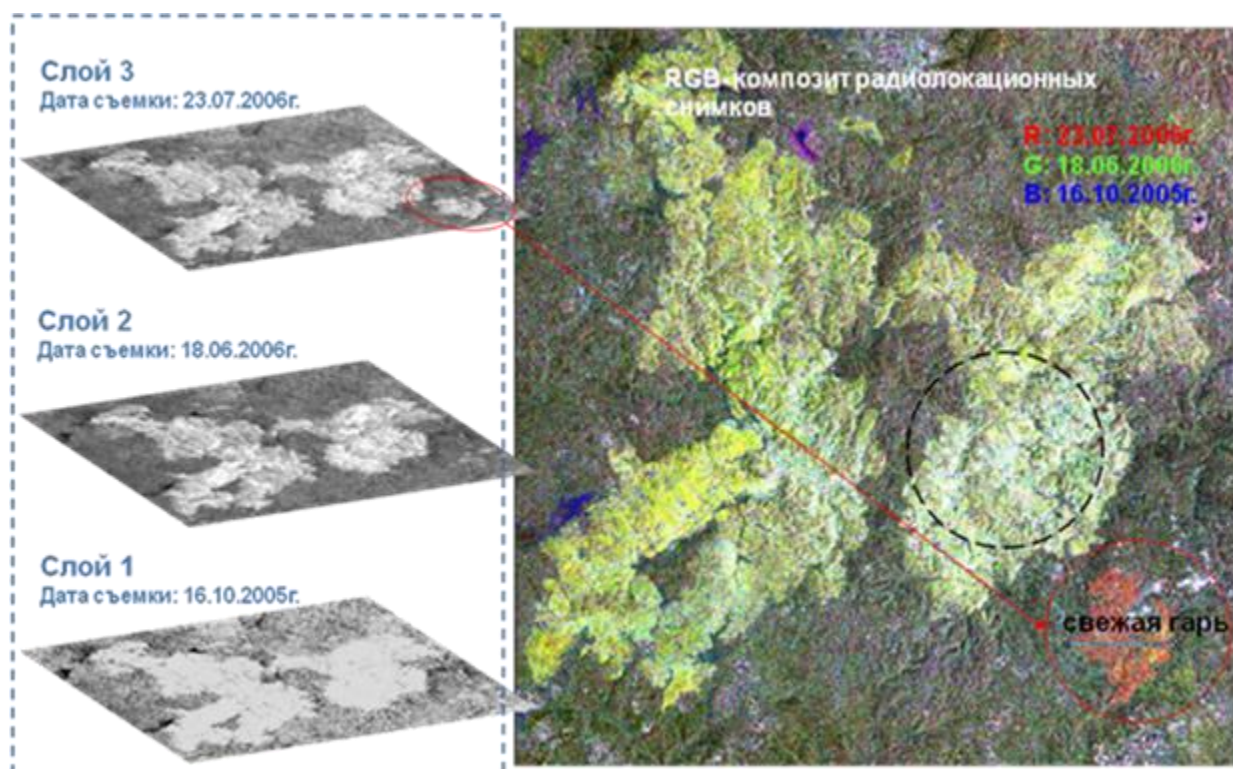


Рисунок 3.2 – Формирование цветосинтезированного изображения из  
разновременных радарных снимков

Одним из результатов диссертационного исследования явилась разработка и программная реализация специализированного алгоритма обработки радарных снимков. В исходном виде радарный снимок, представляющий собой черно-белое радиояркое изображение, не может быть использован для задач дешифрирования изменений на лесных землях. Дело в том, что радарное изображение не имеет четкой структуры, в точности повторяющей характер подстилающей поверхности. В силу физических свойств получения радарного изображения на снимке присутствуют хаотически расположенные пиксели шума, так называемый спекл-шум. Так как информативность цветного изображения выше, чем у исходного радарного снимка, для упрощения распознавания (дешифрации) текстуры подстилающего изображения радарного изображения создается RGB-синтезированное изображение, состоящее из разновременных КС.

Для обработки по такому алгоритму достаточно иметь два разновременных радарных изображения, однако с увеличением количества используемых

изображений границы классов дешифрируемых объектов определяются с большей точностью. Данный алгоритм показал хорошие результаты [63, 62, 64, 161] при определении границ и площадей лесных гарей на лесных землях. Результаты работы на основе радарных КС с КА ERS–2 использованы при выполнении научного проекта Category 1 ID 3110 «All-weather detection of forest fires in Northern Siberia», поддержанного Европейским космическим агентством. В настоящее время, с апреля 2015 г., для обеспечения задач мониторинга территории Западной Сибири доступна информация с радарного КА Sentinel–1A [126, 171, 188].

Основные этапы разработанного автором алгоритма [162] обработки комбинаций космических снимков схематично представлены на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Алгоритм обработки комбинаций разновременных космических снимков для выявления изменений на лесных землях

Результатом обработки являются подготовленные тематические карты-схемы выявленных изменений на лесных землях. Алгоритм реализован следующим образом. Из разновременных изображений оптического и (или)

радарного диапазона формируется синтезированное изображение, которое после проведения предварительной обработки дешифрируется с использованием бинарной классификации.

Важным этапом в алгоритме является фильтрации изображения, от качества проведения которой зависит конечный результат обработки КС. Так как обработка изображения, проведенная до удаления спеклов, приводит к интегрированию шумов в изображение и деградации изображения в целом, следует до начала обработки провести фильтрацию изображения [36, 87]. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании медианного фильтра.

Используемый Radar module ERDAS Imagine включает несколько алгоритмов снижения влияния спекл-шума, основанных на использовании усредняющих, медианных фильтров, сигма-фильтрах, локально-региональных и локально-статистических фильтров.

На рисунке 3.4 представлен пример обработки импульсной помехи разными типами фильтров.

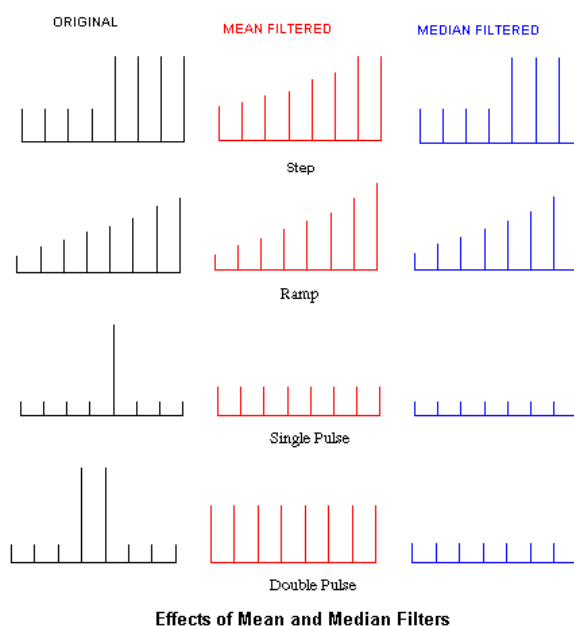


Рисунок 3.4 – Пример фильтрации импульсной помехи усредняющим и медианным фильтрами

При применении всех типов фильтров для снижения спекл-шума имеет место выбор между снижением влияния шума и потерей пространственного разрешения изображения [190]. Любой набор данных и каждая область применения будет иметь свой, отличный от других, приемлемый баланс между этими двумя факторами. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании медианного фильтра и сигма фильтра.

Медианная фильтрация представляет собой усреднение значений пикселей изображения соответствующей окрестности (в пределах скользящего окна). Медианный фильтр уменьшает искажение границ сегментов изображения, обрабатывая входное изображение в соответствии с формулой

$$y_k = \text{med}(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+n-1}, x_{k+n}), \quad (3.1)$$

где  $\text{med}(x_1, \dots, x_m, \dots, x_{2n+1}) = x_{n+1}, x_m$  – элементы вариационного ряда.

В результате фильтрации дешифровочные свойства изображения повышаются. В качестве иллюстрации на рисунке 3.5 представлены изображения результатов двумерных спектральных сигнатур оценки делимости классов для двух случаев – без проведенной предварительной фильтрации (рисунок 3.5, а) и после проведения фильтрации радарного изображения (рисунок 3.5, б).

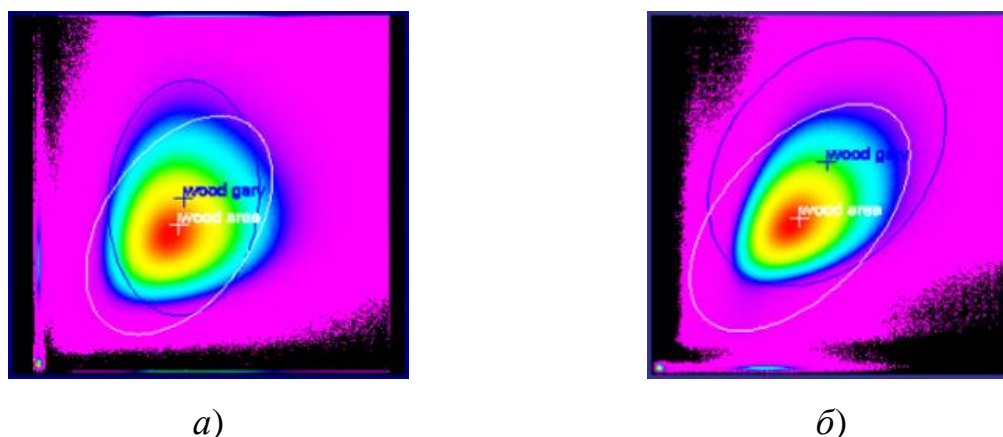


Рисунок 3.5 – Двумерная спектральная сигнатура оценки делимости классов изображения: а) до проведения фильтрации; б) после проведения фильтрации

Как видно из рисунка, после проведения фильтрации разделимость классов увеличивается, что повышает достоверность дешифрирования участков изменений лесных земель на радарном снимке методом бинарной классификации.

Бинарная классификация изображения проводится на основе заранее подобранных эталонов классов. Результирующее изображение, разделенное на два класса после проведения бинарной классификации, включает в себя множество различных по величине объектов. Мелкие объекты, характер образования которых может быть случайным из-за влияния спекл-шума, «поглощаются» при генерализации более крупными объектами.

При достижении достаточного качества результирующего растрового изображения проводится его векторизация, построение векторного контура и расчет площади наблюдаемого объекта. Частичное попадание в класс объектов других участков устраняется в дальнейшем экспертным методом.

Проведенные при непосредственном участии автора полевые работы на территории ХМАО позволили сформировать набор тестовых участков с эталонами классов на лесных землях для их последующего достоверного дешифрирования по КС. Примеры изображений лесных земель с различным состоянием древостоя после прохождения пожаров представлены на рисунке 3.6.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Участки лесных земель: а) с погибшим древостоем в результате интенсивного низового пожара; б) с частично поврежденным древостоем в результате низового пожара

На синтезированном радарном изображении хорошо различимы участки лесных гарей прошлых лет с погибшим древостоем (рисунок 3.6, *а*). Участки лесных гарей текущего года и горельники (рисунок 3.6, *б*) на радарных снимках различаются хуже, так как оставшаяся листва и хвоя на деревьях является причиной рассеивания радиоволн.

На рисунке 3.7 графически представлены результаты основных этапов разработанного алгоритма обработки.

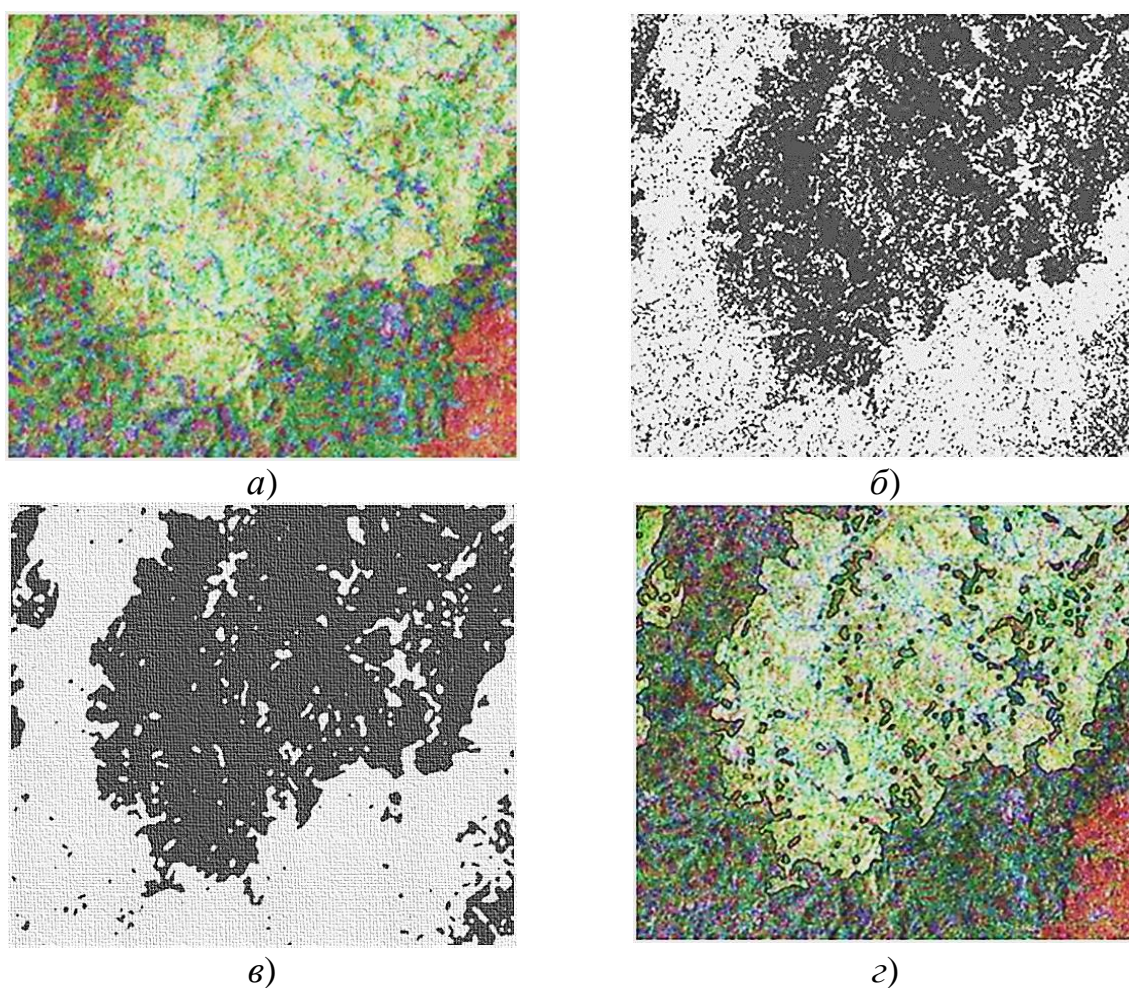


Рисунок 3.7 – Результаты этапов обработки комбинаций радарных снимков: *а*) синтезированное разновременное изображение; *б*) после проведения бинарной классификации; *в*) после проведения медианной фильтрации; *г*) полученный векторный контур границ наблюдаемого объекта (лесная гарь), совмещенный с исходным изображением

Результат построения векторного контура исследуемого объекта приведен на рисунке 3.8.

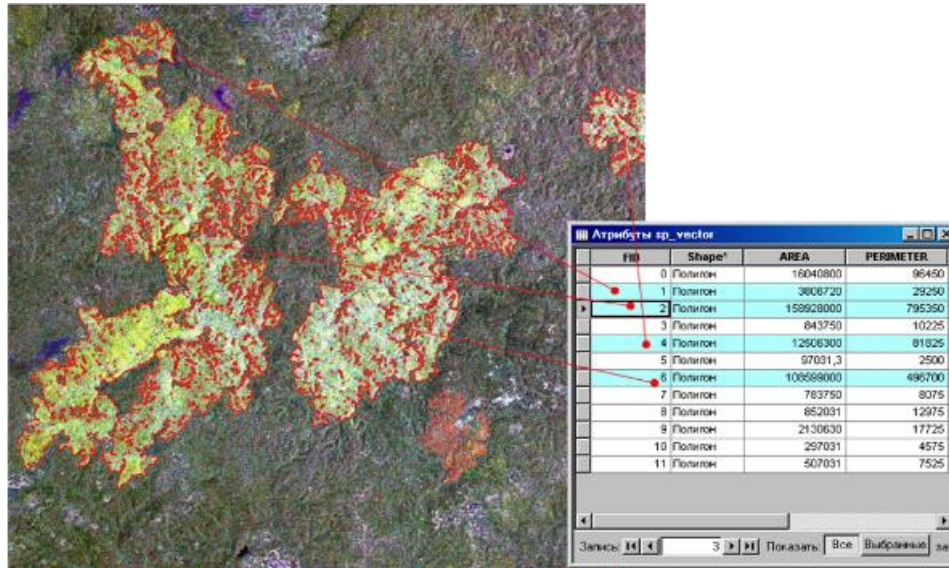


Рисунок 3.8 – Расчет количественных показателей на исследуемом участке лесной гари по сформированному векторному контуру

Представленный алгоритм обработки комбинированных изображений реализован на языке программирования ERDAS Macro Language в виде отдельной программы, рисунок Б.3 (приложение Б) [140]. На рисунке 3.9 представлен внешний вид реализованной программы.

