



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Мониторинг береговых линий по данным дистанционного зондирования»

Исполнитель **Беденко Алина Валерьевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Симакина Татьяна Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«29» мая 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	8
1.1 Определение понятия береговой линии.....	8
1.2 Факторы, влияющие на изменение береговой линии.....	9
1.3 Методы дистанционного зондирования.....	10
1.4 Материалы, используемые для дистанционного зондирования	12
1.5. Физическая основа применения материалов космической съёмки для определения положения береговой линии.....	16
ГЛАВА 2. ИНСТРУМЕНТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ.....	21
2.1. Спутник LANDSAT-7.....	21
2.2. Области применения спутника LANDSAT-7.....	23
ГЛАВА 3. СЕРВИСЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАБОТЫ СО СНИМКАМИ СПУТНИКА.....	24
3.1. Архивный онлайн сервис LAADS DAAC.....	24
3.2. Программное обеспечение для обработки спутниковых снимков.....	27
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ СПУТНИКА.....	32
4.1 Исходные данные для исследования береговой линии	32
4.2. Анализ полученных результатов.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	46
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Проведение мониторинга водных объектов - это целая система текущего и непрерывного наблюдения с последующим комплексным анализом состояния водных ресурсов. Сюда входит учет и контроль целого ряда качественных и количественных характеристик с учетом временных изменений, а также способы развития и сохранения водоемов в разных режимах применения.

Основная задача данных исследований состоит в своевременном выявлении и прогнозировании процессов, которые имеют отрицательное влияние на качественные показатели состояния воды и водных объектов в целом, с последующей выработкой мер по недопущению ухудшения состояния водоемов.

Проведение данных мероприятий предполагает использование информационного обеспечения управления в сфере практического применения и охраны водных ресурсов, надзора и контроля за их применением.

Чтобы определить динамику изменения состояния водной среды, измерения необходимо проводить через определённые промежутки времени, при этом, по особо важным показателям нужны непрерывные исследования.

Для определения антропогенных воздействий на окружающую среду необходимо иметь представление о первоначальном состоянии экосистем, поэтому информация об изменениях в фоновом состоянии водной среды и наблюдения на местах, удалённых от источников внешнего воздействия, очень важна.

Мониторинг водных объектов осуществляется наземными наблюдениями и из космоса.

Наземные наблюдения по глобальному наблюдению за водными объектами осуществляются в больших биосферных заповедниках. Считается, что существующая сеть станций охватывает каждый из биомов на Земле. По

имеющимся данным, общее количество станций составляет 20 – 40 штук. Наблюдения на подобных станциях глобального фонового мониторинга предполагают комплексный подход, который осуществляется по единой программе, и включает изучение поверхностных и подземных вод, донных отложений и взвесей.

Важным методом контроля за экологическим состоянием водоемов является спутниковый мониторинг прибрежных районов океана и внутренних морей, который основан на приеме и обработке цифровых данных, полученных с различных радиометров, сканеров, спектрометров, радаров, установленных на зарубежных и российских спутниках, позволяющих получать разноплановую информацию, в том числе: о поле температуры поверхности моря (ТПМ), концентрации взвеси и хлорофилла, других визуальных характеристиках поверхности воды и суши, включая нефтяные загрязнения, ледовое покрытие, а также об аномалиях уровня моря, перемены течений, изменения скорости ветра и высоты волн. Все это возможно выполнять с высоким пространственным и временным разрешением, которое невозможно при наземных наблюдениях.

Прогрессивное развитие космических исследовательских технологий, к которым относится технология дистанционного зондирования, позволяет проведение таких исследований океанических объектов, как наличие различных типов макромасштабных и микромасштабных вихрей и струй, не только переносящих загрязнения, но и запускающих весьма эффективный процесс «самоочищения» прибрежных вод от различных загрязнений, а также наблюдение за механизмами перемещения водных массивов, нитратов и планктона из прибрежных зон в сторону открытого океана или моря, которые оказывают существенное влияние на биопродуктивность удаленных от берега районов.

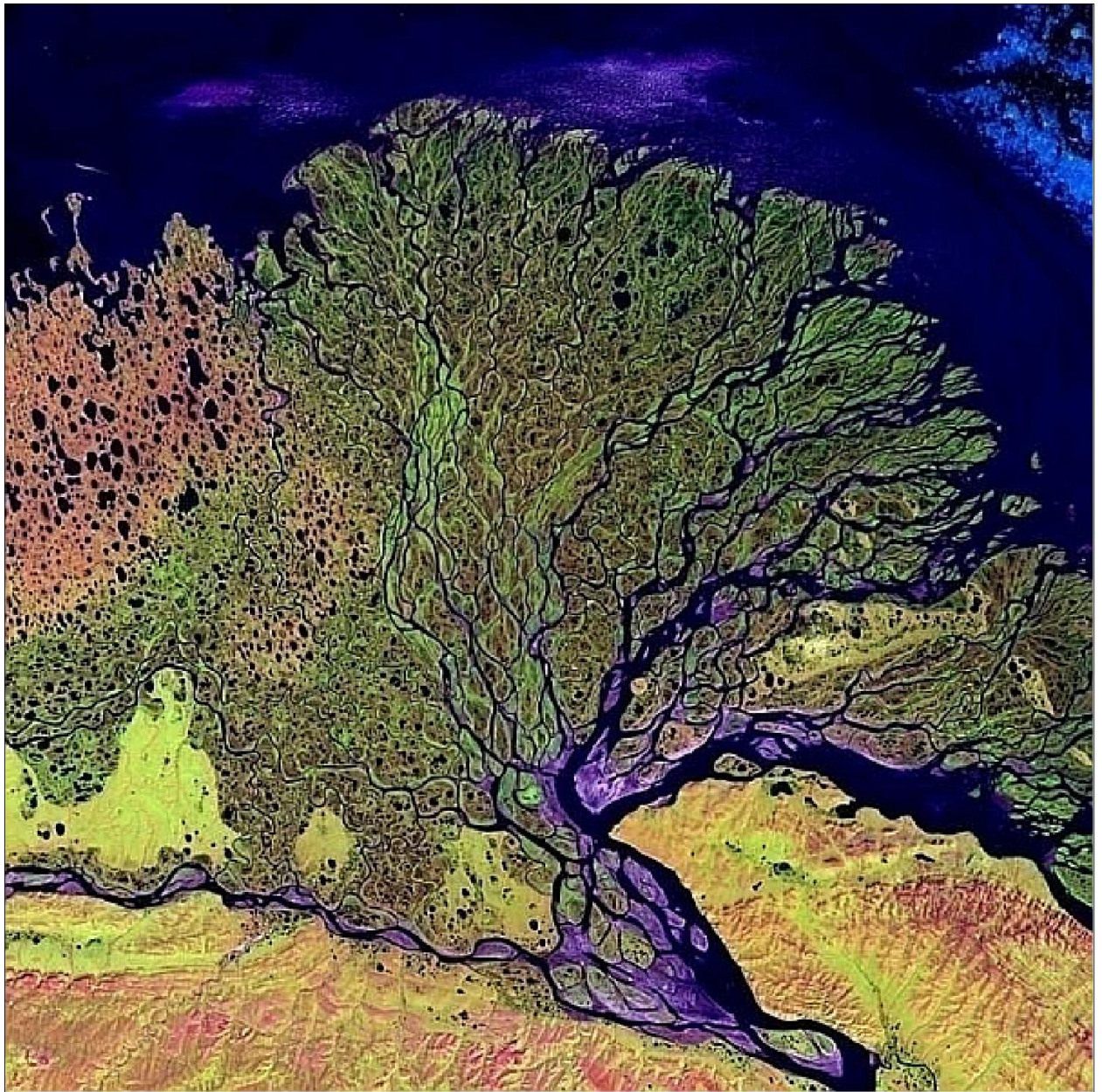


Рисунок 1. Изображение дельты реки Лена на севере России со спутника Landsat-7, сделанное 7 июля 2000 г.
(предоставлено Геологической службой США)

Актуальность исследования береговых линий обусловлена тем, что береговая зона водных объектов — это активно изменяющиеся природные образования, на которое влияют различные факторы, в том числе: климатические, техногенные, гидродинамические условия моря и др.

В условиях глобального потепления и в связи с изменением уровня Мирового океана и климата проблема изучения динамики изменений береговых границ водоемов в России и в других странах становится все более актуальной.

Наблюдения, проводимые в последние десятилетия, выявили значительные разрушения береговых линий водоемов, которые связаны, в том числе, с активностью природных процессов. Данная тенденция существенно усложняет процесс проведения природоохранных мероприятий.

С целью сохранения и защиты водных территорий исследование изменений береговой зоны позволяет своевременно планировать и проводить мероприятия по контролю за происходящими береговыми процессами.

Используемые традиционно методы топографической съемки не могут достаточно оперативно отображать полную информацию об изменениях, проходящих в береговой зоне, поэтому наиболее информативными считаются современные дистанционные методы.

