

УДК:332

Романюк Юлия Анатольевна

Доцент кафедры «Инженерная геомастика»

Ташкентский архитектурно строительный университет

Ташкент, Узбекистан

**АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА ЛЕСА В РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

Аннотация: Данная статья посвящена использованию космических снимков для ведения мониторинга земель, занятых лесом. Применение дистанционных методов при мониторинге земель является современным техническим направлением, позволяющим оперативно, в оптимальные сроки и экономически эффективно выполнять задачу обновления информации о землях на значительных площадях. Создание методов для оценки состава лесов, их инвентаризации и мониторинга качественных и количественных характеристик с использованием спутниковых изображений. Это позволяет получать необходимую информацию на обширных территориях, является актуальной задачей.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование, земли лесного фонда, мониторинг лесов, спутниковые данные, Sentinel, Landsat.

Romanyuk Yulia Anatolyevna

Docent of department «Engineering Geomatics»

Tashkent University of Architecture and Civil Engineering

Tashkent, Uzbekistan

ANALYSIS OF SPACE SYSTEMS USED IN FOREST MONITORING IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Annotation: This article is devoted to the use of satellite images for monitoring forest-occupied lands. The use of remote methods in land monitoring is a modern technical direction that allows you to quickly, in optimal time and cost-effectively perform the task of updating information about land in significant areas. The creation of methods for assessing the composition of forests, their inventory and monitoring of qualitative and quantitative characteristics using satellite images, which allows obtaining the necessary information over vast territories, is an urgent task.

Keywords: Remote sensing, forest lands, forest monitoring, satellite data, Sentinel, Landsat.

Введение. Лесные ресурсы, являясь ключевым элементом биосферы, имеют значительное глобальное экологическое, экономическое и социальное значение. Информация о состоянии и динамике лесов на планете по-прежнему остается недостаточной и не соответствует современным требованиям для устойчивого управления лесными ресурсами, охраны окружающей среды и исследований глобальных изменений биосферы и климата. Методы дистанционного зондирования представляют собой незаменимый инструмент, позволяющий быстро получать актуальные данные о площадях и качестве лесных угодий. Точность информации, получаемой из аэро- и космических снимков, зависит от правильности их фотограмметрической обработки и дешифрования. В настоящее время одним из современных методов обработки является использование вегетационных индексов для преобразования первичных снимков и создания индексных изображений.

Согласно главы 2, статьи 8 Земельного кодекса Республики Узбекистан к землям лесного фонда относятся земли покрытые лесом, а

также не покрытые лесом по предоставленные для нужд лесного хозяйства, следовательно мониторинг лесов включает в себя наблюдение, оценку и прогнозирование состояния и динамики лесного фонда с целью управления, охраны, восстановления и увеличения лесных ресурсов, а также повышения их экологических функций и контроля состояния природной среды [1]. Важно отметить, что с помощью мониторинга можно получить подробную информацию о состоянии лесных угодий, а при наличии необходимых знаний о их прошлом можно сформировать представление о характеристиках этих земель и использовать эти данные для прогнозирования их будущего [2].

В области мониторинга окружающей среды, в частности лесов с применением данных дистанционного зондирования, значительный вклад внесли многие учёные. Фундаментальные принципы использования снимков для задач лесного хозяйства были разработаны Е.Л. Криновым, В.Н. Седых, А.И. Сухининым, Г.Н. Коровиным, А.С. Исаевым, И.М. Данилиным и другими исследователями. Так же Е.А. Лупяна, С.А. Барталева, Д.В. Ершова, Е.А. Гаврилюка, А.С. Плотникова, Д.Е. Плотников, А.С. Исаева, В.М. Жирина, В.О. Жарка, М. Нур занимались изучением проведения различных видов мониторинга и разработкой дешифрирования лесов.

Леса играют ключевую роль в формировании биосферы и необходимы для множества экосистем, включая сами леса, а также зоны отдыха. Они имеют разнообразные социальные и экономические функции, сосредотачиваясь на экологии леса. Их значимость в сохранении почвы, воды и регулировании климата, а также в сфере рекреации делает их важнейшей частью экосистемы. Как открытая экосистема, лес всегда может взаимодействовать с окружающей средой и влиять на ее состояние. Поэтому очень важно следить за состоянием леса.