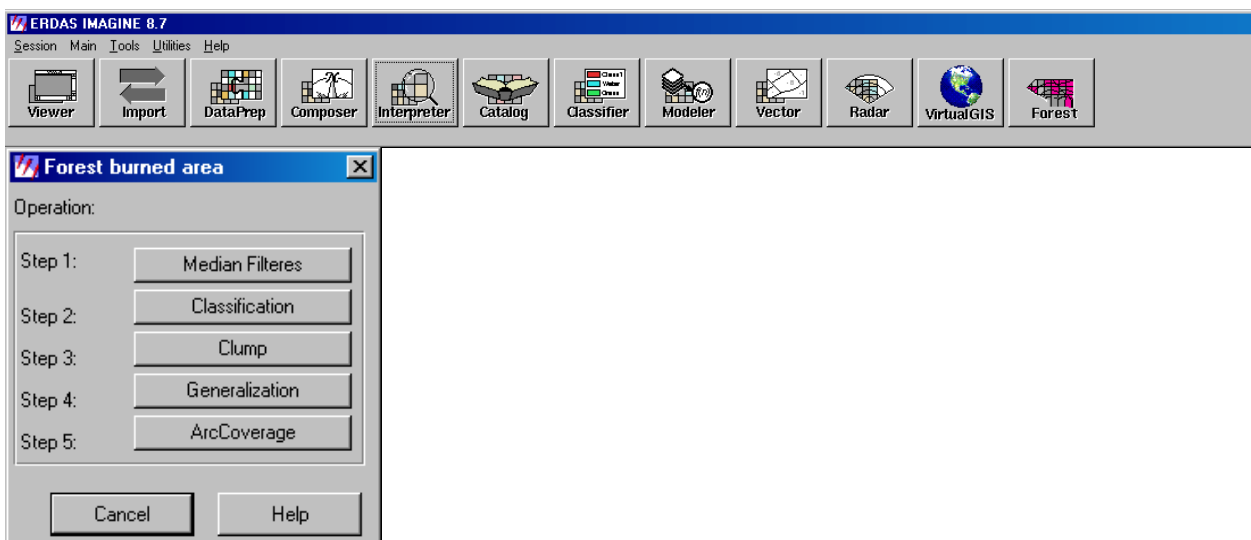


Рисунок 3.9 – Внешний вид реализованной программы в интерфейсе ERDAS Imagine

Для проведения оценки точности определения площадей объектов на лесных землях проведен сравнительный анализ по КС оптического диапазона на отдельно взятых тестовых участках. На тестовых участках, расположенных в северо-восточной части ХМАО, была подобрана серия разновременных снимков за временной интервал с 2005 г. по 2008 г. Общее количество подобранных кадров – 11, снимки по времени охватывают все сезоны. Из подготовленных кадров было составлено несколько многовременных цветосинтезированных снимков и проведен поиск наилучших разновременных комбинаций, на которых участки лесных гарей наиболее контрастно определяются на окружающем их фоне. Анализ всех возможных комбинации снимков показал, что четкую границу перехода «гарь-не гарь» невозможно указать однозначно на радарных снимках. Следовательно, при обработке радарного снимка возможны погрешности определения границ выгоревших участков леса, приводящие к погрешности при расчете площадей гарей.

Точность определения площади объекта (рубки, лесной гари) на КС зависит от размера исследуемого объекта, формы объекта и пространственного разрешения КС. Для расчета точности определения площади объекта используется формула [7, 146]

$$m_s = m_{xy} \frac{P}{\sqrt{(1+2)n}} = m_{xy} \frac{\sqrt{4\pi S/k_f}}{\sqrt{(1+2)n}}, \quad (3.2)$$

где  $m_s$  – среднеквадратическая ошибка определения площади объекта;

$m_{xy}$  – среднеквадратическая ошибка измерения координат точек местности, зависит от пространственного разрешения космического снимка;

$P$  – периметр исследуемого объекта на изображении;

$S$  – площадь исследуемого объекта;

$k_f$  – коэффициент  $\in (0;1]$ , характеризующий форму исследуемого объекта, для круга: 1, для квадрата:  $\pi/4$ , для длинного узкого участка:  $\approx 0$ ;

$N$  – количество точек в контура;

$(1 \div 2)$  – параметр, зависящий от расположения точек, например 1 – если точки расположены только в местах изменения направления контура объекта, 2 – если точки расположены последовательно вдоль прямолинейного участка контура.

Рассмотрено несколько примеров сравнения результатов обработки КС. На рисунке 3.10 показаны контуры гарей, построенные по результатам обработки оптического снимка с КА Метеор–3М (желтый контур) и радарного снимка с КА ERS–2 (черный контур). Для наглядности представления контуры гарей совмещены с фрагментом снимка КА Метеор–3М. Рассчитанная по радарному снимку площадь участка лесной гари №1 составляет 22,66 км<sup>2</sup>, площадь участка лесной гари №2 – 16,91 км<sup>2</sup>. На снимке с КА Метеор–3М участок лесной гари №1 имеет площадь 24,02 км<sup>2</sup>, а участок лесной гари №2 – 12,63 км<sup>2</sup>.

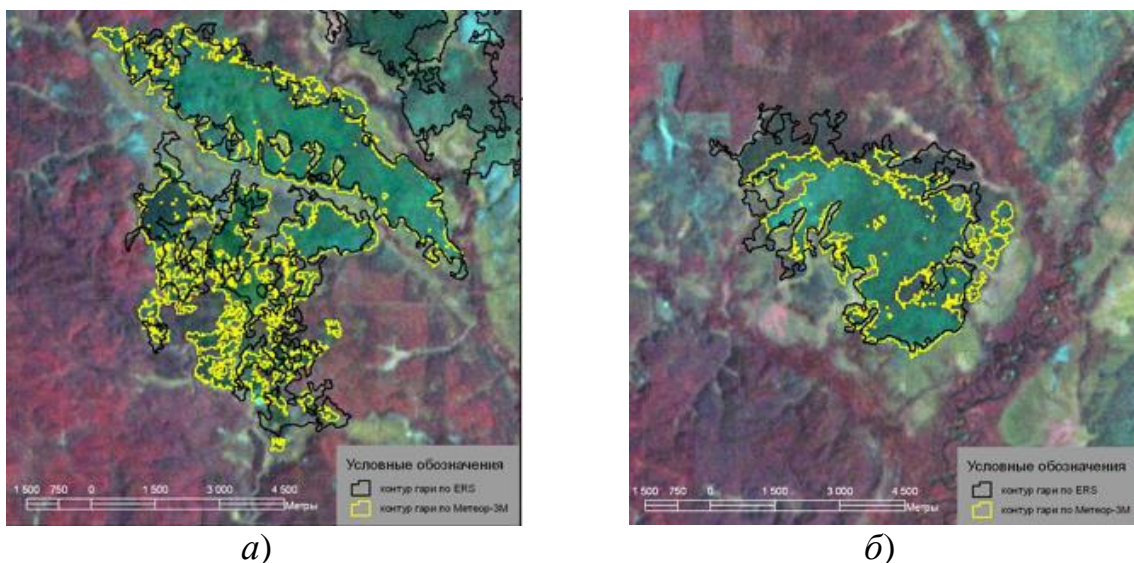


Рисунок 3.10 – Сравнение результатов выявления контуров лесной гари по изображению Метеор–3М (желтый контур) и изображению ERS–2 (черный контур)

Как видно из рисунка 3.10, *а*, площадь участка лесной гари №1, рассчитанная по снимкам ERS-2 и Метеор-3М, приблизительно одинакова. По результатам обработки снимка Метеор-3М площадь этого участка составляет 13,53 км<sup>2</sup>, а по результатам обработки радарного снимка – 12,32 км<sup>2</sup>, т. е. разница расчета

площадей составляет 9 %. Учитывая сложность классификации радарного снимка, можно принять результат определения площади гари достаточным и удовлетворительным для оценки повреждения лесного покрова [24].

На рисунке 3.10, б представлен результат обработки снимков в случае несовпадения площадей гарей. Определенная по радарному снимку гать имеет большую площадь в той части, где находится участок более старой гари. Причиной такой ошибки является малый динамический диапазон яркостей пикселей радарного снимка. В таблице 3.1 представлены вычисленные по снимкам ERS-2 и Метеор-3М площади гарей на исследуемом тестовом участке. Рассчитанные значения относительной ошибки показывает отличия рассчитанных площадей в процентном отношении.

Таблица 3.1 – Относительное значение ошибки измерения площади по радарному снимку

Рассчитанные площади участков лесных гарей по космическим снимкам, км <sup>2</sup>		Относительное значение ошибки измерения площади, %
ERS-2	Метеор-3М	
3,78	4,16	9,09
4,86	10,69	54,55
5,17	9,82	47,37
7,46	14,92	50,00
9,09	20,00	54,55
9,20	21,16	56,52
11,35	15,89	28,57
15,77	22,08	28,57
16,91	12,63	33,89
22,66	24,02	5,66
24,02	22,10	8,70
26,80	29,48	9,09
27,30	32,76	16,67
34,50	44,85	23,08
56,10	54,98	2,04
Среднее значение относительной ошибки измерения площади		28,50

Среднее значение расхождения составляет 28,5 % и является допустимым значением при использовании радарных снимков. Для увеличения достоверности

необходимо использовать синтезированные снимки радарного и оптического диапазонов.

На рисунке 3.11 представлен график зависимости относительной погрешности определения площади объекта по КС радарного диапазона в зависимости от площади наблюдаемых объектов. На графике наблюдается уменьшение относительной погрешности при увеличении площади объекта (красным цветом показана соответствующая линия тренда), однако график зависимости имеет значительные перепады, связанные с влиянием спекл-шума.

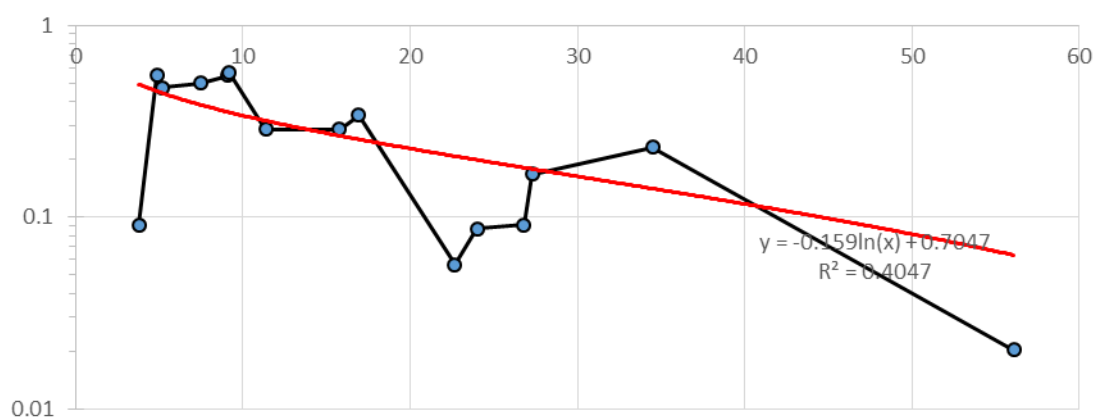


Рисунок 3.11 – Относительная погрешность определения площади объектов на лесных землях по радарному снимку

Сравнение полученных результатов построения контура гари при использовании радарных КС с результатами, полученными при использовании оптических снимков, позволяет сделать вывод об относительной достоверности получаемых результатов. При этом основная задача – получение актуальной и оперативной информации об изменении состояния лесных земель при условиях невозможности получения информации с использованием КС оптического диапазона, успешно решается.

Работа выполнена при поддержке программы Европейского космического агентства ESA Cat 1, проект ID 3110 «All – weather detection of forest fires in Northern Siberia».

### 3.2 Оптимизация алгоритма обнаружения изменений лесных земель по космическим снимкам оптического диапазона

Разработка нормализованного индекса техногенных объектов [164] позволила улучшить работу алгоритма обнаружения изменений лесных земель по КС оптического диапазона. В качестве примера использования индекса техногенных объектов представлено описание разработанной методики обнаружения лесных гарей и их картографирование на территории Ханты-Мансийского автономного округа.

Для картографирования лесных гарей текущего периода был создан «базовый» слой гарей прошлых лет по состоянию на 2013 г. Для выполнения работы были подобраны и обработаны в программном комплексе ArcGIS космические снимки Landsat-8 на территорию автономного округа. Обработка включала перевод исходных значений яркости каждого пиксела в значения отражения, а также создание маски водных объектов и облачности для исключения, в дальнейшем, их из процесса обработки.

По результатам работы был создан тематический векторный слой гарей на территории автономного округа по состоянию на 2013 г. Общая площадь лесных гарей по состоянию на конец пожароопасного периода 2013 г. составила 672 тыс. га. Данная оценка является несколько заниженной в силу ряда технических причин, описанных ниже.

Для автоматизированного обнаружения лесных гарей используется нормализованный индекс гарей NBR, который успешно применяется в США и Канаде для детектирования лесных пожаров с целью оценки площадей сгоревшей растительности и для дальнейшей оценки экономического ущерба [187]. Расчет индекса NBR схож с расчетом нормализованного разностного индекса растительности NDVI, за исключением того, что вместо красного используется средний инфракрасный канал

$$NBR = \frac{NIR - FIR}{NIR + FIR}, \quad (3.3)$$

где *NIR* – ближний инфракрасный канал (пятый спектральный канал Landsat–8);

*FIR* – дальний инфракрасный канал (седьмой спектральный канал Landsat–8).

Разница спектральной яркости пятого и седьмого спектральных каналов позволяет найти изменения в лесной растительности после пожара, так как яркость пятого спектрального канала (диапазон длин волны 0,76–0,9 мкм) зависит от содержания хлорофилла в живой растительности, а яркость седьмого спектрального канала (диапазон длин волн 2,08–2,35 мкм) чувствительна к содержанию воды в почве и растениях, содержанию лигнина в нефотосинтезирующей растительности и водным минералам (глина, слюда, некоторые оксиды и сульфаты). Седьмой канал также чувствителен к отдельным нефотосинтезирующим (погибшим) деревьям, золе и обугленной древесине на пожарищах. В результате использования этих двух каналов индекс NBR особенно чувствителен к изменениям количества живой вегетирующей растительности, содержанию влаги, и некоторым состояниям почвы, которые могут возникнуть после пожара.

Для расчета индекса использованы космические снимки КА Landsat–8. Период повторной съемки территории для этого КА составляет примерно 16 дней, однако на отдельные участки съемка может проводиться чаще, так как кадры КС имеют перекрытие. При выполнении работы по картографированию лесных гарей были решены задачи:

- разработка автоматизированного алгоритма дешифрирования лесных гарей текущего года (свежие гари) по космическим снимкам;
- создания векторного слоя лесных гарей прошлых лет и лесных гарей текущего года.

Тематическая обработка и анализ КС производится в автоматизированном режиме с использованием инструментов геоинформационной системы ArcGIS.

Далее рассмотрены основные этапы усовершенствованного алгоритма обнаружения лесных гарей, схема которого показана на рисунке 3.12.