В современных условиях снимки из космоса используются как основной метод в дистанционных исследованиях береговых линий. Это связано с тем, что применение современных спутниковых снимков с высоким разрешением обеспечивает значительно больший охват по площади территорий в сравнении с используемой ранее аэрофотосъемкой. При этом, учитывая прогресс в развитии информационно-космических технологий, можно сказать о существенном улучшении пространственного разрешения снимков из космоса, что позволяет более детально исследовать процессы изменений береговых зон. Однако следует отметить, что на сегодняшний день сформирован небольшой архив снимков с высоким разрешением, при этом, для полномасштабных исследований временной период их относительно небольшой, что существенно снижает возможность их использования в целях исследования многолетней динамики изменения береговых границ.

Однако, одним из наиболее полных и продолжительным по времени исследований отрезку времени (почти 40 лет) архивом спутниковых снимков, являются снимки, полученные со спутников LANDSAT, что позволяет при проведении дистанционных исследований преимущественно использовать их.

При этом, проводимые дистанционные исследования береговых зон, как правило, исследуют качественные изменения состояний, а вот количественных оценок недостаточно для определения динамики процессов.

Данная проблема определяет актуальность моей дипломной работы, нацеленной на получение количественных оценок динамики изменений береговой линии (площади, скорости абразии/аккумуляции берегов) и выработку методов изучения на основе материалов, полученных с использованием технологии дистанционного зондирования.

На основе поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Формирование индексных изображений и их анализ.
2. Анализ сегментации водоемов на индексных изображениях.
3. Сравнение водных границ по полученным результатам.

ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

1.1. Определение понятия береговой линии

Вода – один из самых ценных ресурсов Земли. В течение долгих лет люди выбирали места для жизни в районах с большими запасами водных ресурсов. В наше время, около 65% человечества живет в пределах нескольких километров от ближайшего водного источника [1]. Поверхностные воды, такие как реки, озера и моря, не только могут обеспечить людей водой для жизни, но также содержат большое количество полезных ископаемых. Водоемы также являются крайне необходимыми транспортными маршрутами, туристическими и курортными объектами. Таким образом, мониторинг водных объектов и защита прибрежных зон является приоритетом во многих странах современного мира.

С учетом границ водоохранных территорий устанавливаются прибрежные защитные полосы, на которых вводятся дополнительные ограничения деятельности, в том числе сельскохозяйственной. Ширина водоохранной территории водных объектов и ширина их прибрежной защитной полосы устанавливается от соответствующей береговой линии.

Чтобы определить водоохранную и прибрежную защитные зоны обозначается береговая полоса, которая является полосой земли вдоль береговой линии водного объекта, предназначенной для общего пользования.

Определение береговой полосы отражено на Рисунке 2.

На изображении видно, что расположение береговой линии играет важную юридическую роль, поскольку оно является основной линией для обозначения водоохранной территории, прибрежной защитной полосы и береговой полосы. Поэтому крайне важно точное определение положение береговых линий.

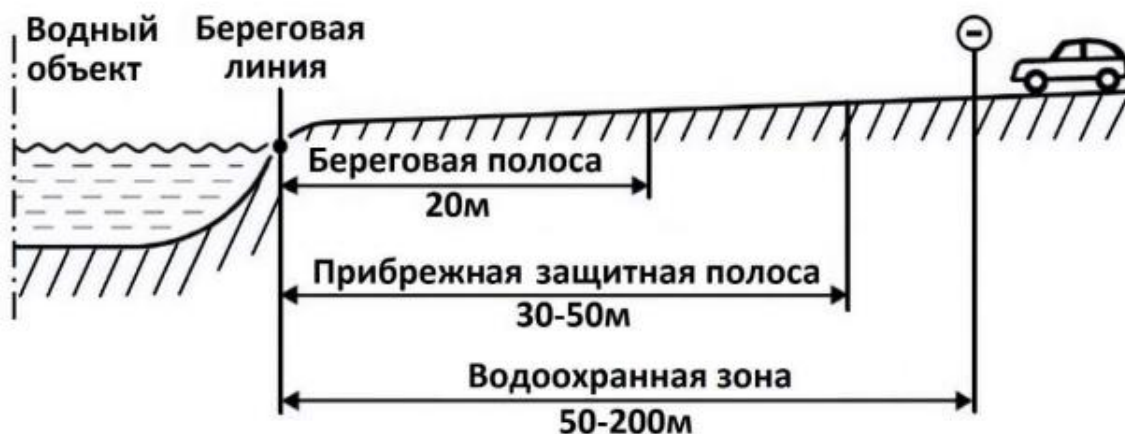


Рисунок 2. Положение о зонах для охраны водных объектов

Месторасположение береговой линии и изменение положения этой границы имеют большое значение для ученых, инженеров, занимающихся прибрежными районами.

Поверхностные воды достаточно изменчивы, что связано с различными тенденциями по всему миру, отражающие некоторые факторы: прямые и косвенные антропогенные и природные.

1.2. Факторы, влияющие на изменение береговой линии

Некоторые естественные причины изменения береговой линии:

- волны;
- ветер;
- опасные погодные явления, в т.ч. штормы;
- перемещение наносов из одного региона в другой;
- прибрежная эрозия из-за дождя.

Антропогенная деятельность, вызывающая изменения береговой линии:

- строительство плотин гидроэлектростанции, уменьшающее количество наносов, сбрасываемых в море;
- строительство на прибрежных территориях;
- добыча природных ресурсов на побережье и под водой.

1.3. Методы дистанционного зондирования

Методы дистанционного зондирования основываются на регистрации в аналоговых и цифровых формах отраженного или собственного электромагнитного излучения участков Земли в широком спектральном диапазоне. Благодаря активно развивающемуся космическому зондированию в течение последних десятилетий появились возможности для новых исследований земной поверхности. Значительно увеличился объем, разнообразие и качество материалов дистанционного зондирования. В настоящее время имеется большой актив спутниковых снимков, полностью захватывающих земную поверхность, а для большей части районов с многократным перекрытием.

Используя дистанционные методы наблюдения Земли из космоса, исследователь имеет возможность на дальнем расстоянии получать информацию об изучаемом объекте. Данные методы, к сожалению, являются исключительно косвенными, то есть измеряются не конкретно интересующие параметры объектов, а только некоторые связанные с ними величины. Аппаратура спутников фиксирует лишь интенсивность световых потоков от объектов в некоторых участках оптического диапазона. Перед запуском имеется необходимость калибровать спутниковую аппаратуру, как и в космосе, сравнивая спутниковые данные с наземными [2].

Качество и область применения способов дистанционного зондирования зависит от таких характеристик, как:

- пространственное разрешение;
- спектральное разрешение;
- радиометрическое разрешение;
- временное разрешение.

Некоторая часть данных дистанционного зондирования из космоса доставляется в цифровом виде, такой формат позволяет использование для обработки современные компьютерные технологии. Снимки на фотоносителях могут быть преобразованы в цифровую растровую форму представления с помощью специализированных сканирующих устройств. Цифровое изображение в форме раstra – это матрица чисел. Каждый элемент такой матрицы – пиксель, который может отвечать какой-либо определенной характеристике: отражательной способности, температуре и т.п. участка местности в конкретной зоне электромагнитного спектра. При этом, от разрешения снимка зависит размер участка наблюдения.

Данные многозональной съемки в цифровом виде – это многомерная матрица, в которой каждому участку поверхности присвоен определенный набор значений, называемый вектором характеристик. Основные методы тематической обработки дистанционного зондирования, специфичные для многозональной съемки, основываются на действиях с многомерными матрицами. Сервисы для обработки дистанционного зондирования фактически появились благодаря качественному развитию программных продуктов, необходимых для цифровой обработки снимков общего назначения.

В большинстве случаев для мониторинга динамики термоабразионных берегов используются изображения с пространственным разрешением не более 15-30 м, потому что на менее детальных снимках отступление берегового уступа

заметно не будет. От доступности данных и анализируемого периода зависит временное разрешение. Поэтому спутниковые изображения необходимо использовать для более длинных временных промежутков, чем инструментальные измерения. К примеру, отступление берегов за 1-3 года будет заметно только на спутниковых снимках очень высокого разрешения, а вот для более длительных периодов, более 10 лет, единственным источником информации о динамике берегов часто является именно дистанционное зондирование.

1.4. Материалы, используемые для дистанционного зондирования

При исследованиях динамики берегов наиболее важны архивные данные за XX век, позволяющие оценивать отступление термоабразионных отступов за долгий период времени.

Среди фондовых материалов космической съемки большую ценность представляют данные, полученные съемочной системой CORONA за период 1961 – 1970 гг.

Данные дистанционного зондирования CORONA – это источник исторической спутниковой информации среднего и высокого разрешения, находящиеся в открытом доступе и в свое время рассекреченные Министерством Обороны США. Оригиналы материалов хранятся в Службе архивов и записей США (National Archives and Records Administration (NARA)), копии плёнок хранятся в USGS EROS Data Center, который и занимается сканированием и продажей данных. Снимок продается только один раз, после чего становится доступным для всеобщего пользования.