Мониторинг лесов включает в себя следующие направления:

- 1) наблюдение за изменениями в состоянии лесного фонда, обусловленными как природными, так и человеческими факторами;
- 2) сбор, обработка и анализ собранной информации;
- 3) разработка прогнозов для обеспечения охраны и защиты лесов, рационального использования лесных ресурсов и устойчивого развития лесного сектора экономики Республики Узбекистан.

Для оперативного получения информации о состоянии лесов требуется внедрение многоуровневой системы мониторинга, основанной на интеграции наземных и дистанционных наблюдений с применением геоинформационных технологий.

Дистанционные методы обладают несколькими преимуществами по сравнению с наземными геодезическими методами и полевыми обследованиями [3], что делает их незаменимыми для актуализации данных в рамках государственного мониторинга земель. К числу этих преимуществ можно отнести:

- скорость получения метрической и семантической информации;
- объективность и документальность данных, поскольку при аэросъемке фиксируется текущее состояние земель;
- экономическая целесообразность получения информации на обширных территориях;
- возможность регулярного мониторинга (особенно на основе космических снимков) изменений земель, природных и антропогенных объектов [4].

В ходе выполнения работы нами были проанализированы технические и экономические показатели эффективности дистанционных и наземных методов ведения мониторинга земель таблица 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ методов мониторинга земель

Методы	Обзор-	Пространст-	Точность	Производи-	Экономичность
--------	--------	-------------	----------	------------	---------------

мониторинга земель	ность	венное разрешение		тельность	
Наземные	33%	100%	100%	33%	33%
Авиационные	65%	65%	65%	65%	65%
Космические	100%	33%	33%	100%	100%
Комплексная система	100%	100%	100%	100%	65%

Мониторинг лесов с применением спутниковых данных начал развиваться в начале 70-х годов XX века. Исследования, посвященные использованию спутниковых наблюдений в лесном хозяйстве и лесоведении, способствовали разработке различных методов и технологий, а также определению задач и структуры системы мониторинга лесов. [5]. В последние годы методы дистанционного зондирования становятся важной составляющей мониторинга лесного покрова в Узбекистане.

В результате проведения мониторинга земель леса по данным «Земельного фонда Республики Узбекистан» за 2010 – 2024 год были получены следующие данные, представленные в рисунке 1.

Из рисунка 1 видно что за последние 14 лет в Республике происходит увеличение земель покрытых лесом, так в 2010 году площадь занятая лесом составляла 9462,3 мил. га, в 2024 году составляет 11690 мил.га.

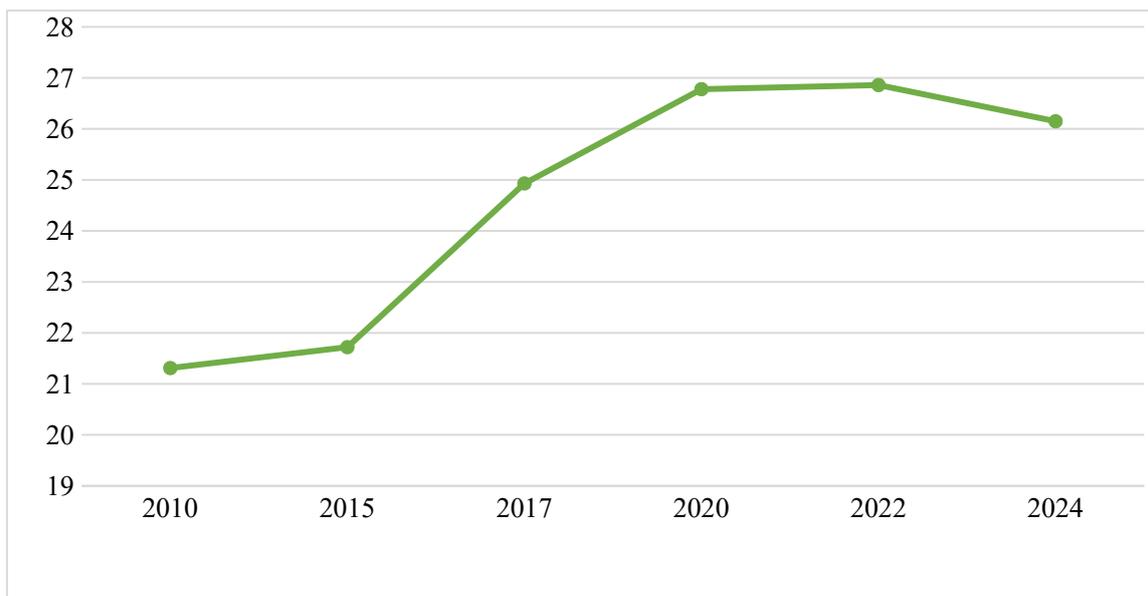


Рис. 1. Динамика изменения площади леса с 2010 по 2024 год в Республике Узбекистан представлены в %