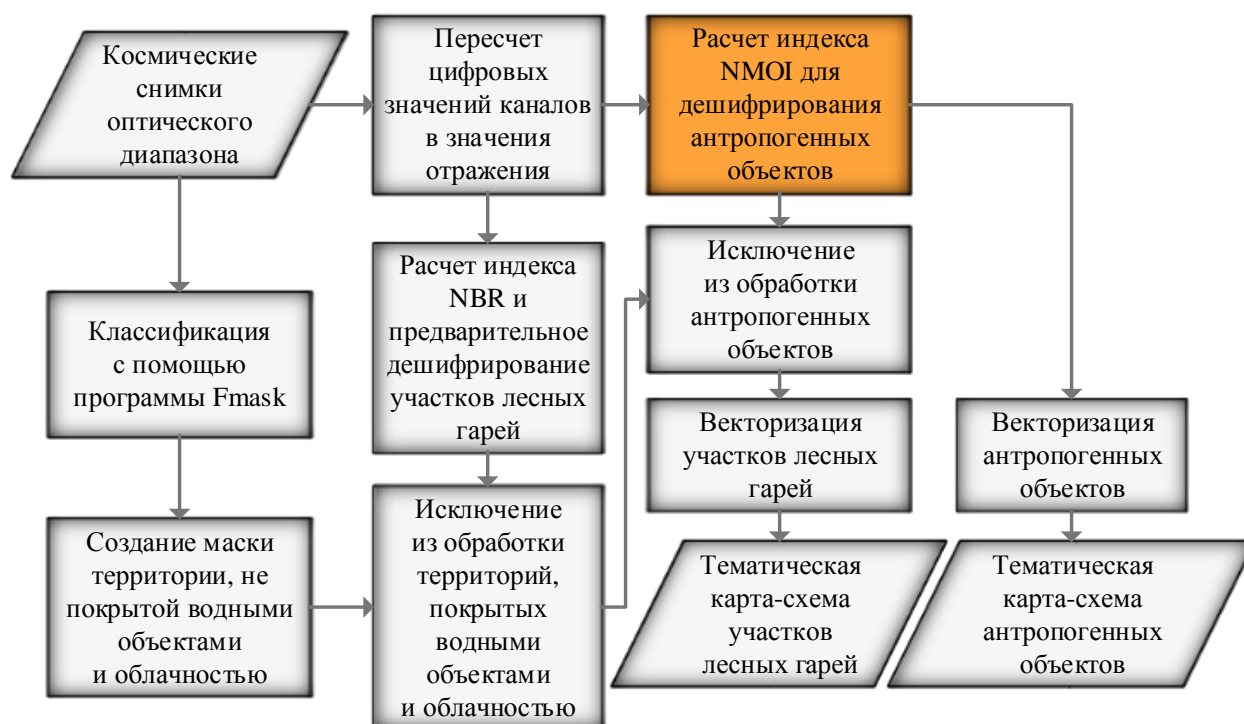


Рисунок 3.12 – Усовершенствованный алгоритм обнаружения и картографирования объектов природного и антропогенного характера

На первом этапе работ производится классификация КС с использованием специализированной программы Fmask [133]. Fmask использует ряд спектральных индексов и предположений о характере отражений тех или иных географических объектов в различных спектральных диапазонах Landsat–8. Входными данными являются значения отражения от верхних слоев атмосферы и яркостной температуры. Fmask использует правила обработки, основанные на знании физических свойств облаков, для выделения потенциальных «пикселей облаков» и «пикселей безоблачного неба», на основании которых создаются слои масок вероятных облаков, суши и воды. С помощью ближнего инфракрасного канала создается слой «темных объектов» – теней от облаков. Слой теней от облаков проверяется на достоверность, используя данные об угле обзора датчика спутника и угле падения солнечных лучей на момент съемки. Если на снимке

обнаруживается снег, он также включается в результат классификации. Результатом обработки является растровый слой в псевдоцветах, каждый из которых обозначает тематическую классифицированную единицу: облака, тени от облаков, водная поверхность, снег/лед, безоблачная суша.

Перед началом тематической обработки снимков проводится их коррекция, которая заключается в преобразовании «исходных» значений яркости пикселей (Digital numbers) в значения отражения (Reflectance). Коррекция проводится для используемых в алгоритме пятого и седьмого спектральных каналов КС Landsat-8.

Для исключения из обработки фрагментов КС с участками, покрытых облачностью и водными объектами, создается инвертированная маска территории, включающая только участки суши, не покрытые облачностью. Процедура проводится программными средствами ArcGIS с использованием пакетной обработки КС. При этом значения классифицированного в Fmask растрового изображения «0» и «2» сводятся в одно, которое представляет собой маску безоблачной суши.

Предварительная обработка (пересчет «исходных» значений пикселя изображения в приведенные значения отражения по специальным алгоритмам) является необходимым этапом любого разновременного анализа, так как исходные цифровые значения яркости снимков за разные даты отличаются по объективным причинам (разное состояние атмосферы, время года, угол солнца и т. д.) и нужно унифицировать значения для всех исходных данных. Обработка производилась по эмпирическим формулам, опубликованным на веб-портале оператора КС Геологической службы США [193]. При обработке значений яркости использовался разработанный программный код на языке программирования Python. В результате, исходные значения яркости были пересчитаны в значения отражения для первого, пятого и седьмого каналов космического снимка Landsat-8.

Для расчета значений NBR также используется разработанный программный код на языке программирования Python, позволяющий проводить

пакетную обработку большого количества КС в автоматизированном режиме. На выходе для каждого КС рассчитывается растровое изображение со значениями индекса NBR в формате GeoTiff. Затем производится выделение участков со спектральными значениями, относящимися к участкам лесных гарей. Индекс NBR принимает значения в диапазоне от минус 1 до 1.

Опытным путем установлено, что на КС участки с высокой степенью вероятности обнаружения лесной гари находятся в диапазоне от минус 0,4 до 0,3. Исключение составляют старые горельники, на которых происходят сукцессионные процессы, и луговые растительные сообщества, для которых характерно быстрое возобновление. Обнаружение травяных гарей возможно в срок от нескольких дней до нескольких недель после возгорания [184], в зависимости от того, случился пожар в начале лета или ближе к осени.

Полученный в результате растровый слой участков вероятных лесных гарей включает в себя и ошибочные участки, близкие по спектральным характеристикам к гарям. В частности, озера, болота, отдельные участки рек (особенно заводи и места скопления стоячей воды), на которых происходит активный фотосинтез водорослей и зарастание водной растительностью, а также чрезмерно замутненные воды могут быть ошибочно отнесены к классу гарей. Для исключения этой возможности применяется ранее созданная в программе Fmask маска безоблачных участков суши. Также в результате этого этапа из обработки удаляются некоторые ложные срабатывания на облаках. Помимо собственно участков гарей в результат обработки может быть включены отдельные ошибочные участки: береговые отмели, техногенные объекты (дороги, отвалы породы, населенные пункты и т. д.).

В современной научной литературе до сих пор не достаточно разработаны вопросы дешифрирования техногенных территорий по снимкам Landsat в силу сложной структуры техногенных территорий [145], которые могут содержать такие компоненты, как растительность, водные поверхности, искусственные покрытия. Тем не менее, по результатам проведенных исследований был сделан вывод, что отдельные техногенные объекты могут быть уверенно выделены

автоматизированными методами по спектральным характеристикам и в дальнейшем исключены из обработки.

Автором в составе творческого коллектива предложен новый нормализованный индекс техногенных объектов, условно названный *NMOI*, рассчитываемый как отношение разности и суммы спектральных каналов (*Coastal/Aerosol*) и *NIR* космического снимка Landsat–8

$$NMOI = \frac{Coastal - NIR}{Coastal + NIR}, \quad (3.4)$$

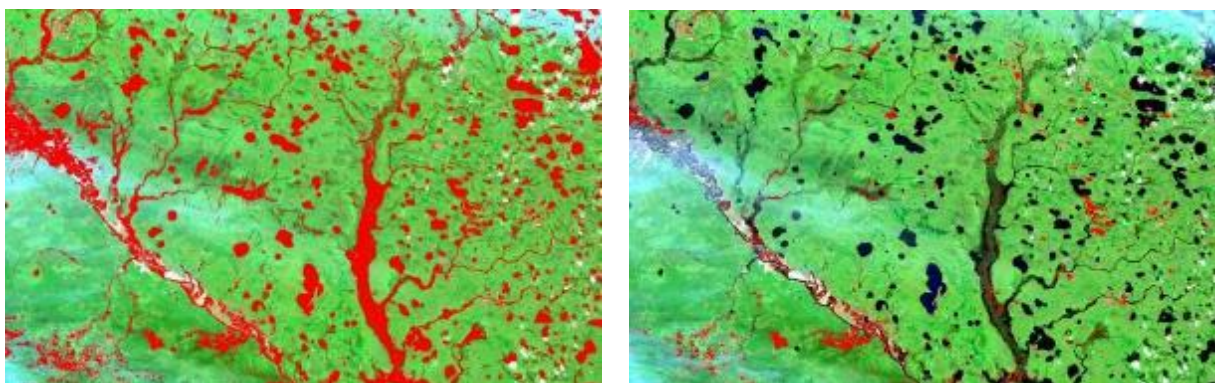
где *Coastal* – первый спектральный канал для Landsat–8;

*NIR* – пятый спектральный канал для Landsat–8.

Эмпирически было установлено, что значения индекса *NMOI* менее 0,1 соответствуют техногенным объектам на космическом снимке Landsat–8. Кроме этого, оно соответствует части не техногенных участков территорий, схожим по спектральным значениям с гарями, но не являющимися ими (например, болота, участки обнаженной почвы и др.). Растительность при этом не выделяется. Таким образом, использование разработанного индекса позволяет исключить из обработки часть других ложных срабатываний на болотах, в пойме рек и участках с открытой почвой.

Возможность реализации в ArcGIS программ-скриптов на базе библиотечных функций, выполняемых в фоновом режиме, позволяет за короткое время создавать несложные, с технической точки зрения, программы пакетной обработки векторных данных. Реализация расчета разработанного нормализованного индекса техногенных объектов *NMOI* осуществлена на языке программирования Python в виде отдельного программного модуля.

После исключения участков антропогенных объектов из набора данных формируется итоговая карта-схема лесных гарей (рисунок 3.13, б).



а)

б)

Рисунок 3.13 – Космический снимок, совмещенный: а) с маской безоблачной суши, за исключением антропогенных объектов, болот, участков открытой почвы и растительности; б) с результирующим слоем участков лесных гарей

На рисунке 3.14 представлен фрагмент карта-схемы с определением количественных показателей (площади объектов и их изменение) по участкам обнаруженных лесных гарей.

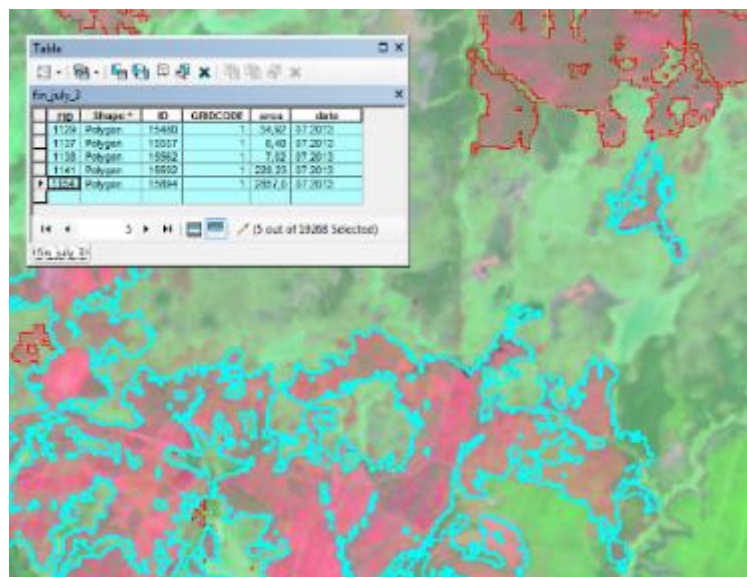


Рисунок 3.14 – Определение количественных показателей участков лесных гарей

Результаты обнаружения и мониторинга публикуются на геопортале регионального ЦКУ. На рисунке 3.15 представлена обзорная карта-схема с результатами тематического картографирования участков гарей, классифицированных по площади, в границах административных районов ХМАО.

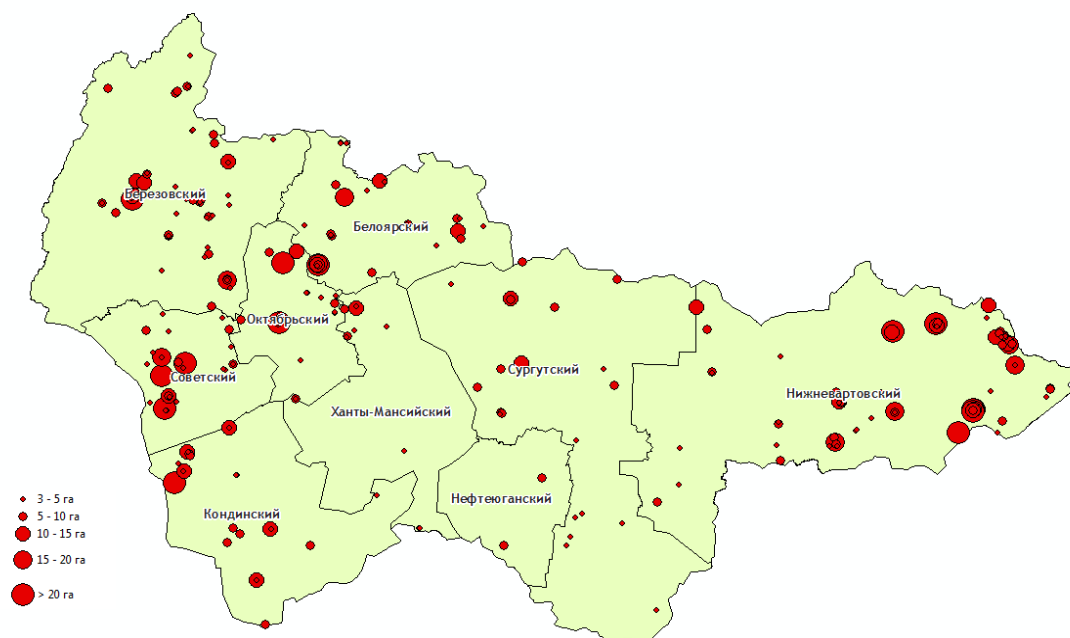


Рисунок 3.15 – Карта-схема обнаруженных участков лесных гарей

На рисунке 3.16 показано количественное распределение лесных гарей по площадям. Основную долю от общего количества занимают участки лесных гарей площадью менее 15 га (70 % от общего количества), большинство типичных гарей имеют площадь от 5 до 10 га.

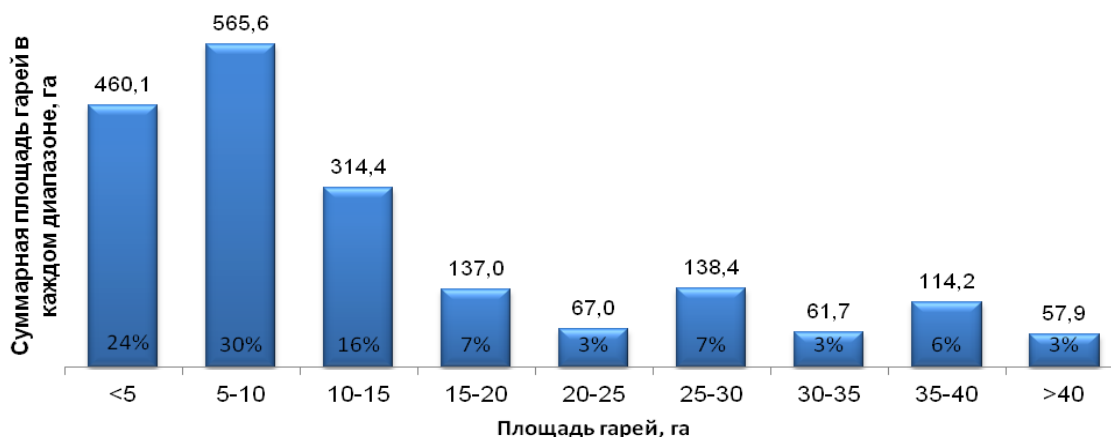


Рисунок 3.16 – Распределение обнаруженных лесных гарей по площадям

### 3.3 Разработка базы данных изменений лесных земель

При непосредственном участии автора были выполнены работы по проектированию и разработке базы данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО». База данных представляет собой хранилище геопространственной информации об объектах, находящихся на лесных землях ХМАО, с описанием их основных качественных и количественных характеристик. База данных содержит векторные и растровые данные, которые хранятся в трех базовых и четырех системных таблицах (рисунок 3.17).