Данные этого типа собирались по всему миру в рамках военных разведывательных миссий CORONA, ARGON, LANYARD, осуществляемых спутниками KH-1, KH-2, KH-3, KH-4, KH-4a, KH-4b (CORONA), KH-5 (ARGON), KH-6 (LANYARD), KH-7, KH-9.

Примерно около 890 тысяч изображений поверхности Земли было получено в рамках программы. Эти данные были рассекречены и стали общедоступными двумя частями в 1996 году (DECLASS 1: КН-1,2,3,4,4a,4b,5,6) и 2002 году (DECLASS 2: КН-7,9).

Их основные преимущества в том, что снимки общедоступные и являются данными с высоким разрешением равному 4 – 7м. При этом была отснята практически вся поверхность Земли. Материалы CORONA позволяют оценить не только общую динамику береговой зоны в период с 1962 г. по настоящее время, но и особенности динамики берегов в 60-х гг. прошлого столетия.

Еще одним источником спутниковых снимков прошлого века является широко известная американская программа LANDSAT. С 1972 года в рамках этой программы было запущено шесть спутников. Спутники LANDSAT 3 - 5 были оборудованы двумя типами сканеров, которые могли обеспечить съемку поверхности Земли с различным пространственным и спектральным разрешением - MSS (Multispectral Scanner) и TM (Thematic Mapper). Данные сканера MSS, пространственное разрешение которого составляет 80 м, доступны с 1972 года. При этом, такое низкое пространственное разрешение не может позволить работать с отступанием термоабразионных берегов. Данные сканера TM, пространственное разрешение которого равно 30 м в видимых, ближней и средних инфракрасных зонах, 120 м в тепловом диапазоне доступны с 1982 года. Они могут использоваться только для некоторых участков, где отступление довольно интенсивное, однако, по-прежнему, недостаточны для детальных подробных исследований.

Спутник LANDSAT-7 был запущен на орбиту 15 апреля 1999 года. Установленный на спутнике Радиометр ETM+, является улучшенным вариантом сканеров TM. Главное существенное отличие прибора - это наличие канала высокого разрешения, которое составило 15 м. Данное разрешение позволило делать дополнительные выводы о динамике берегов.

Максимальное 15-метровое пространственное разрешение имеют и снимки ASTER. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) - это многозональный сканер высокого разрешения, используемый на борту спутника TERRA, запущенного в декабре 1999 г. Сканер имеет три канала в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах с разрешением равным 15 м, 6 каналов в среднем инфракрасном диапазоне с разрешением 30 м и 5 каналов в тепловом диапазоне с разрешением 90 м.

Снимки доступны для некоторой части арктических побережий России, однако существенным недостатком данных снимков является относительно низкое пространственное разрешение. Снимки TERRA, как и снимки LANDSAT, используются исключительно при отсутствии других данных, а благодаря их широкому охвату еще и для общего обзора территории.

Большую часть арктических берегов покрывают качественные снимки высокого разрешения SPOT. Спутниковая система наблюдения за поверхностью Земли SPOT, которая была спроектирована Национальным космическим агентством Франции совместно с Бельгией и Швецией, является одной из самых долго функционирующих и надежных систем в мире. На орбите спутник SPOT 4 находится с 1998 года. Аппаратура этого спутника обеспечивает съемку поверхности Земли с пространственным разрешением равным 10 м в панхроматическом и 20 м в многозональном режимах, в полосе шириной 60 - 120 км.

На большую часть исследуемых участков арктического побережья доступны современные материалы сверхвысокого разрешения со спутников IKONOS.

Первый в истории человечества коммерческий спутник для съемки Земли со сверхвысоким (лучше 1 м) разрешением – IKONOS был успешно запущен 24 сентября 1999 года с космодрома Ванденберг (США, штат Калифорния). Инициатором использования высокодетальных снимков в гражданских целях

выступила компания SPACE IMAGING. Которая с января 2006 г., после слияния с компанией ORBIMAGE, стала называться GEOEYE.

IKONOS продолжает работать, находясь на орбите уже 8-ой год. В настоящее время со спутника получены снимки территории общей площадью более 275 млн. км². Все изображения являются практически безоблачными, облачный покров не превышает 20% от общей площади снимка. IKONOS передает информацию в панхроматическом режиме с разрешением от 0,8 м и в многозональном, не менее 4 зон, аналогичных по спектральным показателям LANDSAT 4-5 TM с разрешением от 3,2 м. Появилась возможность получения продуктов на основе снимков IKONOS в следующих комбинациях зон: черно-белые, «естественные цвета» (красная, зеленая, голубая зоны), «искусственные цвета» (ближняя инфракрасная, красная, зеленая зона) или все четыре зоны.

Еще один производитель снимков сверхвысокого разрешения на арктические территории - компания DIGITALGLOBE.

QUICKBIRD — это коммерческий спутник, который принадлежит данной компании с 2001 года. Он стал коммерческим спутником дистанционного зондирования с самым высоким пространственным разрешением.

Спутник QUICKBIRD был предназначен для получения цифровых изображений поверхности Земли с пространственным разрешением 61 см в панхроматическом режиме и 2,44 м в мультиспектральном режиме. Кроме того, компании DIGITALGLOBE принадлежат спутники WORLDVIEW-1, 2, 3 и 4 со сверхвысоким пространственным разрешением до 31 см. К снимкам сверхвысокого разрешения, которые составляют до 41 см в панхроматическом диапазоне, относятся и снимки GEOEYE.

Спутник ALOS, японского производства, был запущен на орбиту в январе 2006 года. С него доступны данные с 16 мая 2006 года по 22 апреля 2011 года. Спутник был оснащен тремя сенсорами: PRISM, с пространственным

разрешением в 2,5 м, данные наиболее пригодны для изучения отступления термоабразионных берегов, AVNIR-2 и PALSAR с пространственным разрешением в 10 м.

С 2004 года Национальное Космическое Агентство Тайваня (NSPO) инициировало запуск спутника FORMOSAT-2, который ведет съемку двумя съемочными аппаратами: в панхроматическом режиме с разрешением 2 м и многозональном режиме (синий, красный, зеленый и ближний инфракрасный каналы) с разрешением 8 м. Ширина полосы съемки – 24 км. Максимальное отклонение направления съемки от надира составляет $\pm 45^\circ$, что позволило вести оперативную съемку протяженных объектов.

Важной особенностью съемки FORMOSAT-2 стало более раннее, чем у других спутников, снимающих в оптическом диапазоне, прохождение над любой точкой Земли. FORMOSAT-2 пересекает экватор в период с 9:30 до 10:30 утра по местному времени, что, несомненно, повышает вероятность проведения безоблачной съемки.

Также при исследованиях динамики берегов используются топографические карты и ЦМР, однако, зачастую, их точность недостаточна по сравнению со спутниковыми изображениями. Исключение составляют детальные ЦМР, созданные по данным полевых исследований.

1.5. Физическая основа применения материалов спутниковой съёмки для определения положения береговой линии

База дистанционного зондирования определяется как зависимость между параметрами отраженного или собственного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением [3]. Поэтому в исследование окружающей среды с использованием космических методов одним из главных факторов является изучение спектральных отражательных свойств территории.

Все объекты на Земле имеют разную отражательную способность, которую можно представить кривой спектральной отражательной способности r_λ , с изменяющейся длиной волны.

$$r_\lambda = \frac{B_\lambda}{B_0} \quad (1)$$

где: B_λ - интегральная яркость отражающей поверхности узкого диапазона длины волн λ ; B_0 - яркость идеально рассеивающей, полностью отражающей поверхности [4].

Освещенность объекта характеризуют кривые спектрального излучения, а энергия отраженного излучения - яркость. Абсолютно все объекты имеют собственную кривую спектральной отражательной способности. Она определяется как соотношение энергий отраженного и падающего излучения и является функцией длины волны. При использовании данной кривой можно получить общую оценку спектральной отражательной способности объекта в некотором относительно широком диапазоне [5]. Согласно классификации Е.Л.Кринова, «Все природные образования с их спектральными характеристиками отражения разделены на три класса» [6].

Основные спектральные классы природных объектов приведены на Рисунке 3.

Римскими цифрами обозначается класс объектов, арабскими – тип объектов.

Класс I – обнажения, почвы – Для спектральных кривых r_λ этого класса характерным является постепенный подъем в сторону длинных волн, типы поверхностей различаются наклоном кривых r_λ .

Класс II - растительные образования - Для поверхностей этого класса характерен максимум в области 0,55 мкм, минимум в пределах главной полосы поглощения хлорофилла (0,66-0,68 мкм), за которым следует резкий подъем в сторону длинных волн с максимумом примерно для длины волны

$\lambda = 0,8-1,0$ мкм, типы поверхностей этого класса в основном отличаются величиной r_λ для этой области спектра.

Класс III - водные поверхности, водоемы и снеговой покров - объединяет три типа: тип 1 - снег, покрытый ледяной коркой; тип 2 - свежавыпавший снег; тип 3 - водная поверхность под некоторым, достаточно большим углом к нормали, т. е. отражающая голубое небо.