В настоящее время спутниковые данные представляют собой один из наиболее многообещающих способов оперативного получения информации о состоянии различных природных и антропогенных объектов. В связи с этим в последние годы активно развиваются различные системы мониторинга, направленные на решение задач наблюдения за отдельными объектами и явлениями, а также на получение информации о процессах, происходящих на определенных территориях.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и мониторинг состояния окружающей среды с помощью спутниковых данных стали возможными благодаря нескольким десятилетиям технического совершенствования сенсоров и спутниковых платформ [6].

Для определения изменений параметров объектов при мониторинге земель с использованием дистанционных методов применяются снимки, полученные с помощью новой аэро- или космической съемки. Технология заключается в сравнении данных, полученных в разные временные моменты, с целью выявления как краткосрочных, так и многолетних

изменений с использованием визуальных, автоматических или автоматизированных методов.

Материалы спутниковых изображений становятся все более ценными по мере их накопления с течением времени, предоставляя больше данных для будущих исследований. Эти данные незаменимы для мониторинга лесных массивов [7].

В настоящее время мультиспектральные спутниковые изображения являются универсальным, оперативным и общедоступным материалом для осуществления мониторинга окружающей среды.

За последние десять лет в области методов и технологий дистанционного зондирования Земли был достигнут значительный прогресс. В этот период активно начали использоваться новые комплексы для наблюдения за Землёй, которые обеспечивают получение не только качественной, но и точно откалиброванной и пространственно привязанной количественной информации. Появление таких комплексов стало началом новой эры спутникового дистанционного зондирования и открыло возможности для разработки принципиально новых, высоко автоматизированных технологий обработки данных ДЗЗ.

Идея применения данных дистанционного зондирования для наблюдения за растительным покровом начала применяться вскоре после запуска первых спутников.

Спутниковые данные можно классифицировать на данные с высоким пространственным разрешением, которые позволяют получать достаточно детализированные изображения поверхности, но с низкой частотой, и данные с низким и средним пространственным разрешением, обеспечивающие регулярные, чаще всего ежедневные измерения отражательных свойств поверхности, но с меньшей детализацией.

К спутникам с низким пространственным разрешением можно отнести спутники Terra и Aqua (MODIS).

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) установлен на спутниках Terra и Aqua. Этот сенсор является одним из основных компонентов комплексной программы NASA EOS (Система наблюдения за Землей, США). Собранные данные с MODIS включают 36 спектральных диапазонов с пространственным разрешением от 250 метров до 1 километра, а ширина полосы захвата составляет 2300 километров. Информация, получаемая ежедневно с этого сенсора, используется для мониторинга лесов как на глобальном, так и на национальном уровнях. Наличие необходимых спектральных каналов, глобальный охват, ежедневная частота получения данных и большой объем накопленной информации делают прибор MODIS особенно ценным среди устройств с средним и низким пространственным разрешением для задач мониторинга лесов.

К данным среднего пространственного разрешения можно отнести спутники Sentinel, SPOT и Landsat.

В 1998 году была запущена программа GMES (Global Monitoring for Environment and Security) с целью обеспечения комплексного мониторинга окружающей среды. Эта инициатива была реализована под руководством Еврокомиссии в сотрудничестве с Европейским космическим агентством (ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (ЕЕА). Данная программа обеспечит высокоточной, современной доступной информацией для решения задач мониторинг изменения окружающей среды.

В рамках программы GMES под общим руководством ESA разрабатываются пять типов спутников дистанционного зондирования Земли Sentinel, каждый из которых будет выполнять конкретную миссию, связанную с наблюдением за Землей. Группировка спутников **Sentinel** будет обеспечивать как оптикоэлектронные, так и радарные данные. Каждая миссия Sentinel будет состоять из двух спутников, что позволит

улучшить охват территории и ускорить повторные съемки, тем самым повышая надежность и полноту данных для GMES [8].