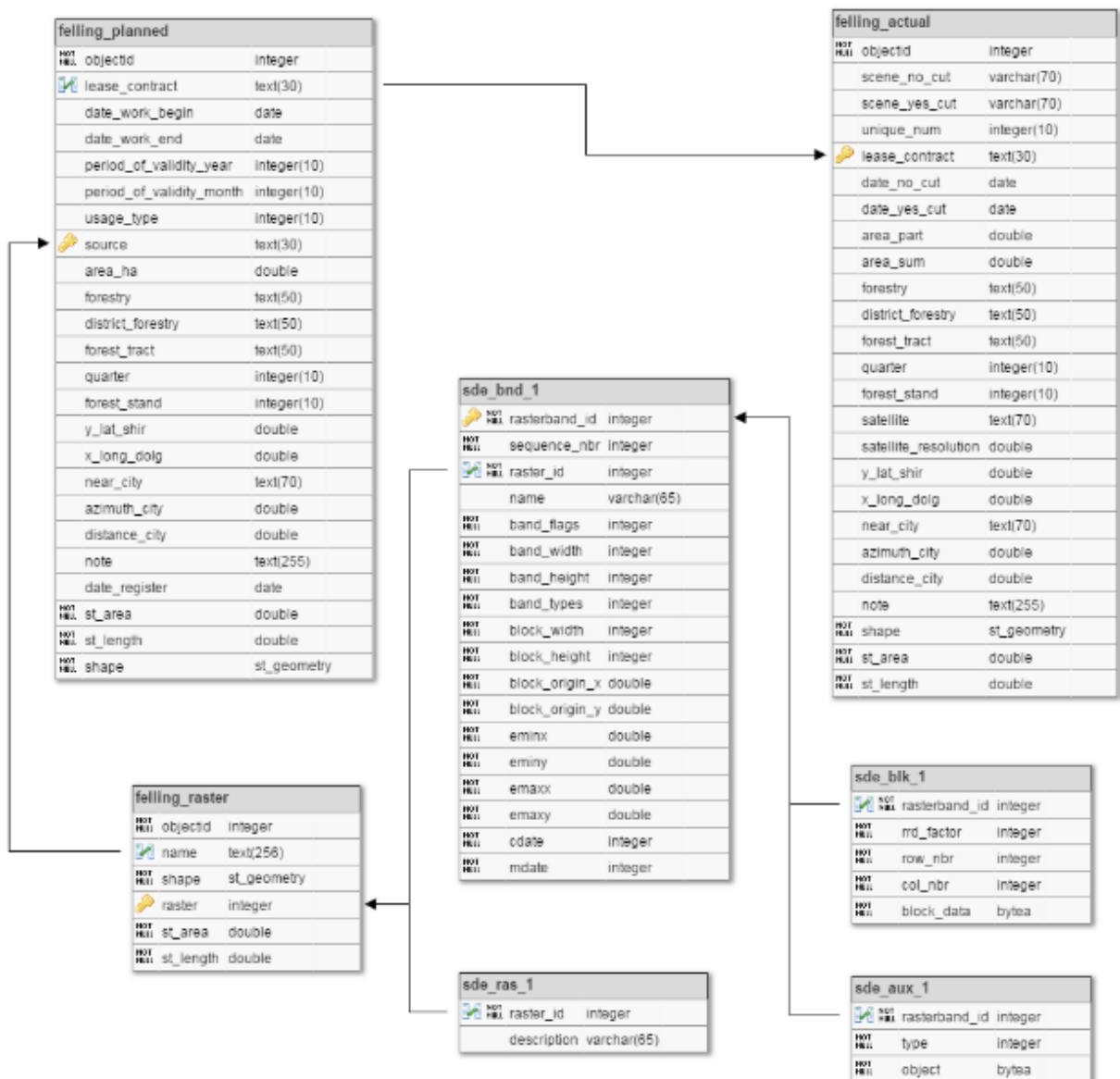


Рисунок 3.17 – Структура базы данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО»

Векторные данные хранятся в системных таблицах базы данных «felling\_actual» и «felling\_planned» и представляют собой информацию о полигональных контурах границ объектов на территории лесного фонда, полученных в результате тематической обработки ДЗ. Растровые данные хранятся в системных таблицах базы данных «felling\_raster», «sde\_aux\_1», «sde\_blk\_1», «sde\_bnd\_1» и «sde\_ras\_1» и представляют собой изображения – отсканированные схемы расположения мест проведения работ на территории лесного фонда ХМАО.

На рисунке 3.18 представлен фрагмент реализованного веб-сервиса представления полученных результатов в базе данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО».

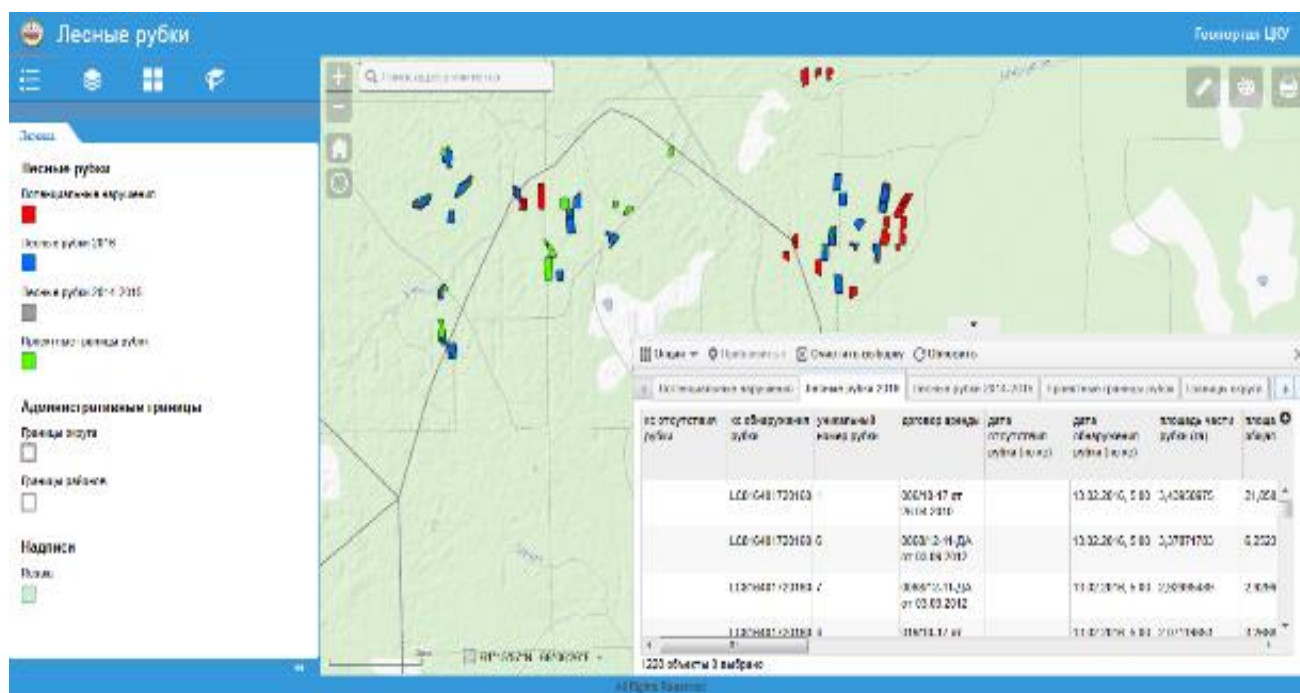


Рисунок 3.18 – Фрагмент карты-схемы выявленных изменений лесных земель на геопортале

Получено свидетельство № 2016620648 о государственной регистрации базы данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО – Югры». Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 23.05.2016 г., рисунок Б.1 (приложение Б) [138]

### 3.4 Разработка геопортала для предоставления общего доступа к результатам тематической обработки

Для обеспечения общего доступа к результатам тематической обработки КС оптического и радарного диапазонов заинтересованным службам и ведомствам разработан геопортал ЦКУ ХМАО (рисунок 3.19), размещенный по адресу <http://geoportal.uriit.ru/arcgis/home/projects.html>.

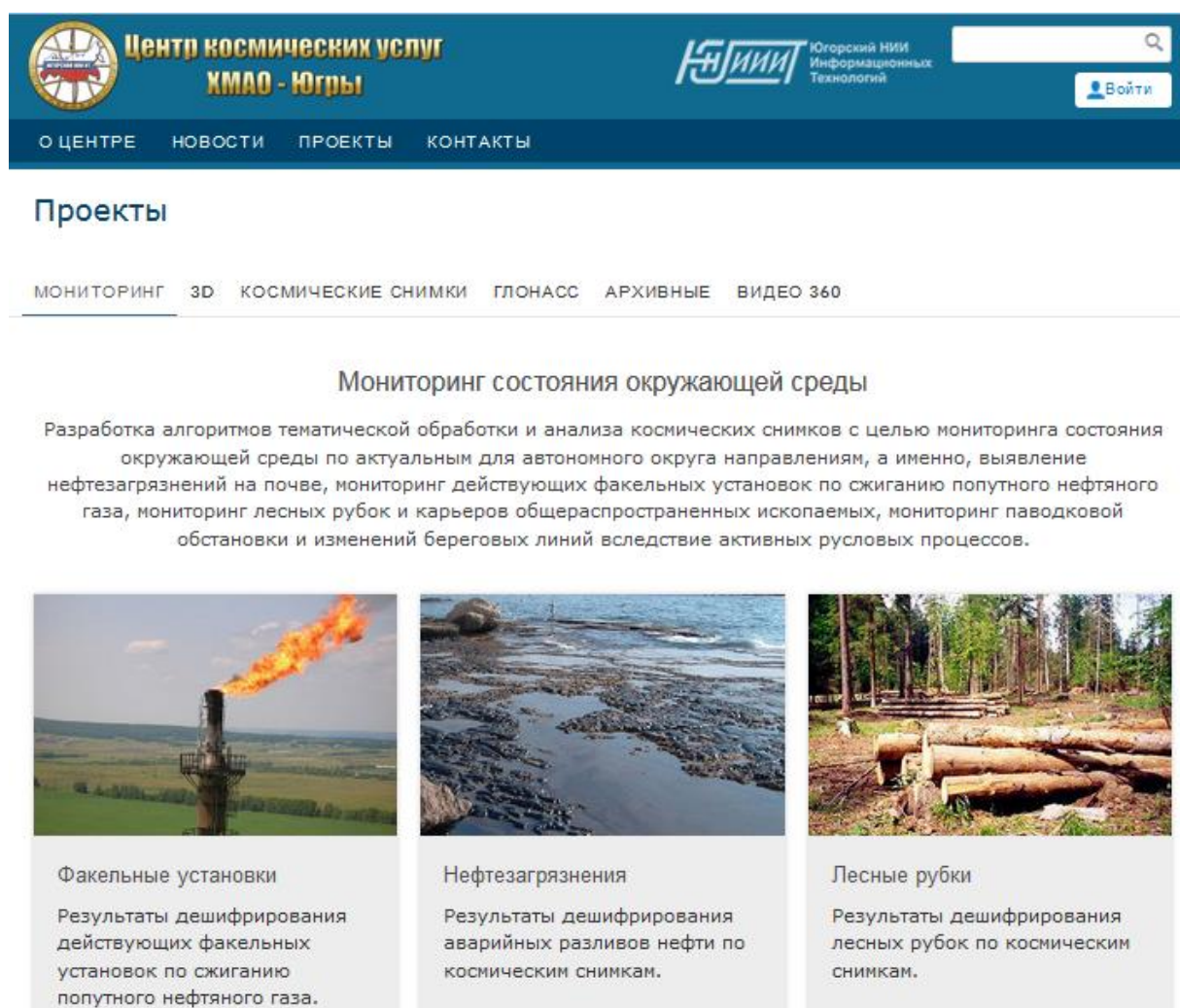


Рисунок 3.19 – Фрагмент интерфейса разработанного геопортала

Подготовка тематических информационных слоев для представления на геопортале осуществляется средствами ArcGIS. Публикация на геопортале производится посредством веб-сервисов.

Разработанный геопортал зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Геопортал geo.uriit.ru».

### 3.5 Выводы по третьему разделу

В ходе выполнения работы по практической реализации разработанной методики мониторинга лесных земель выполнена разработка и программная реализация алгоритма обработки комбинаций оптических и радарных КС, обеспечивающего получение информации о количественных и качественных показателях лесных земель при проведении базовых, периодических и оперативных наблюдений, получаемых с использованием ДЗ. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, рисунок Б.2 [139] и рисунок Б.3 [140].

Для проверки достоверности дешифрирования космических снимков проведены полевые работы с выездом на реальные объекты – лесные гари и лесные рубки. Для обеспечения возможности предоставления результатов тематической обработки КС заинтересованным службам и ведомствам создана база данных «Реестр изменений лесного фонда ХМАО», рисунок Б.1 (приложение Б) [138] и реализован геопортал ЦКУ ХМАО, обеспечивающий предоставление общего доступа к информации об актуальном состоянии лесных земель, получаемой с использованием разработанной методики мониторинга.

Результаты диссертационной работы внедрены в надзорной деятельности Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и в настоящее время успешно используются с целью получения информации о состоянии нарушенных земель на территории автономного округа (приложение А).

## 4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ

### 4.1 Разработка регламентов информационного взаимодействия с региональными ОГВ по мониторингу лесных земель

В соответствии с существующим тематическим классификатором [59], результаты проведенного диссертационного исследования могут быть использованы при решении следующих задач:

– инвентаризации лесов в задачах выявления изменений состояния лесов, происходящих в результате негативных воздействий (в т. ч. изменений, произошедших в результате воздействия вредных организмов, лесных пожаров, ветровалов, использования лесов и т. д.), а также причин, приведших к такому изменению; оценки эффективности мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов;

– лесопатологического мониторинга в задачах выявления территорий неудовлетворительного лесопатологического состояния лесов определение причин его возникновения;

– послепожарной инвентаризации лесов в задачах выявления гарей и определения их возраста; оценке состояния возобновления выгоревших участков леса;

– антропогенные воздействия промышленных и других объектов в задачах выделения участков с различной степенью преобразованности (нарушенности) растительного покрова; выявления участков леса, пострадавших от промышленных выбросов;

– воздействия при заготовке древесины в задачах определения освоенности лесных массивов рубками; выявлении нарушений границ отвода лесосек; выявление нарушений норм по ширине и направлению лесосек и рубки (против господствующего направления ветров) и в других задачах.

В настоящее время представленная в диссертационной работе разработанная методика мониторинга лесных земель на основе комплексного использования комбинаций оптических и радарных КС применяется в ЦКУ ХМАО для предоставления актуальной и достоверной информации региональным ОГВ и контрольно-надзорным службам и ведомствам:

- Департаменту природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры;

- Службе по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры;

- Управлению Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югры;

- Управлению МВД России по Ханты-Мансийскому АО – Югры;

- другим пользователям.

С целью внедрения и практического использования разработанной системы мониторинга лесных земель в 2015 г. был подготовлен и подписан Регламент информационного взаимодействия между Центром комических услуг Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Департаментом природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Службой по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. В 2015 г. подготовлено и подписано Соглашение о сотрудничестве с Управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре. В 2016 г. подготовлен и подписан регламент информационного взаимодействия с Управлением МВД по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре.

Действующие регламенты предназначены для эффективного информационного взаимодействия по оперативному контролю за лесными землями Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с применением

информационно-космических технологий и обеспечивают:

– оперативный спутниковый мониторинг территорий лесного фонда ХМАО в части контроля обустройства объектов промышленной и лесной инфраструктуры, расположенных в границах лесного фонда, в том числе выполняет работы по выявлению факта начала работ до момента получения разрешительных документов, с применением средств ДЗ;

– контроль соответствия границ и площадей объектов инфраструктуры НКГ, контроль расположения объектов согласно заявленной проектной или разрешительной документации, оформляемой Департаментом природных ресурсов и несырьевого сектора экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры;

– ведение дежурной карты объектов инфраструктуры НКГ на лесных землях.

#### 4.2 Обнаружение и мониторинг рубок на лесных землях

Космические снимки широко используются при осуществлении контрольно-надзорных функции [125, 152] природоохранными организациями. Массовое использование получили космические снимки Landsat [55, 62, 56, 89] благодаря доступности информации, относительно высокой (от 16 суток) частоте повторного получения информации, широкой (185 км) полосой обзора и наличием нескольких спектральных диапазонов съемки.

В проведенном автором исследовании [163] проведена оценка погрешности определения площадей лесных рубок по данным ДЗ. На рисунке 4.1 представлен график зависимости относительной погрешности определения площади лесной рубки от величины ее размера в логарифмической шкале.



Рисунок 4.1 – Относительная погрешность определения площади лесной рубки

Рассчитанное [163] среднее значение погрешности измерения площадей по космическим снимкам Landsat–8 составляет 4,23 %.

Таким образом, определение площадей объектов по данным ДЗ в различных [5] тематических задачах мониторинга изменений может быть выполнено с достаточной точностью при площадях наблюдаемых объектов более 10 га.

#### 4.3 Мониторинг лесных земель, подверженных загрязнению нефтью

В настоящее время информация космической съемки, в том числе высокого пространственного разрешения, используется многими государственными и коммерческими организациями при реализации научных, коммерческих или производственных проектов. Этому способствует ряд принятых в последнее время Постановлений Правительства Российской Федерации о снятии ограничений по использованию КС высокого пространственного разрешения. Возросла доступность информации дистанционного зондирования Земли, повысились качественные характеристики съемочной аппаратуры современных КА и оперативность получения информации. Например, в [143] отмечена информативность космической съемки и возможность ее оперативного получения при проведении работ по дешифрированию признаков нефтяного загрязнения на

объектах нефтяного промысла. Большинство работ по обнаружению нефтяных загрязнений посвящено определению таких участков на морских поверхностях [54, 51, 38, 89, 89, 141, 170] с применением радарных изображений. Однако, для выполнения подобных тематических работ используются, как правило, КС с зарубежных космических аппаратов.

Появление в 2012 г. группировки российско-белорусских космических аппаратов высокого пространственного разрешения типа Канопус–В и БКА дает возможность российским организациям использовать в своей работе отечественные КС. Космические снимки с данных космических аппаратов хорошо зарекомендовали себя при выполнении работ по мониторингу ландшафтных изменений природного и техногенного характера. Однако, массовое использование отечественных КС сдерживается отсутствием информации о существующих возможностях отечественной космической съемки.