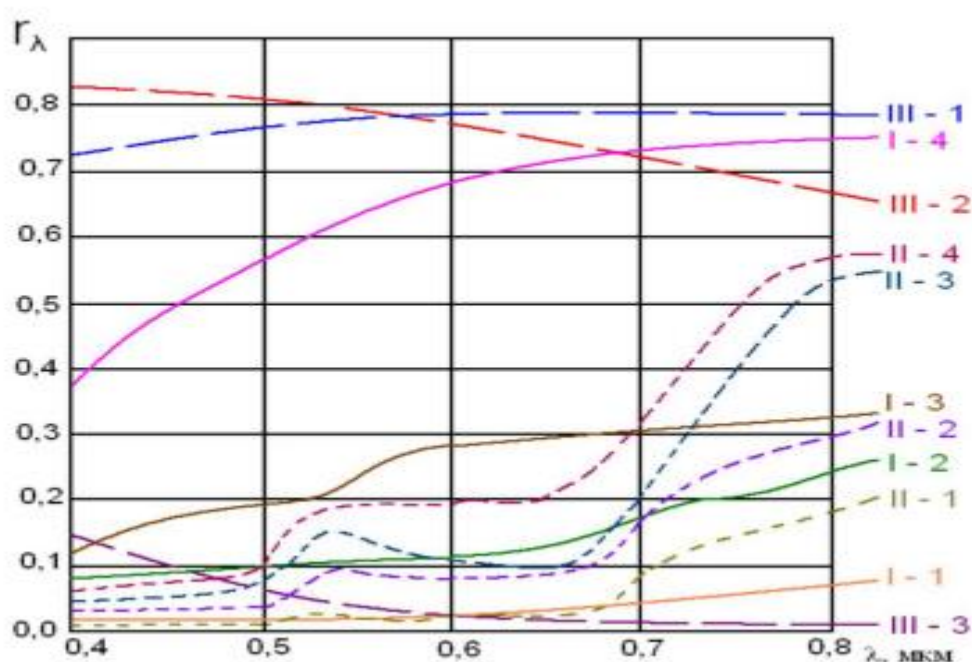


Рисунок 3. Основные спектральные классы природных объектов

При этом, водные объекты имеют иные свойства оптической отражательной способности, отличные от других объектов.

На приведенном Рисунке 3 видно, что водные объекты характеризуются самыми низкими показателями коэффициентов спектральной отражательной способности по сравнению с другими природными объектами. Другие природные объекты, даже находясь в состоянии увлажнения обладают большим коэффициентом отражения.

Системы дистанционного зондирования, используемые в настоящее время, имеют возможность захватывать многоспектральные изображения,

таким образом информация может записываться не только в видимых длинах волн, но и в инфракрасных. Это позволяет изображениям дистанционного зондирования отличать водные объекты от других не водных объектов.

Береговая линия, определение которой дано в Главе 1, определяется при использовании топографических высотных данных. Это существенно осложняет применение данных дистанционного зондирования для определения береговой линии, в связи с тем, что одиночные изображения не содержат информацию о высоте. Вместо этого, для определения береговой линии некоторые исследователи предлагают использовать иные индикаторы, например, как граница водоема с другими объектами, которые возможно определить на снимках со спутников. Индикаторы должны отличаться не только от типа используемых данных, но и от морфологических типов естественных побережий в изучаемых районах. Например, в своем исследовании Пюссан и его коллеги определили береговую линию таким образом: «Для песчаных пляжей и болот, береговая линия является пределом растительности; с пологими холмами, определяется как предгорья; а для вертикального обрыва она является вершиной обрыва» [7].

Кроме этого, можно перечислить некоторые показатели в других исследованиях, таких как:

- Граница растительности, морской край дюнной растительности. Граница растительности является биологическим индикатором пределов регулярного затопления паводком и, следовательно, представляет собой практически идеальный индикатор движения береговой линии [8-10].
- Линия уровня полной воды (High water line - HWL) – определяется как контурная кривая с топографической отметкой, совпадающей со значением последнего уровня полной воды. Следовательно, эта линия соответствует верхнему пределу смачивания береговой полосы [8, 9, 11].

- Граница влажного песка - это линия определяющая границу между влажной и сухой частями береговой зоны, отображенной на снимке [12, 13].

Подводя итог, хочется отметить, что единого и общепринятого способа определения индикаторов береговой линии пока не существует [14-17]. Любой исследователь может предложить использовать наиболее подходящие на его взгляд индикаторы как для исходных данных, так и для области своего исследования.

ГЛАВА 2. ИНСТРУМЕНТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

2.1. Спутник LANDSAT-7

Таблица 1- Общая характеристика спутника LANDSAT-7

Дата запуска	15 апреля 1999 года
Статус	Работоспособен
Датчик	ETM+
Высота	705 км
Наклонение	98,2°
Орбита	Полярная, солнечно-синхронная
Период обращения	99 минут, ~14,5 оборотов в сутки

Программа LANDSAT является наиболее продолжительным проектом по получению снимков Земли со спутников. Установленное на спутниках оборудование серии LANDSAT позволило получить большое количество спектрозональных снимков, востребованных в области картографии, геологии, образовании и национальной безопасности.

Серия американских спутников LANDSAT запускается с 1972 года, но особенным событием стала продажа данных со спутника Landsat-7, запущенного в 1999 году. Так как на LANDSAT-7 был установлен сенсор ETM+ — с улучшенными, по сравнению с LANDSAT-5, характеристиками. Добавился 15-метровый панхроматический канал в то время, как остальные каналы с разрешением 30 м, а разрешение теплового канала улучшилось до 60 м, вместо 120 м прежних.

LANDSAT-7 продолжает цель программы LANDSAT по повторному изображению суши и прибрежных районов Земли с целью мониторинга изменений в районах с течением времени.

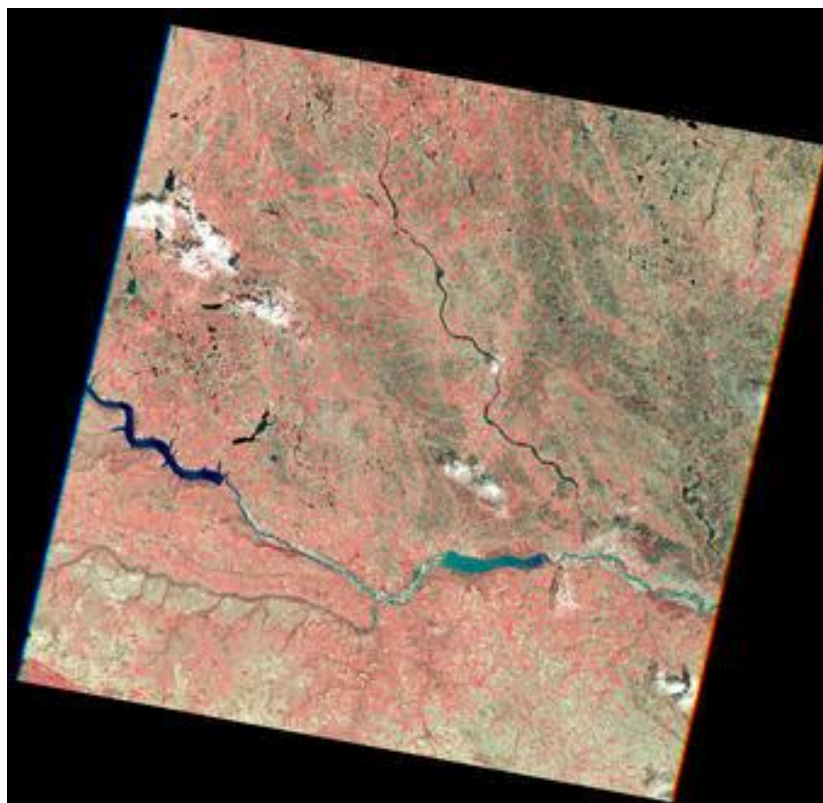


Рисунок 4. Цветное инфракрасное изображение Юго-восточной части Южной Дакоты позиционировалось как первое изображение, полученное датчиком LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) 18 апреля 1999 года.

Космические снимки, получаемые LANDSAT-7, характеризуются широкой полосой захвата, а именно 185 км, и наличием мультиспектральных изображений - 8 спектральных каналов. В настоящее время глобальный архив снимков LANDSAT-7 содержит покрытие практически всей поверхности Земли, а некоторые регионы отсняты многократно [18].