Группировка радарных спутников Sentinel-1 обладает способностью получать снимки в любых погодных условиях и имеет широкий спектр применения, включая мониторинг ледовых покровов, нефтяных разливов и картографирование лесных массивов. Оптико-электронные спутники серии Sentinel-2 сосредоточены на наблюдении за растительностью, а также за поверхностью суши и водоемов. Спутники Sentinel-3 предназначены для мониторинга морей и океанов, а также для наблюдения за изменениями климата. В будущем спутники Sentinel-4 и Sentinel-5 будут заниматься вопросами мониторинга атмосферы.

Для решения задач мониторинга лесов наибольший интерес представляют спутники серии Sentinel-1 и Sentinel-2.

Группировка Sentinel-1 включает два радарных спутника, находящихся на полярной орбите и оборудованных радаром для съемок в С-диапазоне. Данные можно получать независимо от погодных условий и времени суток каждые 1-3 дня в течение часа после проведения съемки. Первый спутник в рамках этой миссии был запущен в 2013 году, а второй — в 2016 году.

Sentinel-2 регулярно предоставляет космические изображения всей Земли, обеспечивая постоянный поток данных с характеристиками, аналогичными тем, что используются в программах SPOT и Landsat [9].

Первый спутник из серии Sentinel-2 был выведен на орбиту в 2013 году. Он располагается на высоте около 785 км, а наличие двух спутников в рамках миссии обеспечивает возможность повторных съемок каждые 5 дней на экваторе и каждые 2-3 дня в средних широтах. Sentinel-2 оборудован оптико-электронным мультиспектральным сенсором, который позволяет получать изображения с разрешением от 10 до 60 метров.

Съёмки проводятся в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) областях спектра, охватывающих 13 спектральных каналов. Это обеспечивает возможность выявления различий в состоянии растительности, включая временные изменения, а также минимизирует влияние атмосферы на качество съёмки. Уникальность миссии Sentinel-2 заключается в сочетании обширного территориального охвата, частых повторных съёмок и, как следствие, систематическом получении полного мультиспектрального покрытия всей Земли.

На рисунке 2 для сравнения представлены спектральные диапазоны длин волн съёмочной аппаратуры спутников Sentinel-2, Landsat-7 и Landsat-8.

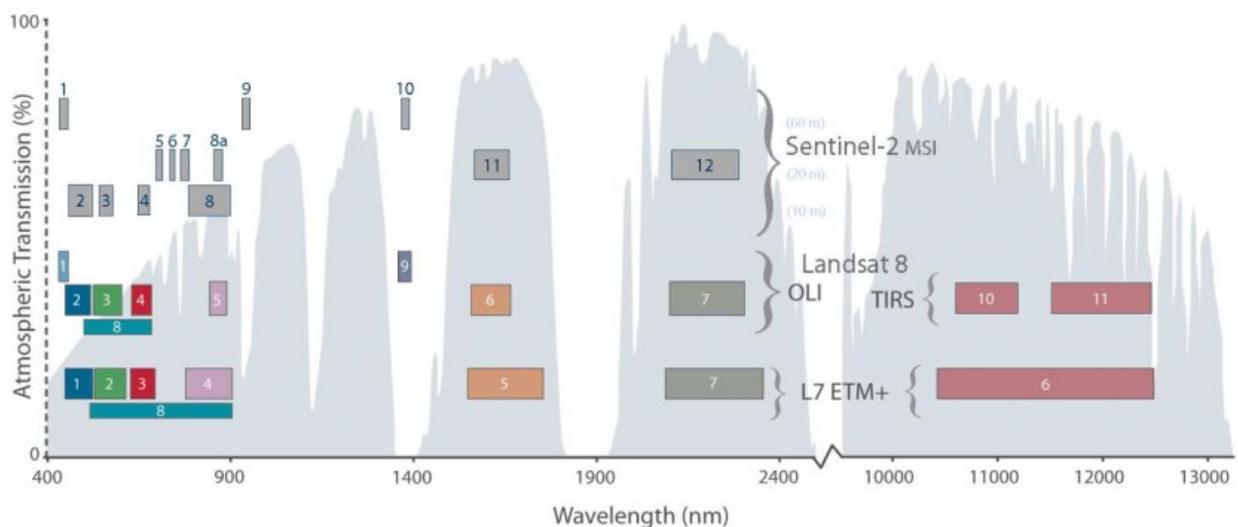


Рис. 2 – Сравнение спектральных характеристик КА Landsat-7 и Landsat-8 с КА Sentinel-2 [130].