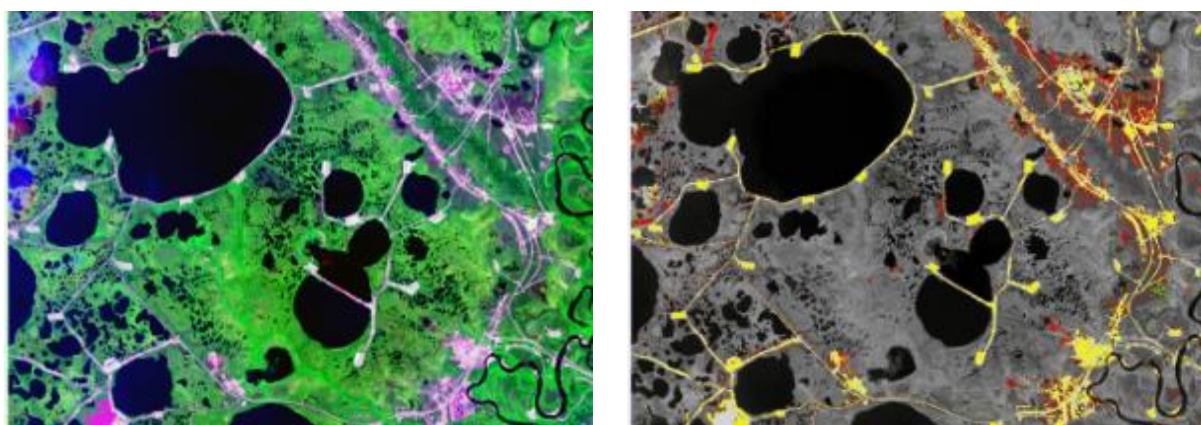
В работе [79] представлен результат практического использования КС высокого пространственного разрешения с КА типа Канопус–В и БКА для проведения тематических работ по обнаружению участков нефтяных загрязнений на территориях промышленного освоения месторождений Западной Сибири.

Для проведения работы были использованы мультиспектральные КС, полученные с КА Канопус–В. Космические снимки предоставлены Роскосмосом в рамках действующего Соглашения о взаимодействии в области использования результатов космической деятельности между Федеральным космическим агентством и Правительством Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Дешифрирование КС проводилось в специализированном программном пакете ГИС ERDAS Imagine. В качестве эталонов (учителей) при проведении контролируемой классификации (Supervised Classification) были приняты участки известных мест нефтезагрязнений, информация о которых получена в результате полевых обследований, проведенных в 2011 г. ОАО «НПЦ Мониторинг», а также полученной информации от Службы по контролю и надзору в сфере охраны

окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (Природнадзор – Югры).

На рисунке 4.2 представлены фрагменты КС и результаты их обработки. Красным цветом на рисунках показаны обнаруженные участки вероятного нефтяного загрязнения, желтым цветом показаны обнаруженные объекты инфраструктуры.



*а)*

*б)*

Рисунок 4.2 – Фрагмент территории Лянторского лицензионного участка:

*а)* космический снимок КА Канопус–В; *б)* результат тематической классификации участков нефтяного загрязнения

В процессе работы была установлена схожесть полученных результатов обработки с аналогичными результатами при использовании КС с КА Европейского космического агентства RapidEye.

В сложившейся геополитической обстановке, влияющей на экономическое развитие регионов РФ, особую значимость приобретает вопрос импортозамещения и обеспечения пользователей отечественными данными дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения для решения прикладных тематических задач. Проведенные [79] исследования показали возможность использования космических снимков с КА типа Канопус–В и ВКА в задаче обнаружения нефтяных загрязнений. Снимки обеспечивают выявление с достаточной вероятностью нефтезагрязненных участков с площадью

загрязнения более 0,2–0,5 га. Такие результаты достигаются за счет высокого пространственного разрешения КС и наличием у КА съемочной аппаратуры в ближнем инфракрасном канале. При использовании панхроматического канала можно увеличить пространственное разрешение КС до 2,1 м, что повысит достоверность получаемых результатов.

Результаты тематической интерпретации космических снимков с КА типа Канопус–В и БКА могут быть использованы при подготовке интегральных экологических карт участков нефтяных месторождений, аналогично представленным в [77, 131]. В настоящее время результаты работ по обнаружению мест вероятного нефтезагрязнения на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры публикуются на разработанном геопортале ЦКУ ХМАО.

#### 4.4 Мониторинг лесных земель, подверженных загрязнению химическими веществами

В работе [124] представлены методические вопросы дистанционных исследований воздействия продуктов факельного сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) на лесную растительность на основе определения вегетационного [27] индекса NDVI по космическим снимкам Landsat с применением разработанной [79, 161] подсистемы мониторинга лесных земель. Исследования проведены на территории Приобского месторождения, одного из крупных месторождений в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры по официальным данным на 2014 г. действует 693 факела по сжиганию ПНГ. За счет факельного сжигания газа в атмосферу выбрасывается большой объем валовых выбросов загрязняющих веществ. Государственное регулирование в сфере охраны атмосферного воздуха направлено на снижение выбросов в атмосферу нефтегазодобывающих территорий за счет увеличения доли утилизации ПНГ до 95 %. Для достижения поставленной цели принимаются комплексы мер, в

разработке которых необходимо учитывать знания о воздействии ПНГ на природную среду.

Для исследования воздействия ПНГ на лесорастительный покров с использованием вегетационного индекса NDVI выбран участок территории Приобского месторождения в ХМАО, на котором ранее были проведены биоиндикационные исследования [61]. Вегетационный индекс NDVI рассчитан с использованием КС среднего пространственного разрешения с КА Landsat.

На рисунке 4.3 представлены графики зависимости значений индекса NDVI от расстояния до факела, полученные по данным для начального (1988 г.) и конечного (2014 г.) годов. Как видно из графиков, изменения величины индекса ( $y$ ) в зависимости от расстояния до факела ( $x$ ) для каждого года исследований допускают аппроксимацию эмпирической зависимости линейной функцией вида  $y = a \times x + b$ , где  $a$  – коэффициент линейного тренда,  $b$  – отрезок, отсекаемый на оси ординат.

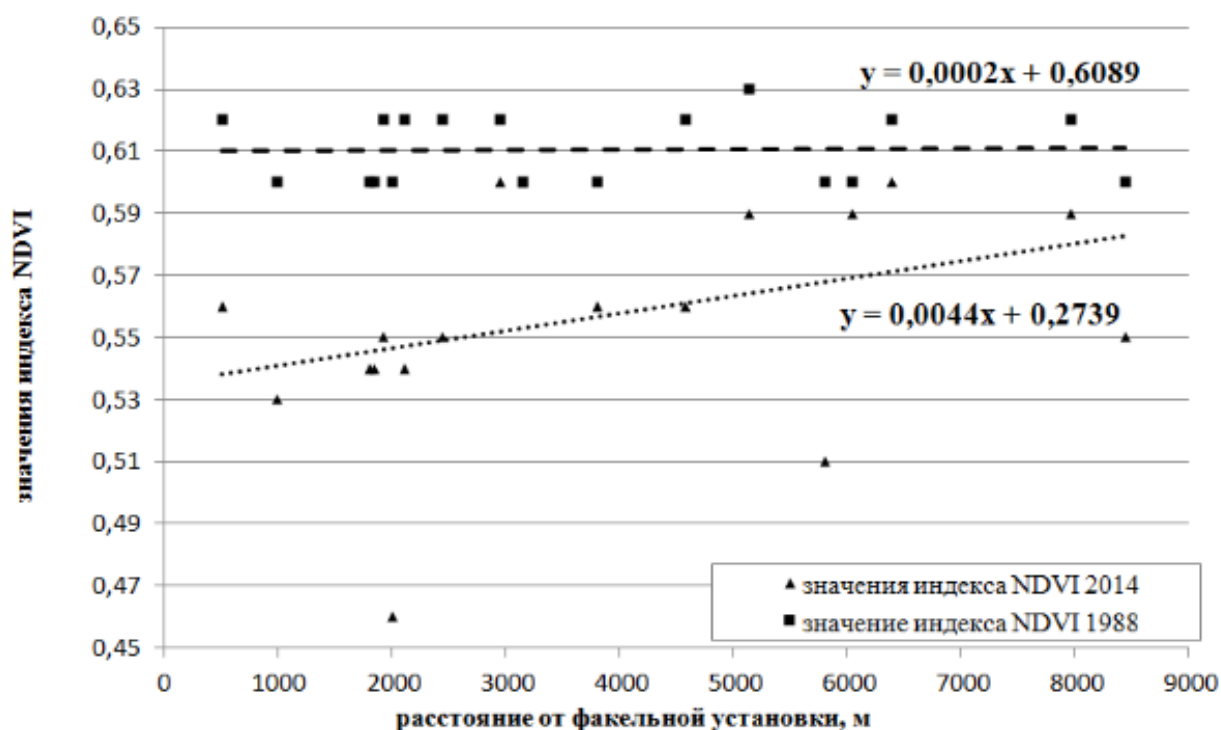


Рисунок 4.3 – График зависимости значений индекса NDVI от расстояния до факела

Анализ графика на рисунке 4.3 позволяет сформулировать следующие выводы. Линия тренда 1988 г. показывает отсутствие зависимости индекса от расстояния до факела и, следовательно, отсутствие воздействия сжигания газа. Это может объясняться тем, что добыча в этот период на месторождении не производилась, как уже было отмечено выше. Линия тренда для 2014 г., отображенная на графике (рисунок 4.3), показывает уменьшение в среднем значений индекса по мере приближения к ФУ. Это уменьшение NDVI означает ухудшение состояния лесорастительного покрова при приближении к факелу.

На рисунке 4.4 представлен график временной зависимости значений коэффициента тренда по данным на трех тестовых участках. На графике жирной линией показана усредненная кривая этой зависимости от времени, построенная на основе вычисления средних значений коэффициента тренда по трем тестовым участкам.

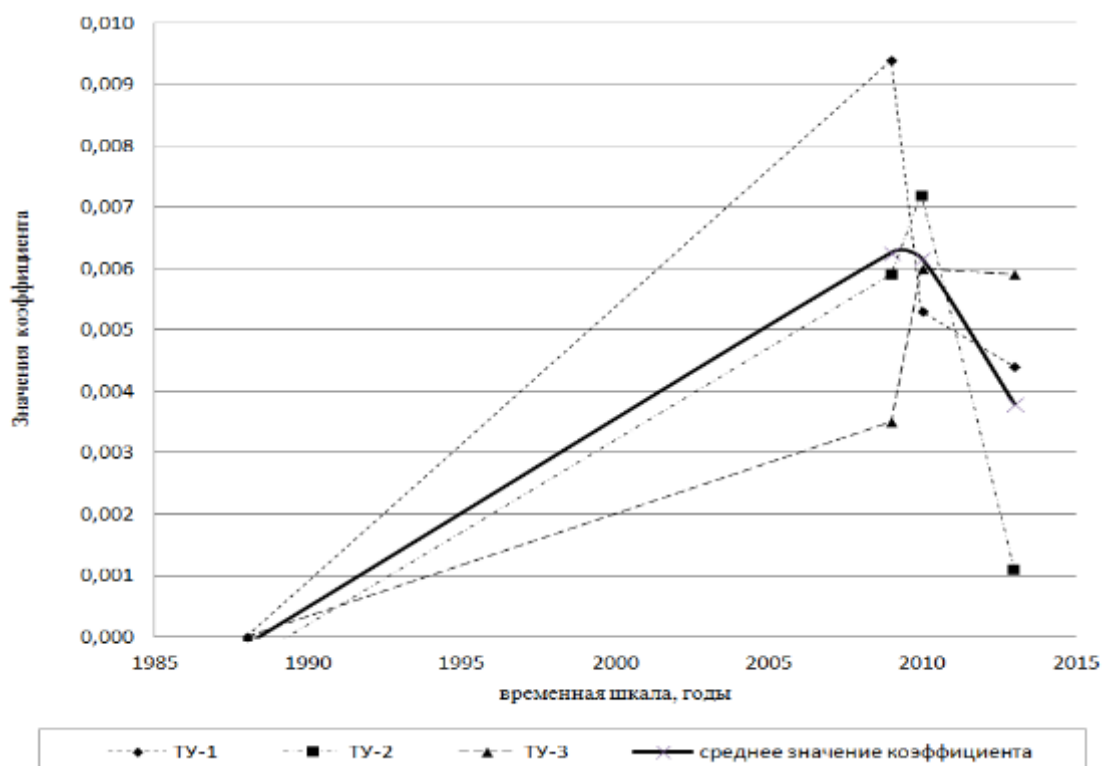


Рисунок 4.4 – График временной зависимости значений коэффициента тренда по данным на трех тестовых участках

Как видно из рисунка 4.4, среднее значение коэффициента тренда в 1988 г. имеет величину, близкую к нулю, что может быть объяснено отсутствием загрязнения атмосферного воздуха вследствие отсутствия нефтедобычи в указанный период времени. Наиболее высокие значения коэффициента тренда характерны для 2009 г. Это означает, что в этот период сжигался большой объем попутного газа, в результате чего проявилось сильное угнетение лесорастительного покрова, что отражается в уменьшении значений индекса.

После 2009 г. на усредненной кривой (рисунок 4.4) наблюдается заметный спад коэффициента тренда, что может быть объяснено сокращением уровня воздействия сжигания газа на лесорастительный покров на территории месторождения. Полученные результаты подтверждают официальную информацию о снижении в целом по округу объемов сжигания ПНГ. Объемы факельного сжигания газа с 2007 г. к 2014 г. снизились с 7,8 млрд. м<sup>3</sup> до 2,29 млрд. м<sup>3</sup>. При этом валовые выбросы снизились с 3033 тыс. т до 1466 тыс. т. Доля утилизации ПНГ приближается к уровню, установленному Правительством РФ, и составляет в настоящее время 93,2 %.

#### 4.5 Показатели эффективности применения мониторинга лесных земель в регионе

По результатам работ, проведенных в рамках действующих регламентов информационного взаимодействия с региональными ОГВ и контрольно-надзорными органами за период с 2014 г. по 2016 г. можно обозначить наиболее приоритетные участки. На рисунке 4.5 представлена схема пространственного распределения участков в границах административных районов ХМАО, для которых информация о состоянии земель, полученная на основе данных ДЗ, наиболее востребована региональными ОГВ.

Анализ пространственного распределения участков показал, что наибольший интерес представляют участки центральной части округа, сосредоточившие большую часть объектов НГК с высокой вероятностью воздействия их

техногенных факторов на лесные земли. Наиболее востребованной (42 % от общего количества всех запросов) является информация о состоянии участков лесных рубок.

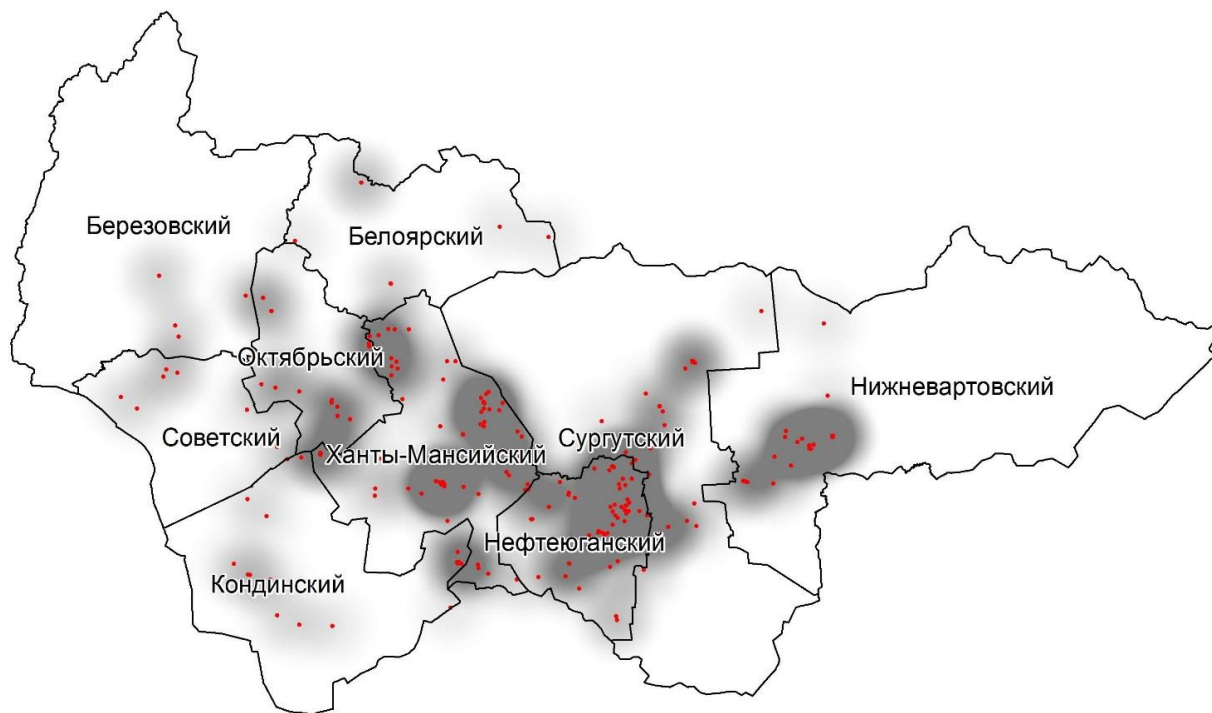


Рисунок 4.5 – Схема пространственного распределения участков земель, информация о состоянии которых предоставлена по запросам региональных ОГВ

Востребованность информации о состоянии земель по результатам мониторинга с использованием данных ДЗ графически представлена на рисунке 4.6.