Космические снимки LANDSAT имеют большее количество цветных диапазонов, что позволяет проводить их спектральный анализ для решения большого количества задач. Так, установленная на LANDSAT-7 съемочная аппаратура ETM +, имеет восемь спектральных диапазонов, которые имеют характеристики согласно Таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики спектральных диапазонов (каналов)
LANDSAT-7 ETM+

№ канала	Спектральный диапазон (мкм)	Пространственное разрешение (м)
1	0,45-0,52 (видимый синий)	30
2	0,52-0,60 (видимый зеленый)	30
3	0,63-0,69 (видимый красный)	30
4	0,77-0,90 (ближний ИК)	30
5	1,55-1,75 (коротковолновый ИК)	30
6	10,40-12,50 (тепловой)	60
7	2,09-2,35 (коротковолновый ИК)	30
8	0,52-0,90 (панхроматический)	15

Параметры ETM+:

- Используется сканирование с помощью подвижного зеркала (7 циклов в секунду);
- Полоса захвата: 185 км (угол зрения 15°);
- Телескоп: рефлектор системы Ричи — Кретьена с 2 зеркалами из стекла с низким коэффициентом расширения (ULE, Ultra Low Expansion);
- Апертура телескопа: 40,6 см; фокусное расстояние: 243,8 см; относительное отверстие: f/6.0;
- Размеры сканера: 1,5×0,7×2,5 м; масса: 300 кг;
- Панхроматическая камера с разрешением 15 метров на точку (1 канал);
- Полноапертурная, 5-процентная абсолютная радиометрическая калибровка;
- Инфракрасная камера с разрешением 30 метров (6 каналов);

- Температурный сенсор (дальний ИК-диапазон) с разрешением 60 метров.

Масса космического аппарата = 2200 кг, размеры: 4,3 м в длину и 2,8 м в диаметре, мощность = 1550 Вт, в среднем около 1000 Вт обеспечивается солнечной батареей на кремниевых элементах и двумя никель-водородными батареями емкостью. Расчетный срок службы спутника = 7 лет.

31 мая 2003 г. на борту спутника Landsat-7 произошел сбой в работе. Он был вызван отказом Scan Line Corrector (SLC). Неисправность была необратимой, но, тем не менее, Landsat 7 ETM+ продолжал производить съемку в режиме "SLC - off". Для решения этой проблемы и обеспечения потребителей материалами новой съемки был разработан новый продукт "SLC-off". Этот продукт создается методом замены всех отсутствующих пикселей изображения от ранее полученных изображений спутника Landsat-7 на примерные величины, выведенные совместно зарегистрированными, совместимыми с гистограммой кадрами SLC – on [19].

2.2. Области применения спутника LANDSAT-7

Мультиспектральные снимки со спутника Landsat-7 своими хорошими изобразительными свойствами обеспечивают высококачественное обновление топографических карт по таким категориям как: гидрография, дорожная сеть, эрозионная и овражно-балочная сеть, контуры и типы болот, контуры и типы лесных массивов, лесополосы, сельскохозяйственные угодья. Полученные результаты дешифрирования материалов мультиспектральной съемки могут быть представлены также в виде тематических карт (растительности, аварийноопасности, нарушенности территории, почвенного покрова и т.п.) в масштабах 1:100 000, 1:200 000 и 1:500 000, а также в виде слоев геоинформационных систем разного назначения.

ГЛАВА 3. СЕРВИСЫ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАБОТЫ СО СНИМКАМИ СПУТНИКА

3.1. Архивный онлайн сервис LAADS DAAC

Большая часть спутниковой информации хранится на специализированных серверах. Для того, чтобы снимки были выгружены в архив, они подвергаются архивации, а далее отправляются на сервер с названием спутника и датой съемки. Так как спутниковые снимки являются общедоступными данными, то получить их на специализированном сайте не является сложностью.

Снимки со спутника можно найти на сайте LAADS DAAC, управляемой проектом Earth Science Data and Information System (ESDIS). Данные предоставляются в формате HDF, Hierarchical Data Format, разработанного для хранения большого объема цифровой информации.

После регистрации на сайте, необходимо во вкладке PRODUCTS выбрать нужный датчик.

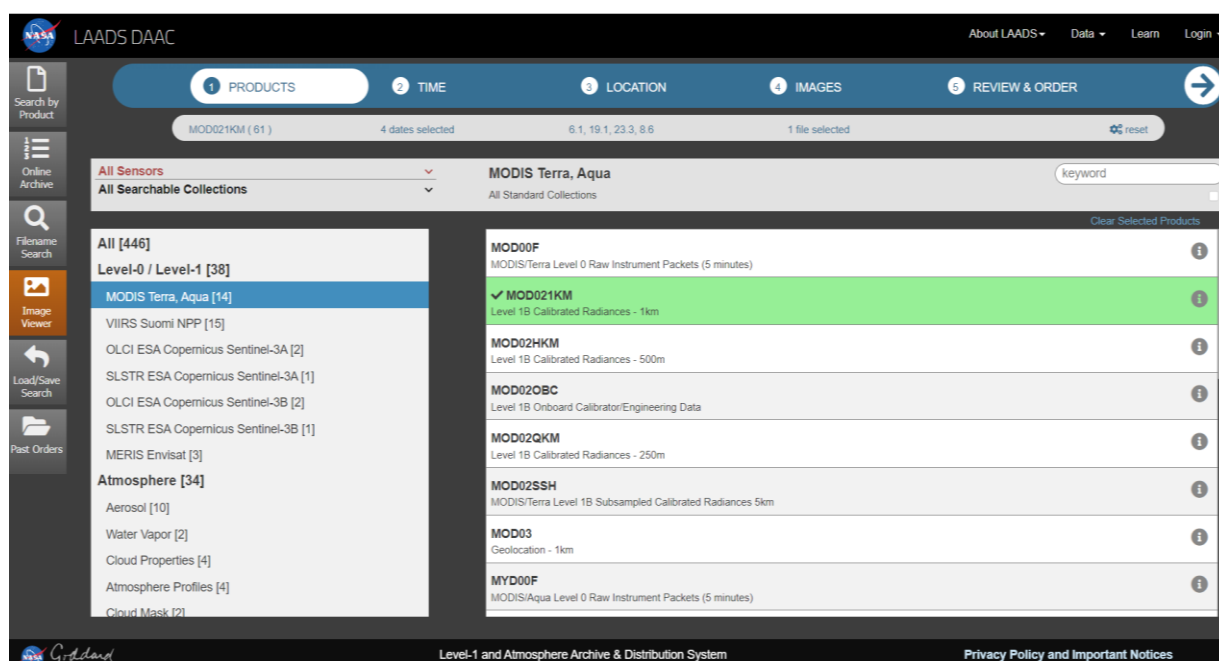


Рисунок 5. Интерфейс сервиса. Раздел PRODUCTS

После того, как был выбран нужный датчик, необходимо перейти во вкладку TIME, где задается период или день, за который необходимо получить снимки со спутника.

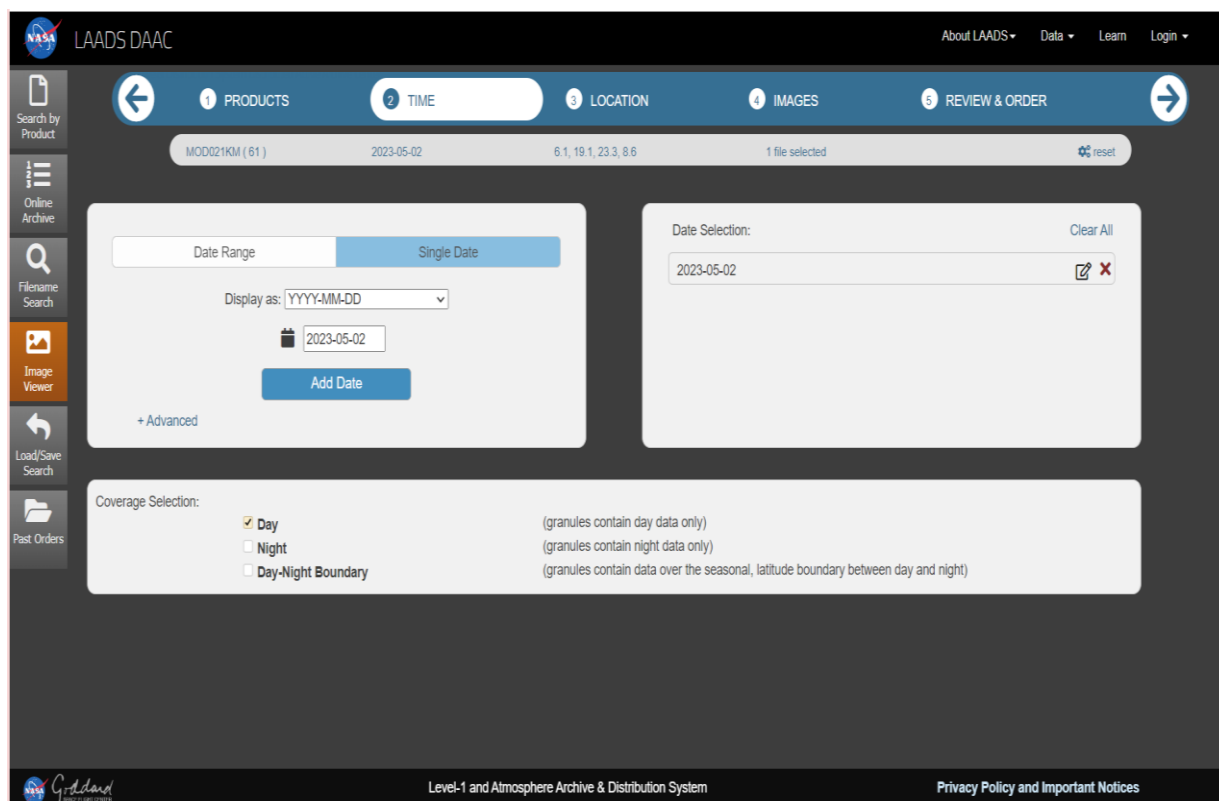


Рисунок 6. Раздел TIME

Следующий шаг выбор локации во вкладке LOCATION. Выборка может происходить несколькими способами:

- 1) World-позволит увидеть все снимки земного шара
- 2) Countries-позволяет выбрать определенную страну
- 3) Tiles-позволяет выбрать сектор
- 4) Validation sites
- 5) Draw custom box (classic)-позволяет вручную выбрать область
- 6) Enter coordinates-ввод координат объекта

Для исследования был выбран способ Draw custom box.