Спутники серии **SPOT** (Satellite Pour L'Observation de la Terre) с высококачественными оптическими системами были разработаны Национальным центром космических исследований Франции (CNES) при участии Швеции и Бельгии. Первый спутник SPOT 1 был запущен 22 февраля 1986 года. В настоящее время в рамках этой программы работают

спутники SPOT 6, который был выведен на орбиту 9 сентября 2012 года, и SPOT 7, запущенный 30 июня 2014 года. Пространственное разрешение составляет 8 метров в мультиспектральном диапазоне, а один снимок охватывает участок земли размером примерно 60х60 километров [10]. Проект предоставляет возможности для длительных наблюдений за земной поверхностью, решения картографических задач, экологического мониторинга, контроля растительного покрова и окружающей среды, а также инвентаризации лесных массивов и других мероприятий [11].

Серия **Landsat** стартовала с запуска первого спутника в 1972 году. Спутники этой серии, предоставляют длительные наблюдения за земной поверхностью, и способствовали накоплению большого числа многозональных изображений [12]. Данные, полученные с помощью спутниковой системы Landsat, применяются для решения множества тематических задач, таких как мониторинг лесов и оценка их состояния, картографирование лесных территорий, определение запасов древесины и многое другое. Landsat 2 - функционирует с 2 января 1975 г. по 22 января 1981 г., Landsat 3 – с 5 марта 1978 г. по 7 сентября 1983 г. Первые три спутника были оборудованы четырёхканальным мультиспектральным сканером MSS (Multispectral Scanner), обеспечивающим пространственное разрешение в 60 метров. Landsat 4- с 16 июля 1982 г. по 15 июля 2001 г. он оснащён сканером ТМ (Thematic Mapper) который включает семь спектральных диапазонов. Пространственное разрешение составляет 30 метров для всех диапазонов, кроме теплового диапазона 6, где разрешение составляет 120 метров. Landsat 5, был запущен 1 марта 1984 г. и в 2013 окончательно отключён. В октябре 1993 г. не удалось запустить спутника Landsat 6 [13].

Спутник Landsat 7 находится на орбите с 15 апреля 1999 года. На борту установлен сканирующий радиометр Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), который включает восемь спектральных каналов с

пространственным разрешением 30 м и 15 м в панхроматическом канале. Это делает его более эффективным для задач мониторинга лесов [14].

Спутник Landsat 8 был запущен 11 февраля 2013 года и оборудован двумя типами сенсоров: оптико-электронным Operational Land Imager (OLI) и тепловым Thermal Infrared Sensor (TIRS). Первый сенсор фиксирует изображения в 9 диапазонах видимого спектра и ближней инфракрасной области, в то время как второй работает в 2 диапазонах дальнего (теплого) инфракрасного излучения. Съёмка осуществляется в 11 спектральных зонах с пространственным разрешением 15, 30 и 100 метров.

С 2008 года все исходные данные, в том числе архивные данные спутников Landsat (сенсоры MSS, TM), доступны бесплатно, в частности на сайте Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS).

Разные комбинации каналов Landsat применяются для решения различных тематических задач, таких как классификация и анализ состояния растительности, выявление изменений в лесных массивах, картографирование почв, а также изучение динамики пожаров и постпожарного анализа территорий.

Способность идентифицировать различные объекты и определять их характеристики с использованием дистанционных методов объясняется тем, что поглощение, рассеивание, отражение и излучение электромагнитной энергии в различных спектральных диапазонах являются уникальными для каждого объекта на поверхности Земли. Анализ спектральных характеристик объектов позволяет различать их по их спектральным свойствам. Алгоритм применения данных дистанционного зондирования основывается на экспериментально установленной зависимости между функцией спектрального отражения

или собственного излучения и характеристиками лесов, полученной на основе тестовых участков [15].

Для повышения точности распознавания различных типов лесной и нелесной растительности целесообразно применять спутниковые изображения, полученные в разные вегетационные сезоны. Совместное дешифрирование разновременных космических изображений позволяет повысить достоверность классификации.

Вывод. В настоящее время современные технологии дистанционного зондирования дают возможность проводить мониторинг различных природных объектов, включая лесные ресурсы.