Эффективность разработанной методики мониторинга лесных земель на основе комплексного использования космических снимков можно оценить ростом динамики использования результатов обработки космических снимков в деятельности природоохранных организаций.

Так, за период с 2013 по 2015 г. ЦКУ ХМАО для службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды ХМАО – Югры была предоставлена информация в рамках 25 судебных дел, на сумму исковых

требований свыше 310 млн. руб. Природоохранной прокуратурой ХМАО – Югры в период с 2014 по 2015 г. на основании предоставленных космических снимков направлено пять исков о взыскании ущерба, причиненного лесному фонду на сумму более 270 млн. руб. Управлением Росприроднадзора по ХМАО – Югре в 2015 г. произведены расчеты размера вреда, причиненного окружающей среде на сумму свыше 3,6 млрд. руб. с использованием доказательств, основанных на спутниковой информации.



Рисунок 4.6 – Востребованность информации о состоянии земель

Порядок предоставления в природоохранные и контрольно-надзорные организации информации разработан и представлен в регламентах информационного взаимодействия, подготовленных в целях эффективного использования разработанной методики мониторинга лесных земель.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования достигнута поставленная цель – разработана методика оперативного мониторинга лесных земель на территориях севера Западной Сибири на основе комплексного использования оптических и радарных космических снимков.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– выполнен анализ предметной области и обзор существующих технологических решений при мониторинге лесных земель дистанционными методами, на основании которых выявлены существующие ограничения при актуализации информации об их состоянии для территорий севера Западной Сибири;

– разработана методика обработки космических снимков оптического и радарного диапазонов, обеспечивающая получение информации в условиях низкой освещенности и экранирования облачностью территорий наблюдения;

– разработан алгоритм обработки комбинаций разновременных оптических и радарных космических снимков и его программная реализация, позволяющие выявлять изменения на лесных землях под воздействием природных и антропогенных факторов;

– сформирована база данных выявленных изменений лесных земель на территории ХМАО с предоставлением общего доступа к ней посредством разработанного геопортала ЦКУ ХМАО;

– разработана подсистема мониторинга лесных земель, обеспечивающая получение информации о количественных и качественных показателях при проведении базовых, периодических и оперативных наблюдений с использованием ДЗ.

Результаты диссертационного исследования могут быть успешно использованы при проведении государственного мониторинга земель, осуществляемого территориальными органами и структурными подразделениями

Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии. Практическая реализация разработанной методики мониторинга выполнена в ЦКУ ХМАО. Проверка результатов диссертационного исследования была проведена на реальных объектах – участках лесных рубок и лесных гарей, расположенных на территории автономного округа.

Перспективы дальнейших исследований должны быть направлены на совершенствование разработанной методики с учетом новых возможностей современных и перспективных съемочных систем ДЗ. Важным направлением развития разработанной методики является возможность ее использования для выявления незарегистрированных объектов капитального строительства (недвижимости) НГК на лесных землях в связи со вступлением в силу с 01.01.2017 г. Федерального закона «О государственной регистрации недвижимости» от 13.07.2015 г. № 218-ФЗ, в котором одним из основных изменений является введение Единого государственного реестра недвижимости.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БАД	База атрибутивных данных
ГЛР	Государственный лесной реестр
ЕГАИС	Единая государственная автоматизированная информационная система
ЕКА	Европейское космическое агентство
ВСН	Ведомственные нормативные документы
ГИС	Географическая информационная система
ГЛОНАСС	Глобальная навигационная спутниковая система позиционирования
ГЛР	Государственный лесной реестр
ГМЗ	Государственный мониторинг земель
ДЗ	Дистанционное зондирование
КМНС	Коренные малочисленные народы Севера
МПР	Министерство природных ресурсов
МСУ – Э	Многозональное оптико-электронное сканирующее устройство высокого разрешения
НГК	Нефтегазовый комплекс
НПЗ	Нефтеперерабатывающий завод
ПНГ	Попутный нефтяной газ
СЗЗ	Санитарно-защитные зоны
КА	Космический аппарат
ФУ	Факельная установка
ЦКУ	Центр космических услуг
ЭПР	Эффективная площадь рассеяния
ЮНИИ ИТ	Югорский научно – исследовательский институт информационных технологий

РКД	Результаты космической деятельности
РСА	Радар с синтезированной апертурой
РФ	Российская Федерация
ХМАО	Ханты-Мансийский автономный округ
ESRIN	European Space Research Institute. Европейский институт космических исследований
GPS	Global Positioning System. Глобальная система позиционирования США
PAN	Панхроматический режим съемки с космических аппаратов. Один спектральный канал, как правило, с наилучшим пространственным разрешением
MS	Мультиспектральный режим съемки с космических аппаратов. Количество спектральных каналов, как правило, более трех
VV	Вертикальная параллельная поляризация. Поляризация облучения поверхности совпадает с поляризацией принимаемого обратно отраженного излучения
HH	Горизонтальная параллельная поляризация. Поляризация облучения поверхности совпадает с поляризацией принимаемого обратно отраженного излучения
HV, VH	Кроссполяризация. Поляризация принимаемого обратно отраженного излучения не совпадает с поляризацией облучения поверхности

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абанина, Е. Н. Государственный кадастровый учет лесных участков [Текст] / Е. Н. Абанина // Законы России. Опыт. Анализ. Практика. – 2011. – № 2. – С. 33 – 37.
- 2 Автоматизированная система спутникового мониторинга пожарной обстановки в технологических коридорах трубопроводов и лесах ХМАО [Текст] / В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин, А. В. Еремеев, М. А. Макеева, В. А. Хамедов // Оптика атмосферы и океана. – 2009. –Т. 22. – № 1. – С. 90–95.
- 3 Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических снимков. Выявление изменений состояния территорий и объектов по многозональным космическим снимкам, полученным на разные даты [Текст] / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова, М. А. Алтынцев, С. А. Арбузов, А. С. Гордиенко // Геодезия и картография. – 2013. – № 8. – С. 39–47.
- 4 Александров, М. Ю. Общие принципы и технологии радарной (SAR) съемки [Текст] / М. Ю. Александров // Пространственные данные. – 2008. – № 3. – С. 7 – 8.
- 5 Анализ существующих требований и ограничений в области сельского, водного, дорожного хозяйства, природопользования, туристско-рекреационного комплекса, контроль соблюдения которых целесообразно осуществлять на основе использования результатов космической деятельности (Шифр «Стратегия-РКД-ЮНИИИТ») [Текст] : отчет о НИР / рук. В. А. Хамедов ; исполн.: Ю. М. Полищук, Г. А. Кочергин, А. Н. Богданов [и др.]. – Ханты-Мансийск : ЮНИИ ИТ, 2013. – 142 с. – Инв. № РС-5/13-1-1/13.
- 6 Атлас ХМАО – Югры [Карты]. Т. II : Природа. Экология. – Ханты-Мансийск ; М., 2004.
- 7 Берлянт, А. М. Картоведение [Текст] : учеб. для вузов / А. М. Берлянт. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – 477 с.

8 Бочарова, А. А. Проблема рационального использования земель лесного фонда [Текст] / А. А. Бочарова // Сборник науч. тр. аспирантов и молодых учен. Сиб. гос. геодез. акад. / под общ. ред. Т. А. Широковой. – Новосибирск, 2008. – Вып. 5. – С. 58–62.

9 Бочарова, А. А. О формализации принципа рационального использования земель лесного фонда [Текст] / А. А. Бочарова, В. Б. Жарников // Гео-Сибирь-2009 : сб. материалов V Междунар. науч. конгр. «Гео-Сибирь-2009», 20–24 апр. 2009 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – Т. 3, ч. 2. – С. 16–19.

10 Бочарова, А. А. Постановка на государственный кадастровый учет земель лесного фонда: проблемы и решения [Текст] / А. А. Бочарова // Вестник СГГА. – 2012. – № 1 (17). – С. 88–93.

11 Бочарова, А. А. Основные условия рационального использования земель лесного фонда [Текст] / А. А. Бочарова, В. Б. Жарников // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3(19). – С. 69–77.

12 Бочарова А.А., Жарников В.Б. Основные условия рационального использования земель лесного фонда [Текст] // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 69–77.

13 Бочарова, А. А. Основные показатели рационального использования земель лесного фонда [Текст] / А. А. Бочарова, В. Б. Жарников // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 80–86.

14 Бочарова, А. А. Методические основы оценки рационального использования лесных участков [Текст] / А. А. Бочарова, В. Б. Жарников // Вестник СГГА. – 2013. – № 4. – С. 25–31.

15 Бочарова, А. А. Об оценке государственного управления землепользованием (на примере земель лесного фонда в рамках программы «Развитие лесного хозяйства на 2013-2020 годы») [Текст] / А. А. Бочарова, В. Б. Жарников // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 109–121.

16 Брыксин, В. М. Технология создания комплексного банка космических снимков Земли [Текст] / В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин, А. В. Филатов // Известия Алтайского гос. ун-та. – 2011. – № 1.– 1(69). – С. 55–59.

17 Брыксин, В. М. Выявление изменений природных ландшафтов с использованием оптических и радарных космоснимков на основе алгоритма Change Detection [Текст] / В. М. Брыксин, А. В. Евтюшкин // Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования: материалы IV научно-практ. конф. – Ханты-Мансийск, 2008. – С. 187–189.

18 Быковский, В. К. Правовое регулирование использования лесов на землях лесного фонда [Текст] : автореф. дис. канд. юрид. наук : 12.00.06 / Быковский Вадим Кириллович. – М., 2008. – 31 с.

19 Валидация результатов выявления и оценки площадей поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга SPOT-Vegetation [Текст] / С. А. Барталев, А. И. Беляев, В. А. Егоров и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005.– С. 388–392.

20 Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем [Текст] / С. А. Барталев, Д. В. Ершов, Е. А. Лупян, В. А. Толпин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1.– С. 49–56.

21 Возможность использования данных дистанционного зондирования земли и ГИС – технологий в лесном хозяйстве [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук, И. В. Рощупкина, С. В. Шимов // Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования : материалы III научно-практ. конф., Ханты-Мансийск, 24-28 апр. 2006 г.– Екатеринбург : Средне – Уральское изд-во, 2006. – 200 с.

22 Волков, С. Н. Землеустройство. Теоретические основы землеустройства [Текст] / С. Н. Волков. – М. : Колос, 2001. – 496 с. – 1 т.

23 Вопросы использования данных дистанционного зондирования в задачах управления лесным фондом региона [Текст] / В. А. Хамедов, С. В.

Шимов, Ю. М. Полищук, И. В. Рощупкина // Вестник Югорского Гос. Ун-та. – 2007. – № 6. – С. 83–87.

24 ГИС-технологии в задачах оценки последствий лесных пожаров. [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук, И. В. Рощупкина // Материалы 2 научно-практ. конф., посвященной памяти А. А. Дунина-Горкавича, Ханты-Мансийск, 11 мая 2006 г. – Нижневартовск : Издательский дом «Югорский», 2007. – С. 31–35.

25 Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.

26 Гордиенко, А. С. Использование вейвлет-анализа при обработке аэрокосмических снимков [Текст] / А. С. Гордиенко // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 2 – С. 68–71 .

27 Горчаковский, П. Л. Фитоиндикация условий среды и природные процессы в высокогорьях [Текст] / П. Л. Горчаковский, С. Г. Шиятов. – М. : Наука, 1985. – 208 с.

28 Гражданский кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 30.11.1994 г. № 51 (ч. 1) ; федер. закон от 26.01.1996 г. № 14 (ч. 2) ; федер. закон от 26.11.2001 г. № 146 (ч. 3) ; федер. закон от 18.12.2006 г. № 230 (ч. 4). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

29 Гук, А. П. Использование структурных признаков изображений типовых участков местности для выявления изменений состояния территорий по космическим снимкам высокого разрешения [Текст] / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, А. С. Алферова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 6. – С. 52–55.

30 Гук, А. П. Развитие фотограмметрических технологий на основе имманентных свойств цифровых снимков [Текст] / А. П. Гук // Геодезия и картография. – 2015. – № 11.– С. 40–41.

31 Гук, А. П. Разработка методики определения изменений границы леса по разновременным разномасштабным аэрокосмическим снимкам [Текст] / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, М. А. Алтынцев // Геодезия и Картография. – 2015. – № 12. – С. 9

32 Данюлис, Е. П. Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве [Текст] / Е. П. Данюлис. – М. : Агропромиздат, 1989. – 223 с.

33 Дворкин, Б. А. Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel [Текст] / Б. А. Дворкин // Геоматика. – 2011. – № 3 (12). – С.14–26.

34 Дейт, К. Д. Введение в системы баз данных [Текст] / К. Д. Дейт. – М. : Вильямс, 2001. – 1072 с.

35 Евтюшкин, А. В. Сопровождение архива ERS – 2\SAR на территорию России [Текст] / А. В. Евтюшкин, А. В. Филатов, В. М. Брыксин // Вестник СибГАУ. – 2013. – № 5(51) – С. 46 – 48.

36 Елизаветин, И. В. Сравнительная оценка фильтрации радиолокационных снимков с использованием вейвлет-преобразований [Текст] / И. В. Елизаветин, О. И. Семенов, Д. С. Гудилин // Аэрокосмические технологии : сб. тр. Всерос. научно-техн. конф., Моск. обл. г. Реутов, 22 мая 2002 / Федерал. гос. унитарное предприятие "НПО машиностроения", МГТУ им. Н. Э. Баумана ; отв. ред. Р. П. Симоньянц ; науч. рук. конф. И. Б. Федоров, Г. А. Ефремов. – М., 2003. – С. 233–243.

37 Емельянова, Т. А. Организация рационального использования и охраны земельных ресурсов северных территорий Российской Федерации (теория, методика, практика) [Текст] : монография / Т. А. Емельянова. – М. : ГУЗ, 2004. – 324 с.

38 Ермаков, С. А. О возможностях радиолокационной диагностики пленок на морской поверхности [Текст] / С. А. Ермаков // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2004. – С. 135.

39 Ефимов, М. В. Воздействие нефтегазового комплекса на экосистемы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [Текст] / М. В. Ефимов, Н. И. Стрих, В. Ш. Курбанов // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. – 2011. – Вып. 14, № 3(98). – С.110–114.

40 Жарников, В. Б. Технологические решения проведения рекультивационных работ на нефтезагрязненных территориях традиционного

природопользования (по материалам ХМАО-Югра) [Текст] / В. Б. Жарников, В. Н. Щукина // Геодезия и картография. – 2011. – № 10. – С. 34–38

41 Жарников, В. Б. Основные показатели рационального использования земель лесного фонда [Текст] / В. Б. Жарников, А. А. Бочарова // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 80–86.

42 Жарников, В. Б. Обеспечение условий устойчивого землепользования в проектах разработки месторождений на территориях традиционного природопользования [Текст] / В. Б. Жарников, В. Н. Щукина // Вестник СГГА. – 2012. – № 1(17). – С. 72–78.

43 Жарников, В. Б. Основные показатели рационального использования земель лесного фонда [Текст] / В. Б. Жарников, А. А. Бочарова // Вестник СГГА. – № 4 (20). – С. 80–86.

44 Жарников, В. Б. Перспективы обеспечения рационального использования земель лесного фонда [Текст] / В. Б. Жарников, А. А. Бочарова // Интерэкспо Гео-Сибирь 2012 : VIII Междунар. науч. конгр., 10-20 апр. 2012 г. – Новосибирск, 2012. – Т. 7. – С. 84–89.

45 Жарников, В. Б. Основные показатели рационального использования земель лесного фонда [Текст] / В. Б. Жарников, А. А. Бочарова // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 80–86.

46 Жарников, В. Б. Техногенная трансформация земель и ее показатели в системе мониторинга [Текст] / В. Б. Жарников, О. Н. Николаева, В. В. Сафонов // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 36–43.

47 Жарников В. Б. Национальная лесная политика как основа формирования рационального использования лесных геосистем [Текст] / В. Б. Жарников, А. А. Бочарова // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 1 (21). – С. 31–40.

48 Жарников, В. Б. Техногенная трансформация земель и ее показатели в системе мониторинга [Текст] / В. Б. Жарников, О. Н. Николаева, В. В. Сафонов // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 36–43.