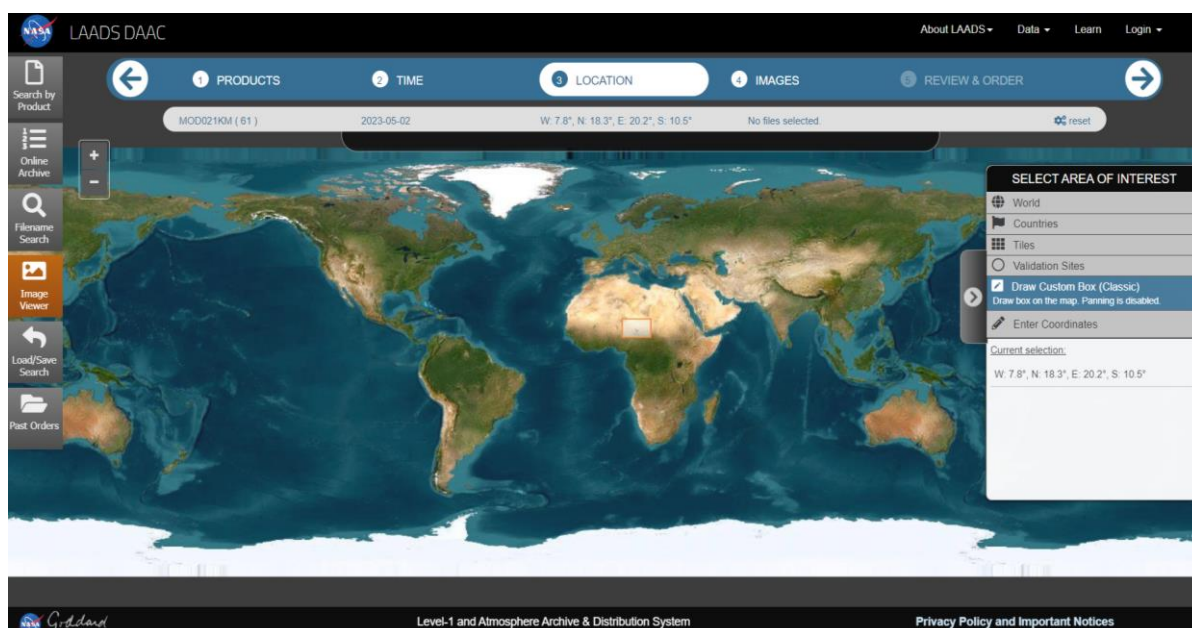


Рисунок 7. Раздел LOCATION

После выбора области необходимо перейти на вкладку IMAGES, где может быть доступен предпросмотр изображения, но данная функция работает не всегда. В таблице предоставлены доступные снимки за выбранную дату в области исследования. Зеленым выделяется снимок, который выводится для предпросмотра. Далее в квадратике слева от названия файла ставится галочка, что позволяет выбрать нужный файл для скачивания.

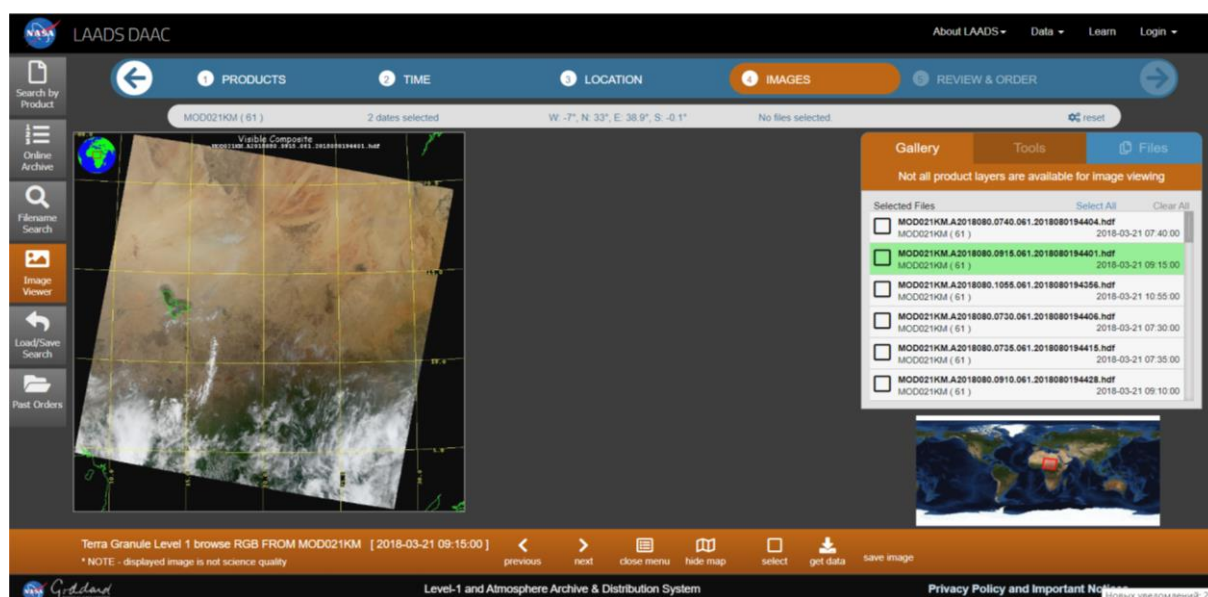


Рисунок 8. Вкладка IMAGES, предпросмотр снимков

После перехода на вкладку FILES, выбранный ранее файл помечается синим, в данной вкладке в столбце DOWNLOAD доступно скачивание файла.

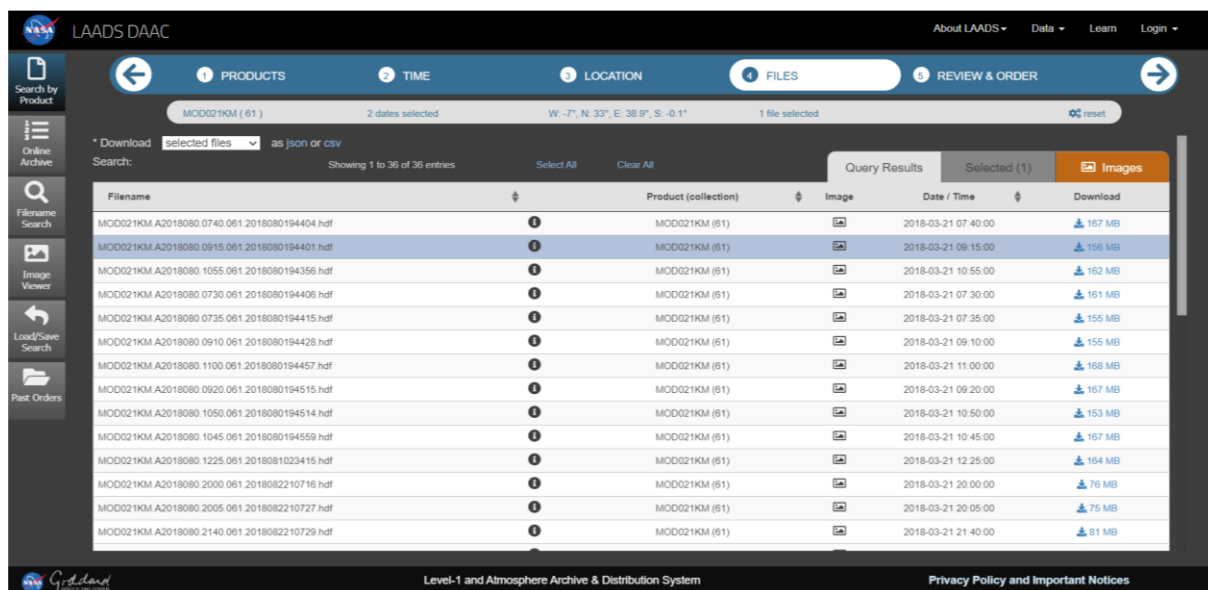


Рисунок 9. Просмотр файлов и скачивание

3.2. Программное обеспечение для обработки спутниковых снимков

Область дистанционного зондирования Земли активно развивается, количество космических спутников увеличивается, улучшается съемочная аппаратура, появляются снимки из космоса высокого разрешения. В настоящее время компьютерная обработка снимков, представленных в цифровом виде, является основой использования данных дистанционного зондирования Земли, открывает новые возможности для дешифрирования и тематического анализа.