Технологии дистанционного зондирования позволяют регулярно отслеживать состояние лесных массивов. Это включает в себя анализ структуры лесных насаждений, выявление значительных изменений в лесах, вызванных различными природными и человеческими факторами, а также оценку состояния лесной растительности. Применение космических снимков способствует уменьшению времени, требуемого для выполнения наземных экспериментальных работ, и позволяет быстро проводить масштабное картографирование. Эти изображения имеют важное значение для мониторинга и демонстрируют высокую эффективность в изучении лесных экосистем, что подтверждается многочисленными исследованиями.

В последнее время возникла необходимость в расширении направлений исследований в области спутникового мониторинга лесов, что способствовало разработке и совершенствованию методов анализа динамики лесных экосистем. Ключевой задачей является разработка эффективных методов для оценки состава лесов, их инвентаризации и мониторинга качественных и количественных характеристик с применением спутниковых изображений, что дает возможность получать необходимую информацию на обширных территориях.

Проведенный анализ исследований использования данных дистанционного зондирования для мониторинга природных и антропогенных объектов демонстрирует, что для их эффективного применения требуется оптимизация ряда условий: отбор наиболее информативных спектральных каналов космических снимков; анализ их пространственного и временного разрешения; снижение воздействия внешних факторов; выбор инструментов, способствующих повышению точности распознавания.

В данной работе подробно описаны характеристики различных космических спутников, применяемых для мониторинга объектов недвижимости, включая лесные массивы. Изучение проведенных исследований, касающихся использования космических снимков, полученных в разные временные и сезонные периоды, а также в различных спектральных диапазонах, дает основание утверждать, что для повышения точности распознавания лесных угодий и древесных пород необходимо продолжать аналогичные теоретические и экспериментальные работы. Обоснование целесообразности использования вегетационных индексов и индексных изображений для мониторинга лесов предполагает оптимизацию методов получения данных о качественных и пространственных характеристиках различных древесных пород. Эта тема исследований является основной целью диссертационной работы.

Использованные источники:

1. Земельный кодекс республики Узбекистан Утвержден Законом РУ N 598-I от 30.04.98 г. Введен Постановлением Олий Мажлис N 599-I от 30.04.98 г.
2. Лебедева Т.А., Комплексный мониторинг и эколого-экономическая оценка лесных земель на территориях интенсивного недропользования//

Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. №5. С. 500-504

3. Lu D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation // International journal of remote sensing. 2006. Vol. 27. № 7. P. 1297-1328

4. Лимонов А.Н. Разработка теоретических и методологических положений применения дистанционных методов для информационного обеспечения мониторинга земель// ФГБОУ ВПО Государственный университет по землеустройству, кафедра аэрофотогеодезии. - Москва: ГУЗ, 2014. 279 с.

5. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А., Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса № 6, 2017, с.176-193.

6. Маркс А. Мониторинг лесов с помощью группировки спутников RapidEye/ А. Маркс// Геоматика. 2011. №3. С. 58-66.

7. Письман Т. И., Оценка состояния лесной растительности Красноярского края (заповедник «Столбы») по спутниковым данным/ Т. И. Письман, И. Ю. Ботвич, А. П. Шевырногов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. №5. С. 130-140

8. Copernicus Satellites – EUMETSAT [Electronic resource] / Mode of access: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/CopernicusSatellites/Sentinel4/index.html>

9. ESA Sentinel-2 [Электронный ресурс] /Mode of access: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (дата обращения: 20.10.2024)

10. CNES. Centre National d'Etudes Spatiales [Electronic resource] Mode of access :<https://spot.cnes.fr/en/SPOT/index.htm> (дата обращения: 15.10.2024)

11. Болсуновский М.А., Развитие систем ДЗЗ и информационно аналитического обеспечения данными космической съемки: ближайшие перспективы/ М.А. Болсуновский, Б.А. Дворкин // геоматика. 2010. №4. С. 11-16.
12. USGS. Landsat Missions [Electronic resource]. – Mode of access: <https://landsat.usgs.gov>.) (дата обращения: 5.11.2024)
13. Chander G., Markham B., Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges // IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol 41, number 11, November 2003, pp. 2674-2677
14. landsat-7., Mode of access: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/1/>
15. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы// Пер. с англ. А.В. Кирюшина. – Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.