49 Жарников, В. Б. Рациональное использование земель как задача геоинформационного пространственного анализа [Текст] / В. Б. Жарников // Вестник СГГА.– 2013.– Вып. 3 (23). – С. 77–81.

50 Жарников, В. Б. О формировании системы показателей мониторинга особо охраняемых природных территорий [Текст] / В. Б. Жарников, И. Н. Евсюкова, А. В. Конева // Итерэкспо Гео-Сибирь-2016 : сб. материалов XII Междунар. науч. конф. 18-22 апр. 2016 г. – Новосибирск, 2016. – Т. 2. – С. 230 – 235.

51 Затыгалова, В. В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования [Текст] / В. В. Затыгалова // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 5(8). – С. 95–100.

52 Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 25.10.2001г. № 136 (ред. от 28.07.2012 г.). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

53 Исаев, А. С. Биологическое разнообразие лесов России, предложения к программе действий [Текст] / А. С. Исаев, Л. М. Носова, Ю. Г. Пузаченко // Лесоведение. – 1997. – № 2. – С. 3–13.

54 Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса для прогнозного моделирования экологической обстановки [Текст] / С. А. Втюрин, Н. А. Князев, Ю. А. Палатов, С. Н. Романенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Вып. 4. – Т. 1. – С.111–118.

55 Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования [Текст] / В. Н. Копылов, Г. А. Кочергин, Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 1. – С. 33–41.

56 Использование данных дистанционного зондирования в задачах лесной отрасли [Текст] / В. А. Хамедов, В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук, С. В. Шимов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из

космоса : материалы 3-ей открытой Всерос. конф., Москва, 14-17 нояб. 2005 г. – М. : Азбука-2000, 2006. – С. 380–387.

57 Кантемиров, Ю. И. Обзор современных радарных данных ДЗЗ [Текст] / Ю. И. Кантемиров // Геоматика. – 2012.– № 1 (14). – С.18–21.

58 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий [Текст] : монография / А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 232 с.

59 Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 7. [Текст]. – Иркутск : Байкальский центр, 2008. – 80 с.

60 Коберниченко, В. Г. Особенности формирования изображений в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой [Текст] / В. Г. Коберниченко // Вестник УГТУ-УПИ. Теория и практика радиолокации земной поверхности. Сер. Радиотехническая. – 2005. – № 19(71).

61 Кокорина, Н. В. Биоиндикация атмосферного загрязнения при сжигании попутного газа в факелах на нефтяных месторождениях в среднетаежной зоне Западной Сибири [Текст] / Н. В. Кокорина, А. М. Касаткин, Ю. М. Полищук // Вестник ТГУ. – 2009. – № 3. – С. 65–72.

62 Копылов, В. Н. Геоинформационная технология оценки последствий лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования [Текст] / В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов // Геоинформатика.– 2006. – № 1.– С. 56–61.

63 Копылов, В. Н. Синтез оптических и радиолокационных космических снимков при решении задачи оперативного обнаружения лесных гарей [Текст] / В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов // Гео-Сибирь-2006 : материалы 3-го Междунар. науч. конгр., 25-27 апр. 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2007. – С.157–161.

64 Копылов, В. Н. Методические вопросы использования космических снимков для оперативной оценки последствий лесных пожаров [Текст] / В. Н.

Копылов, Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов : материалы 4-ой открытой Всерос. конф.– М., 2007. – Т. I. – С. 380–387.

65 Копылов, В. Н. Информационная технология оперативного обнаружения лесных пожаров [Текст] / В. Н. Копылов, В. А. Хамедов // Проблемы природной безопасности Югры: мониторинг и прогнозирование экстремальных гидрометеорологических явлений и лесных пожаров : материалы научно-практ. семинара, 9-10 июня 2008 г. – Ханты-Мансийск, 2008. – С. 18–23.

66 Коровин, Г. Н. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России [Текст] / Г. Н. Коровин, Н. В. Зукерт // Климатические изменения: взгляд из России / ред. В. И. Данилов-Данилян. – М. : ТЕИС, 2003. – С. 69–98.

67 Космический аппарат "Ресурс-П" [Текст] / А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, Н. Р. Стратилатов и др. // Геоматика. – 2010. – № 4. – С. 23 – 26.

68 Кравцова, В. И. Пространственная структура экотона тундра-тайга на плато Путорана (по космическим снимкам высокого разрешения) [Текст] / В. И. Кравцова // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. – 2012.– № 1. – С. 67–74.

69 Креймер, М. А. Гармонизация природопользования и природоохранной деятельности [Текст] / М. А. Креймер // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 61–77.

70 Курбанов, Э. А. Лесоустройство. Международные аспекты устойчивого управления лесами [Текст] : учеб. пособие / Э. А. Курбанов, И. А. Яковлев. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2001. – 180 с.

71 Лебедев, Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования [Текст] / Ю. В. Лебедев. – Екатеринбург: Уральское отд-ние РАН, 2011. – 574 с.

72 Лесной кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 04.12.2006 г. № 200 (ред. от 28.07.2012 г.). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

73 Лесоустроительная инструкция [Текст] : приказ от 6 февр. 2008 г. № 31 об утв. лесоустроительной инструкции. – М., 2008. – 51 с.

74 Локализация изменений объектов природно-территориальных комплексов по разновременным космическим снимкам [Текст] / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, А. С. Гордиенко, М. А. Алтынцев // Геодезия и картография. – 2010. – № 2. – С. 19–25.

75 Лямеборшай, С. Х. Методические основы составления лесных планов в субъектах Российской Федерации [Текст] / С. Х. Лямеборшай // Лесное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 12–16.

76 Мазуров, Б. Т. Совершенствование информационной базы региональных ГИС (РГИС) для инвентаризации и картографирования ресурсов [Текст] / Б. Т. Мазуров, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 130–133.

77 Мазуров, Б. Т. Интегральные экологические карты как инструмент исследования динамики экологической обстановки промышленного центра [Текст] / Б. Т. Мазуров, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 88–91.

78 Мазуров, Б. Т. Использование аэрокосмических снимков в картографировании экзогенных геологических процессов морфосистем «Байкальской горной страны» [Текст] / Б. Т. Мазуров, Л. А. Пластинин, В. П. Ступин // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 113–117.

79 Мазуров, Б. Т. Опыт использования космических снимков с космических аппаратов типа «Канопус-В» и «БКА» для обнаружения участков нефтяных загрязнений на месторождениях Западной Сибири [Текст] / Б. Т. Мазуров, В. А. Хамедов, А. С. Князьков // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 179–183.

80 Мальцев, Г. Н. Создание и использование баз данных спектральных образов для решения задач тематической обработки гиперспектральных данных

дистанционного зондирования Земли [Текст] / Г. Н. Мальцев, И. А. Козин // Информационно-правовой портал «Гарант.ру». – 2015. – № 1. – С. 24–31.

81 Методика инструментального замера площади лесного пожара [Электронный ресурс] : (утв. приказом М-ва природ. ресурсов и экологии РФ от 23 июня 2014г. № 275). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

82 Методика исчисления размера убытков, причиненных объединениям коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации в результате хозяйственной и иной деятельности организаций всех форм собственности и физических лиц в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ М-ва регионального развития РФ от 09.12.2009 № 565). – Режим доступа: Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

83 Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах [Электронный ресурс] : утв. Минтопэнерго РФ 01.11.1995 г.). – Режим доступа: Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

84 Методика осуществления оперативного контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах [Электронный ресурс] : (утв. приказом М-ва природ. ресурсов и экологии РФ от 05.12.2014 г. № 540). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

85 Методика оценки последствий лесных пожаров [Текст] : сб. методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. – М. : ВНИИ ГОЧС, 1994. – 12 с. – 2 кн.

86 Методика проведения проверки достоверности сведений о площади лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс] : (утв. приказом М-ва природ. ресурсов и экологии РФ от 13.10.2014г. № 437). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

87 Методы фильтрации радиолокационных изображений [Текст] Р. И. Шувалов, В. В. Крылова, А. С. Воскобойник и др. // *Аэрокосмические технологии : сб. тр. Всерос. и Междунар. научно-техн. конф., Реутов– Москва, 2004–2007*). – М. : НПО машиностроения, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – С. 277.

88 Моисеев, Н. А. Лесные дела в России. Что дальше? [Текст] / Н. А. Моисеев // *Лесное хозяйство*. – 2012. – № 6. – С. 6–11.

89 Натурные эксперименты по растеканию пленок нефтепродуктов и их радиолокационное зондирование [Текст] / С. А. Ермаков, О. Ю. Лаврова, Е. В. Макаров и др. // *Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса*. – 2004. – С. 136.

90 Научные основы и первые результаты дистанционного мониторинга незаконных рубок леса [Текст] / В. И. Сухих, М. Д. Гиряев, В. И. Архипов [и др.] // *Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса*. – 2006. – Т. 1. – С. 32–38.

91 Невидимова, О. Г. Климатические условия развития гелиоэнергетики на территории Западной Сибири [Электронный ресурс] / О. Г. Невидимова, Е. П. Янкович // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1-2. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20163> (дата обращения: 20.07.2016).

92 Неронский, Л. Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны [Текст] : учеб. пособие / Л. Б. Неронский, В. Ф. Михайлов, И. В. Брагин ; СПбГУАП. – СПб., 1999. – 220 с. – 2 ч.

93 Нитяго, И. В. Экономическое будущее Сибири: проблемы и перспективы [Текст] / И. В. Нитяго // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 118–125.

94 Об установлении форм отчетов об использовании, охране, защите, воспроизводстве лесов, лесоразведении и порядка их представления [Электронный ресурс] : приказ Федер. агентства лесного хоз-ва от 14.02.2012 г. № 47. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

95 Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 08.05.2007 г. № 273. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

96 Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства" на 2013 - 2020 годы" [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 318. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

97 Об утверждении инструкции о порядке предоставления горных отводов для разработки газовых и нефтяных месторождений [Текст] : Постановление Госгортехнадзора РФ утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 11 сент. 1996 г. № 35 // Рос. вести. – 1996. – 17 окт.– № 197.

98 Об утверждении Критериев и индикаторов устойчивого управления лесами Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ Рослесхоза от 05.02.1998 г. № 21. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

99 Об утверждении Лесного плана Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [Текст] : Постановление Губернатора ХМАО – Югры от 29.12.2008 № 190 (ред. от 17.07.2013).– Югра, 2008.

100 Об утверждении методических указаний по разработке и реализации государственных программ Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития РФ от 20.11.2013 г. № 690. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

101 Об утверждении перечня государственных программ Российской Федерации [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 11.11.2010 г. № 1950-р. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

102 Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель, за исключением земель сельскохозяйственного назначения: приказ Министерства экономического развития РФ от 26.12.2014 г. № 852

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

103 Об утверждении Порядка ведения государственного лесного реестра [Электронный ресурс] : приказ Рослесхоза от 30.05.2011 г. № 194. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

104 Об утверждении Порядка организации деятельности и взаимодействия территориальных органов и структурных подразделений Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии при осуществлении государственного мониторинга земель [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития от 26.06.2015 г. № П/343. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

105 Об утверждении Порядка подготовки и заключения договора аренды лесного участка, находящегося в государственной или муниципальной собственности, и Формы примерного договора аренды лесного участка [Электронный ресурс] : приказ Рослесхоза от 26.07.2011 г. № 319. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

106 Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки [Электронный ресурс] : приказ Федер. агентства лесного хоз-ва от 29.02.2012 г. № 69. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

107 Об утверждении Классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды [Электронный ресурс] : приказ Федер. агентства лесного хоз-ва от 05.07.2011 №287. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

108 О введении местных систем координат [Электронный ресурс] : приказ Федеральной службы земельного кадастра России № П/256 от 28 марта 2002 г. – Режим доступа: <http://www.inpravo.ru/data/base637/text637v656i758.htm>.

109 О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части

совершенствования регулирования лесных отношений [Электронный ресурс] : федер. закон от 23.06.2016 г. № 218-ФЗ. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

110 О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 21.11.2011 г. № 331-ФЗ. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

111 О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним [Электронный ресурс] : федер. закон Рос. Федерации от 21.07.1997 г. № 122 (ред. от 28.07.2012 г.). – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

112 О государственном кадастре недвижимости [Электронный ресурс] : федер. закон от 24.07.2007 г. № 221. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

113 О лесной декларации [Электронный ресурс] : приказ Федерального агентства лесного хоз-ва от 17.01.2012 г. № 18. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

114 Опыт использования цифровых карт для анализа радиационной обстановки [Текст] / Б. Т. Мазуров, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева, О. А. Волкова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 91–95.

115 Основные положения об опорно-межевой сети [Электронный ресурс] : приказ Федер. службы земельного кадастра России № П/261 от 15 апр. 2002 г. – Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

116 Основы государственной политики в области использования результатов космической деятельности в интересах модернизации экономики Российской Федерации и развития ее регионов на период до 2030 года [Электронный ресурс] : утв. Президентом РФ 14.01.2014 г. № Пр-51. Режим доступа: Информационно-правовой портал «Гарант.ру».

117 О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера регионального значения в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре [Текст] : закон ХМАО – Югры от 28.12.2006 г. № 145-оз. Принят Думой ХМАО – Югры 27.12.2006 // Новости Югры. – 2007. – № 7.

118 Панова, О. В. Использование данных спектрорадиометра MODIS для регистрации и учета лесных гарей [Текст] / О. В. Панова, Д. В. Ершов // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2005. – С. 388–392.

119 Парижское соглашение об изменении климата [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ 14.04.2016 г. № 670-р. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/22726/>.

120 Петров, А. П. Лесная политика Российской Федерации: уроки прошлого и взгляд в будущее [Текст] / А. П. Петров // Лесное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 13–16.

121 Пимахин, А. Н. Оценка состояния окружающей среды объектов нефтегазодобывающего комплекса Ханты-Мансийского автономного округа – Югры методом космического зондирования [Текст] / А. Н. Пимахин // Гео-Сибирь-2005 : сб. материалов науч. конгр., 25-29 апр. 2005 г. – Новосибирск: СГГА, 2005. – Т. 1, ч. 2. – С. 29–33.

122 Писаренко, А. И. Современное состояние лесного комплекса России [Текст] / А. И. Писаренко, В. В. Страхов // Лесное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 2–7.

123 Полищук, Ю. М. Влияние факельного сжигания на лесную растительность [Текст] / Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов, В. В. Русакова // Помышленность и экология Севера. – 2015. – № 1(43). – С.14–17.

124 Полищук, Ю. М. Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса [Текст] / Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов, В. В. Русакова // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 66 – 69.

125 Полномочия органов государственной власти и местного самоуправления по мониторингу, контролю и проектированию природопользования и окружающей среды, обеспечиваемые съемками Земли из космоса [Текст] : справ. руководство. – Иркутск : Байкальский центр, 2008. – 44 с.

126 Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультивременных радарных и радарно-оптических цветных композитах [Текст] / Е. В. Бахтинова, А. Ю. Соколов, Д. Б. Никольский, Ю. И. Кантемиров // Геоматика. – 2012. – № 1. – С. 52–55.

127 Правительство России [Электронный ресурс] : Новостной блок. Александр Хлопонин провел совещание о мерах по борьбе с незаконной заготовкой и оборотом древесины. – М., 2016. – Режим доступа: <http://government.ru/news/23180/>.

128 Применение информационно-космических технологий в лесном хозяйстве [Текст] / В. А. Хамедов, В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук, С. В. Шимов // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве : материалы 4-ой Междунар. конф., Москва, 17-19 апр. 2007 г. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – С. 81–83.

129 Применение геоинформационных технологий в изучении развития природно-антропогенных экосистем на территории Тувы [Текст] / О. Д. Аюнова, Е. А. Доможакова, О. И. Кальная, С. Г. Прудников // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 2(18). – С. 100–105.

130 Применение геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования в задачах лесной отрасли [Текст] / В. А. Хамедов, В. Н. Копылов, А. Н. Павлов и др. // Материалы 1 научно-практ. конф., посвященной памяти А.А.Дунина-Горкавича, Ханты-Мансийск, 27-28 апр. 2005 г. – Нижневартовск : Югорский издат. дом, 2006. – С. 44.

131 Радиоэкологическое картографирование окружающей среды и некоторые тенденции его развития [Текст] / Б. Т. Мазуров, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева, О. А. Волкова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 104–107.

132 Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках [Текст] / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова и др. // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31.

133 Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS [Текст] / Э. А. Курбанов и др. // Геоматика. – 2012. – № 4. – С. 82–92.

134 Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров [Текст] / Д. В. Ершов, Г. Н. Коровин, Е. А. Лупян и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – С. 47–57.

135 Российская Федерация. Законы. Земельный кодекс Российской Федерации [Текст]. – М.: Проспект, 2008. – 112 с.

136 Российская Федерация. Законы. О землеустройстве [Электронный ресурс] : федер. закон (принят Гос. Думой 24 мая 2001 г.). – Режим доступа: Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

137 Российская Федерация. Законы. О территориях традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации [Текст] : федер. закон (принят Гос. Думой 04 апр. 2001г. с изм. от 23.07.2008 № 160-ФЗ) // Рос. газ. – 2001.– 05 нояб.– № 88.