Программное обеспечение для обработки спутниковых снимков:

1. SNAP
2. QGIS
3. IDRISI KILIMANJARO

SNAP - это инструмент анализа наблюдений Земли из космоса в открытом доступе, популярность которого продолжала расти в течение семи лет с момента его запуска. Это отражает усилия European Space Agency (ESA) по ускорению предоставления доступной информации дистанционного

зондирования, включая инструменты с открытым исходным кодом, расширяющегося для глобального сообщества пользователей.

SNAP (Sentinel Application Platform) платформы STEP (Scientific Toolbox Exploitation Platform) предназначен для обработки данных со спутников Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, SMOS, PROBA V.

SNAP позволяет изучать, анализировать и обрабатывать данные дистанционного зондирования, способствуя проведению передовых научных исследований, обучению и тренингам, а также разработке широкого спектра оперативных приложений. SNAP пользуется широким распространением во многих сообществах, занимающихся дистанционным зондированием, включая научные круги и индустрию спутникового дистанционного зондирования в целом [20].

В программное обеспечение входят такие плагины и модули как:

- Sen2Cor – коррекция данных за атмосферу, облачность, рельеф;
- Sen2Three – пространственно-временной синтез изображений, использует временные ряды и генерирует синтетическое выходное изображение;
- Sen2Res – повышение пространственного разрешения продуктов Sentinel-2;
- SNAPHU – инструмент для развертки фазы изображения;
- Sen2Agri – отдельный модуль для расчета актуальных продуктов для сельскохозяйственной отрасли.

Доступ к SNAP и другим наборам инструментов ESA можно получить через веб-сайт Science Toolbox Exploitation Platform (STEP), на котором также размещена документация, учебные пособия, сторонние плагины и так далее.

QGIS – это географическая информационная система (ГИС) с открытым исходным кодом. Проект образовался в мае 2002 года и был создан как проект на SourceForge в июне того же года. В настоящее время QGIS работает на большинстве платформ таких, как: Unix, Windows и macOS.

QGIS разработан с использованием инструментария Qt и C++. QGIS работает быстро и имеет достаточно простой в использовании графический интерфейс пользователя [21].

QGIS позволяет с легкостью просматривать и работать с комбинацией векторных и растровых данных, как в 2D, так и в 3D, в разных форматах и проекциях без каких-либо преобразований во внутренний или общий формат. Поддерживаемые форматы файлов включают:

- Базы данных PostGIS, SpatiaLite и MS SQL Spatial, Oracle Spatial, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая GeoPackage, ESRI Shapefile, MapInfo, SDTS, GML и многие другие.
- Форматы растров и изображений, поддерживаемые установленной библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие как GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG и многие другие.
- Трехмерные модели (поддерживаются TINs и регулярные сетки).
- Векторные файлы
- Растровые и векторные данные из баз данных GRASS (location/mapset).
- Пространственные данные, предоставляемые в виде веб-сервисов OGC, включая WMS, WMTS, WCS, WFS и WFS-T.
- Электронные таблицы (ODS / XLSX)

Кроме того, поддерживаются временные данные, являющиеся промежуточным звеном при проведении расчетов и пространственного анализа.

IDRISI Kilimanjaro - один из используемых интегрированных пакетов дистанционного зондирования и растровых ГИС. Он предоставляет большой спектр программных модулей от простых до очень сложных. IDRISI также является достаточно быстрой программой, определенно отличающейся от других. ГИС IDRISI предоставляет большое количество способов

взаимодействия с другими модулями, включая меню, значки для более используемых модулей, список программ и графический интерфейс моделирования.

Версия Kilimanjaro для IDRISI представляет из себя улучшенную версию, а также новые процедуры классификации, моделирования и импорта / экспорта. Кроме того, несколько программ были объединены для обеспечения более удобной и простой функциональности. Программа RESAMPLE позволяет в интерактивном режиме выбирать наземные контрольные точки для исправления изображения. IDRISI включает в себя документацию по программному копированию, включая руководство, самоучитель и онлайн справку по каждому модулю. В учебном пособии имеются изображения с широкого спектра датчиков и географических регионов. Модульная структура программ IDRISI и файлов данных является как преимуществом, так и недостатком программы. Это отличная обучающая среда; пользователи должны понимать последовательность шагов, связанных с анализом. Однако многочисленные этапы проведения анализа, особенно с использованием многополосных изображений, могут оказаться непростыми. Clark Labs, разработчик IDRISI, решает эту проблему и начинает переписывать отдельные подпрограммы в виде интегрированных модулей. Кроме того, предоставляются опции для указания групп файлов [22].

IDRISI имеет почти 200 модулей, которые организованы в виде вкладок в семи основных групп, причем большая часть аналитических функций сосредоточена во вкладках GIS ANALYSIS и IMAGE PROCESSING. Модули IDRISI включают в себя широкий спектр базовых аналитических инструментов, а также множество продвинутых процедур. Кроме того, IDRISI имеет тенденцию генерировать множество отдельных файлов, где также включены программы для управления файлами.

Для дипломной работы была выбрана программа IDRISI KILIMANJARO/

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ СПУТНИКА

4.1 Исходные данные для исследования береговой линии

В качестве исходных данных в данной работе я воспользовалась следующими материалами:

1) Снимок из космоса, полученный со спутника LANDSAT-7 с фрагменты семи спектральных каналов.



Рисунок 10. Исходный снимок

2) Программа IDRISI KILIMANJARO для расчета спектральных индексов, выполнения пороговой сегментации водного объекта на спутниковых снимках.

Для выделения водных объектов по спутниковым многоспектральным снимкам активно используются следующие индексы: NDWI, NDMI, MNDWI, WRI, NDVI, AWEI. Автоматизированный индекс выделения воды (AWEI)

позволяет эффективно разделить водные и неводные пиксели за счет одновременного использования четырех спектральных каналов. Коэффициенты в выражении для этого индекса подобраны таким образом, чтобы определялось максимальное отличие водных пикселей от пикселей других типов растительного покрова. Нормализованный вегетационный индекс NDVI является наиболее известным индексом, используемым на практике, и показывает наличие и состояние растительности на момент измерений. Основой индекса является контраст отражательных характеристик с максимальным поглощением пигментом хлорофилла (красный канал) и высокой отражательной способностью растительного покрова (инфракрасный канал). Индекс нормированной разности вод (NDWI) рассчитывается на основе канала ближнего инфракрасного диапазона и канала в коротковолновом инфракрасном (SWIR) [23].

Пороговая сегментация состоит в простом объединении близких по характеристикам областей изображения в небольшое число сегментов на основе задания пороговых значений яркости.

4.2. Анализ полученных результатов

В качестве исходных данных в дипломной работе я использовала снимок из космоса, полученный со спутника LANDSAT-7 с фрагменты семи спектральных каналов.

Чтобы загрузить фрагменты в программу, необходимо зайти во вкладку DISPLAY, далее появится список с различными модулями, из которых для дальнейшей работы потребуется DISPLAY LAUNCHER

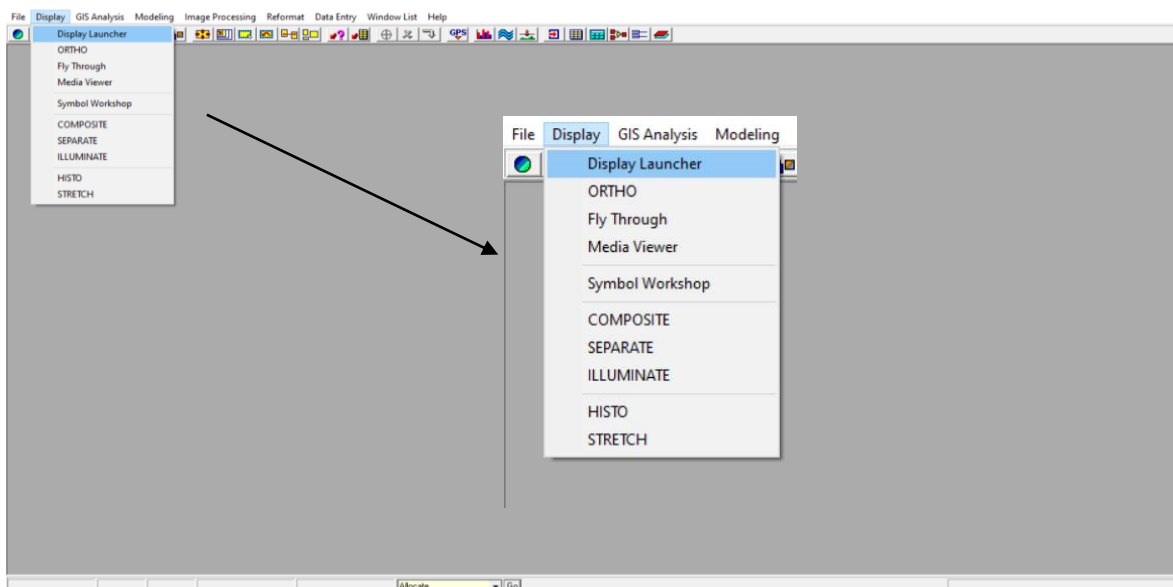


Рисунок 11. Интерфейс программы. Загрузка файлов

Далее открывается окно DISPLAY LAUNCHER, в котором выбираются файлы и палетки, применимые для снимков.