138 Свидетельство 2016620648 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. Реестр изменений лесного фонда ХМАО [Текст] / Р. М. Габдрахманов, Г. А. Кочергин, М. А. Куприянов, В. А. Хамедов, Р. Р. Шарафутдинов; заявитель и правообладатель АУ «Югорский НИИ информационных технологий» (RU). – №2016620648 ; заявл. 06.04.16 ; опубл. 23.05.16, Реестр баз данных. – 1 с.

139 Свидетельство 2016660062 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автоматизированное обнаружение участков лесных гарей по космическим снимкам [Текст] / В. А. Хамедов; заявитель и правообладатель ООО «Геопроектсервис» (RU). –

№ 2016617303 ; заявл. 08.07.16 ; опубл. 06.09.16, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

140 Свидетельство 2016660081 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Специальное программное обеспечение мониторинга состояния лесных земель по радиолокационным космическим снимкам (СПО Forest burned area) [Текст] / В. А. Хамедов; заявитель и правообладатель ООО «Геопроектсервис» (RU). – № 2016617323 ; заявл. 08.07.16 ; опубл. 06.09.16, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

141 Синёва, А. А. Поляризационная радиолокация для обнаружения и идентификации пленочных загрязнений моря [Текст] / А. А. Синёва // Труды МФТИ. – 2014. – Т. 6, № 3. – С. 129–141.

142 Система мониторинга состояния лесных ресурсов региона на основе геоинформационных технологий, наземных и спутниковых данных [Текст] / В. Н. Копылов, Г. А. Кочергин, И. А. Маслов, В. Ю. Полищук, Ю. М. Полищук, В. А. Хамедов // Вестник ЮГУ, 2009. – № 3. – С. 52–57.

143 Сладкопевцев, С. А. Оценка состояния территорий г. Грозный по материалам дистанционного зондирования Земли в целях городского кадастра [Текст] / С. А. Сладкопевцев, К. Н. Кубышкина // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 1. – С. 64–70.

144 Создание карты лесов Ханты-Мансийского округа на основе космических снимков среднего разрешения [Текст] / В. А. Хамедов, В. Н. Копылов, Ю. М. Полищук, С. В. Шимов, А. Н. Сугаипова // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 2. – С. 474–478.

145 Статакис, Д. Дешифрирование урбанизированных территорий по спутниковым данным Landsat [Текст] / Д. Статакис, К. Перакис, И. Ю. Савин // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 5. – С. 22–28.

146 Сухих, В. И. Дистанционные методы в лесном хозяйстве и охране природы [Текст] / В. И. Сухих // Лесное хозяйство. – 1979. – № 3. – С. 41–45.

147 Сухих, В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве [Текст] : учебник / В. И. Сухих. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2005. – 392 с.

148 Тенденции в дистанционном зондировании Земли и проблемы стандартизации данных [Текст] / В. Н. Филатов, В. Г. Зиновьев, С. П. Присяжнюк, А. М. Полетаев // Информация и космос. – 2005. – № 1. – С. 9–23.

149 Типовой проект рекультивации загрязненных нефтью земель на месторождениях ОАО «Юганскнефтегаз» [Текст]. – Тюмень : Ин-т экологии и природопользования, 2004.

150 Токарева, О. С. Оценка экологического риска воздействия атмосферного загрязнения на растительность [Текст] / О. С. Токарева, Ю. М. Полищук // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 8. – С. 717–721.

151 Токарева, О. С. Сравнительный анализ результатов дистанционного определения вегетационных индексов и данных биоиндикационных исследований в задачах экологического мониторинга [Текст] / О. С. Токарева, Ю. М. Полищук // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 2. – С. 260–267.

152 Труханов, А. Э. Исследование возможности применения космических снимков для определения местоположения границ земельных участков [Текст] / А. Э. Труханов, Ф. К. Афонин, А. С. Ильин // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 96–101.

153 Украинский, П. А. Динамика спектральных свойств зарастающих травяных гарей [Текст] / П. А. Украинский // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 4. – С. 229–238.

154 Хамедов, В. А.. Применение геоинформационных технологий для оценки последствий лесных пожаров [Текст] / В. А. Хамедов // Информационные технологии и космический мониторинг : материалы 3-й научно-практ. конф. «Электронная Россия», г. Ханты-Мансийск, 2004 г. –Екатеринбург : Баско, 2004.– С. 50–53.

155 Хамедов, В. А. Оценка эколого-экономических последствий лесных пожаров в комплексном мониторинге [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук // Контроль и реабилитация окружающей среды : материалы IV Междунар. симп., Томск, 21-23 июля 2004 г. – Томск : ИМКЭС СО РАН. – 2004. – С. 106 – 107.

156 Хамедов, В. А. Опыт разработки и применения информационно-космических технологий для управления охраной лесов [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты : материалы Междунар. научно-практ. конф., Томск, 21-22 марта 2005 г. – Томск : STT, 2005. – С. 257 – 259.

157 Хамедов, В. А. Использование ГИС-технологий и ДЗЗ для выявления нецелевого использования земель лесного фонда в условиях интенсивного развития нефтегазового комплекса ХМАО [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук, С. В. Шимов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : тез. докл. 4 Всерос. конф., Москва, 13-17 нояб. 2006 г. – М. : ИКИ РАН, 2006. – С. 239.

158 Хамедов, В. А. Применение ГИС и 3D-технологий при решении задач рационального природопользования [Текст] / В. А. Хамедов, Н. Л. Сергеева-Альбова, В. В. Абрамчук // Интерэкспо Гео-Сибирь-2013 : IX Междунар. науч. конгр. Методы дистанционного зондирования и ГИС-технологии для оценки состояния окружающей среды, инвентаризации земель и объектов недвижимости. – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 52–55.

159 Хамедов, В. А. Оценка состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса ХМАО [Текст] / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук, В. В. Русакова // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве : материалы V Всерос. конф., Москва, 22-24 апр. 2013 г. – М. : ЦЭПЛ РАН, 2013. – С. 314–318.

160 Хамедов, В. А. Перспективы использования результатов космической деятельности в интересах социально-экономического развития региона [Текст] / В. А. Хамедов // Геоинформационные технологии в решении задач рационального природопользования : материалы Всерос. научно-практ. конф. / Югорский

научно-исслед. ин-т информ. технологий. – Ханты-Мансийск : Юграфика, 2013. – 74 с.

161 Хамедов, В. А. Мониторинг состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса [Текст] / В. А. Хамедов // Решетневские чтения. – Красноярск, 2013. – Ч. 2. – С. 265–267.

162 Хамедов, В. А. Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории Западной Сибири [Текст] В. А. Хамедов, Б. Т. Мазуров // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 16–31.

163 Хамедов, В. А. Оценка точности определения площадей лесных рубок с использованием снимков с российского космического аппарата «Ресурс-П» №1 [Текст] / В. А. Хамедов, Б. Т. Мазуров // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 42–50.

164 Хамедов, В. А. Сравнение методов обнаружения лесных гарей по оптическим и радиолокационным космическим снимкам [Текст] / В. А. Хамедов // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 43 – 54.

165 Хлыстун, В. Н. Дискуссионные проблемы развития земельных отношений в России [Текст] / В. И. Хлыстун // Землеустроительная наука и образование России в начале третьего тысячелетия. – М. : ГУЗ, 2004. – С. 82–91.

166 Черемисин, М. В. Метод комплексного мониторинга лесов на основе оптических и радиолокационных данных ДЗЗ [Текст] / М. В. Черемисин, В. Д. Бурков // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 4. – С. 262–273.

167 Чилимов, А. И. Рациональное использование лесных земель [Текст] / А. И. Чилимов, Н. И. Кожухов, Г. Н. Рукоусев. – М. : Лесн. пром-сть, 1981. – 192 с.

168 Чилимов, А. И. Рациональное использование лесных земель [Текст] : автореф. дис. докт. с.-х. Наук / А. И. Чилимов. – М., 1991. – 56 с.

169 Шалмина, Г. Г. Предпроектное обоснование прогнозирования экономики [Текст] : монография / Г. Г. Шалмина. – Новосибирск: Изд-во НГОНБ, 2010. – 480 с.

170 Шувалов, Р. И. Распознавание нефтяных пятен на морской поверхности по данным дистанционного зондирования Земли из космоса [Текст] / Р. И. Шувалов, И. В. Елизаветин // Аэрокосмические технологии : сборник трудов Всерос. и Междунар. научно-техн. конф., Реутов–Москва, 2004–2007 гг. – М. : НПО машиностроения, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – С. 278–285.

171 Щукина, В. Н. Разработка методики информационного обеспечения охраны и рекультивации земель традиционного природопользования [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук / Щукина Вера Николаевна. – Новосибирск, 2011. – 23 с.

172 Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России [Текст] : аналит. обзор / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин и др. – М. : Центр эколог. политики России, 1995. – 156 с.

173 Arino, O., et al., 2001. Mapping of burned surfaces in vegetation fires, in Global and Regional Vegetation Fire Monitoring From Space[Текст]: Planning and Coordinated International Effort, edited by F. Ahern, J. G. Goldammer, and C. Justice, pp. 227– 255, SPB Acad., The Hague

174 Bertoni N., Cesarano L., Giusto G., Britti F., Gentile V., Pietranera L.. Новый подход к мониторингу изменений, основанный на когерентном анализе разновременных радарных снимков сверхвысокого разрешения со спутников COSMO-SkyMed [Текст] // Геоматика. - 2012. -№1 - С.84-94.

175 Boschetti L., Flasse A., A. Jacques de Dixmude and Trigg S., A multitemporal change-detection algorithm for the monitoring of burnt areas with SPOT-Vegetation data, in L. Bruzzone and P. Smits (eds.), Analysis of MultiTemporal Remote Sensing Images, [Текст] World Scientific, Singapore, - 2002 – P. 75-82.

176 Bryksina N.A., Polishchuk Yu.M. Analysis of changes in the number of thermokarst lakes in permafrost of western siberia on the basis of satellite images

[Электронный ресурс] // Kriosfera Zemli. – 2015.– Vol. XIX, No. 2. – PP. 100–105. – Режим доступа: <http://www.izdatgeo.ru>.

177 Bryksina N. A., Polishchuk Yu.M. Remote Analysis of Changes in the Number of Small Thermokarst Lakes and Their Distribution with Respect to Their Sizes in the Cryolithozone of Western Siberia, 2015 Y. M. Polishchuka.

178 Csiszar I., Justice C.O., Mcguire A.D., Cochrane M.A., Roy D.P., Brown F., Conard S.G., Frost P.G.H., Giglio L., Elvidge C., Flannigan M.D., Kasischke E., McCrae D.J., Rupp T.S., Stocks B.J., Verbyla D.L. Land Use And Fires [Текст] // Land Change Science: Observing, Monitoring, and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface, Kluwer Academic Publishers. - 2004.– P. 329–350.

179 Eva H., Lambin E. F. Burnt area mapping in central Africa using ATSR data [Текст] // Int. J. Remote Sens., 19. – 1998 – P. 3473– 3497.

180 Epting, J. Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+ / J. Epting, D. Verbyla, B. Sorbel [Текст] // Remote Sensing of Environment. – 2005. – № 96. – P. 328–339.

181 Fraser R. H., Li Z., Landry R. SPOT VEGETATION for characterising boreal forest fires[Текст] // International Journal of Remote Sensing, 21. – 2000. – P. 3525–3532.

182 Fraser R. H., Li Z, Estimating fire-related parameters in boreal forest using SPOT VEGETATION[Текст] // Remote Sensing of Environment, 82. – 2002. – P. 95–110.

183 Fraser R. H., Li Z., Cihlar J. Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest [Текст] // Remote Sensing of Environment, 74. – 2000. – P. 362–376.

184 Huete, A.R. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for Eos-MODIS / A.R. Huete, H.Q. Liu, K. Batchily, van Leeuwen W [Текст] // Remote Sensing of Environment. – 1997. – № 59. – P. 440–451.

185 Justice C., Belward A., Morisette J., Lewis P., Privette J., Baret F. Developments in the validation of satellite sensor products for the study of the land surface [Текст] // International Journal of Remote Sensing, 21 – 2000. – P. 3383– 3390.

186 Kasischke E. S., French N. H. F., Harrell P., Christensen Jr. N. L., Ustin S. L., Barry D. Monitoring of wildfires in boreal forests using large area AVHRR NDVI composite data [Текст] // Remote Sensing of Environment, 44 – 1993 – P. 51–71.

187 Key, C.H. The Normalized Burn Ratio (NBR): a Landsat TM radiometric measure of burn severity / C.H. Key, N. Benson // [Электронный ресурс]. – Poster abstract: [http://nrmsc.usgs.gov/files/norock/products/SEVER36\\_im\\_copy6.pdf](http://nrmsc.usgs.gov/files/norock/products/SEVER36_im_copy6.pdf) .

188 L.Pietranera, L.Cesarano, F.Britti, V.Gentile, Y.Kantemirov. Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed [Текст] // Геоматика. – 2012.– № 1. – С. 46–51.

189 Pereira J. M. C. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping [Текст] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37(1), 1999, P. 217– 226.

190 Pratt, William K. 1991. Digital Image Processing [Текст]. – New York: John Wiley & Sons, Inc.

191 Stroppiana D., Pinnock S., Pereira J. M. C., Gregorie J.-M. Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia [Текст] // Remote Sensing of Environment, 82, 2002, P. 21–37.

192 Tansey, K., J-M. Gregoire, D. Stroppiana, A. Sousa, J. Silva, J. Pereira, L. Boschetti, M. Maggi, P. A. Brivio, R. Fraser, S. Flasse, D. Ershov, E. Binaghi, D. Graetz, and P. Peduzzi, 2003, Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data, Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 109, D14S03, doi:10.1029/2003JD003598, 2004.

193 Using the USGS Landsat-8 Product [Электронный ресурс] : U.S. Geological Survey.

194 Zhe, Zhu Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery / Zhe Zhu, Curtis E. Woodcock [Текст] // Remote Sensing of Environment. – 2012. – № 118. – P. 83–94.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ  
В СФЕРЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
УПРАВЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ  
ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
(РОСПРИРОДНАДЗОРА)  
ПО ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМУ  
АВТОНОМНОМУ ОКРУГУ-ЮГРЕ  
(Управление Росприроднадзора  
по Ханты-Мансийскому автономному округу-Югре)  
ул. Студенческая, д. 2, г. Ханты-Мансийск, 628012  
телефон/факс (3467) 35-32-01, 32-78-93  
E-mail: rpn86@rpn.gov.ru

Председателю Диссертационного  
совета Д 212.251.04 при Сибирском  
государственном университете  
геосистем и технологий  
Лисицкому Д.В.

630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

19.07.2016 № 02-3/7899  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Уважаемый Дмитрий Витальевич!

Настоящим письмом Управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре подтверждает, что результаты диссертационного исследования Хамедова Владимира Александровича «Мониторинг состояния лесных земель в условиях воздействия природных и техногенных факторов по космическим снимкам оптического и радарного диапазонов» были внедрены в надзорной деятельности нашей организации и в настоящее время успешно используются с целью получения информации о состоянии нарушенных земель на территории автономного округа.

ВРИО руководителя

В.В. Скворцов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
(обязательное)

СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММ ДЛЯ  
ЭВМ И БАЗЫ ДАННЫХ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации базы данных

**№ 2016620648**

**Реестр изменений лесного фонда ХМАО - Югры**

Правообладатель: *автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа - Югры «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий» (RU)*

Авторы: *Габдрахманов Руслан Магданович (RU), Кочергин Глеб Александрович (RU), Куприянов Матвей Андреевич (RU), Хамедов Владимир Александрович (RU), Шарафутдинов Рашид Ривинерович (RU)*

Заявка № **2016620412**  
Дата поступления **06 апреля 2016 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре баз данных **23 мая 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Рисунок Б.1 – Свидетельство о государственной регистрации базы данных [138]

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016660062

**Автоматизированное обнаружение участков лесных гарей  
по космическим снимкам**

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью  
«Геопроектсервис» (RU)*

Автор: *Хамедов Владимир Александрович (RU)*

Заявка № **2016617303**

Дата поступления **08 июля 2016 г.**

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **06 сентября 2016 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



Рисунок Б.2 – Свидетельство о государственной регистрации  
программы для ЭВМ [139]

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2016660081**

**Специальное программное обеспечение мониторинга  
состояния лесных земель по радиолокационным  
космическим снимкам (СПО Forest burned area)**

Правообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью  
«Геопроектсервис» (RU)*

Автор: *Хамедов Владимир Александрович (RU)*



Заявка № **2016617323**

Дата поступления **08 июля 2016 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **06 сентября 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

Рисунок Б.3 – Свидетельство о государственной регистрации  
программы для ЭВМ [140]