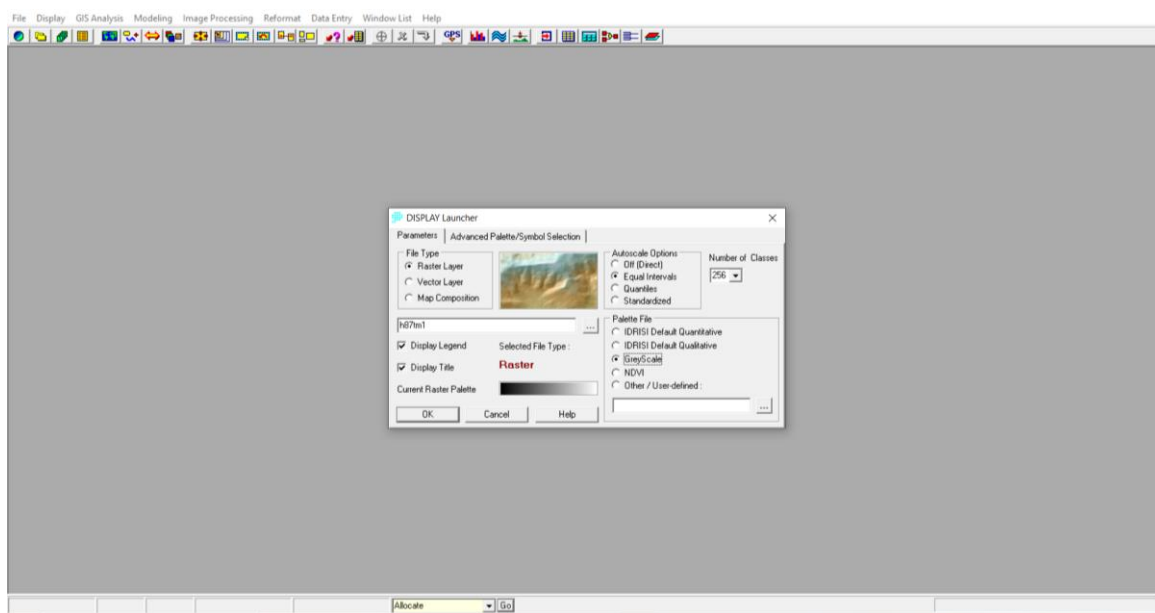


Рисунок 12. Окно DISPLAY LAUNCHER

После того, как на дисплее появились снимки, можно приступать к обработке фрагментов.

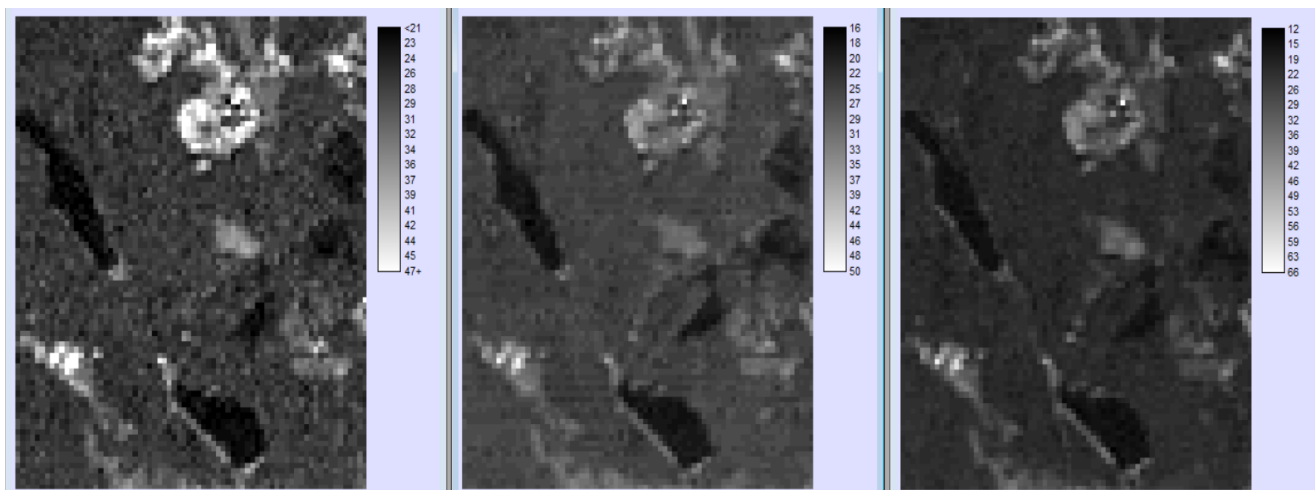


Рисунок 13. Спектральные каналы СИНИЙ, GREEN, RED

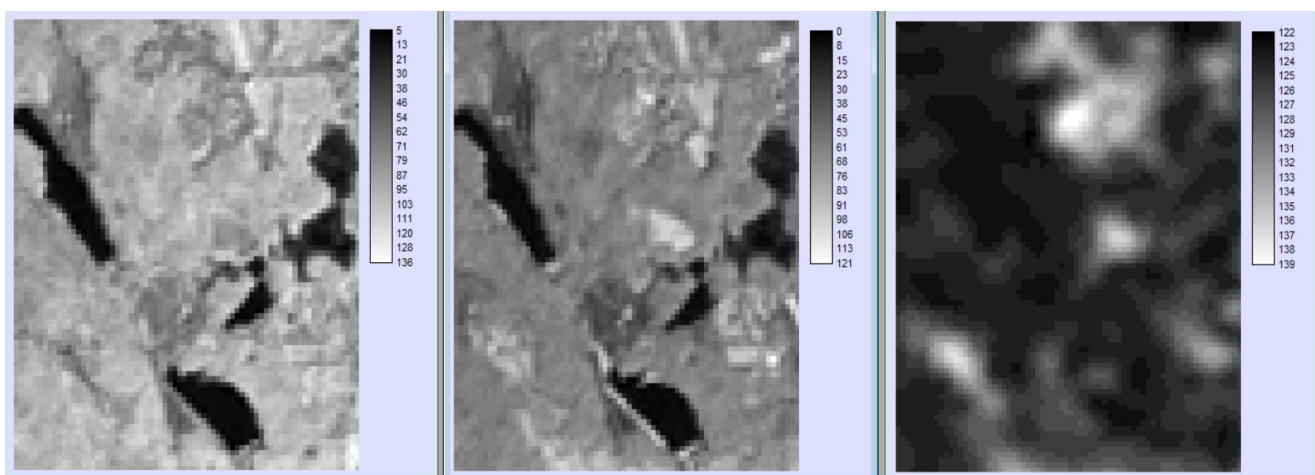


Рисунок 14. Спектральные каналы NIR, MIR, дальний ИФК

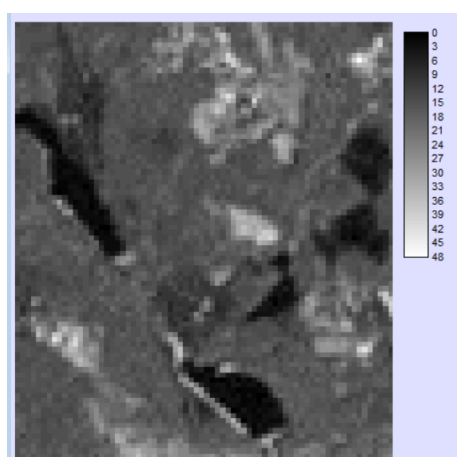


Рисунок 15. Спектральный канал SWIR

В ходе работы были рассчитаны спектральные индексы, которые используются для выделения водных объектов по спутниковым многоспектральным снимкам [24,25]:

- нормализованный вегетационный индекс (NDVI);
- нормализованный разностный индекс воды (NDWI);
- нормализованный дифференциальный индекс влажности (NDMI2);
- модифицированный нормализованный разностный индекс воды (MNDWI);
- индекс водного баланса (WRI);
- автоматический показатель дешифрирования воды (AWEI).

Формулы для расчета индексов имеют следующий вид:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (2)$$

где NIR – канал ближнего инфракрасного спектра отражения с диапазоном 0,775–0,90 мкм;

RED – канал видимого спектра отражения солнечного излучения со значением 0,63–0,69 мкм, соответствующий красному цвету.

Индекс NDVI является самым популярным для определения состояния наземной сельскохозяйственной растительности.

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}, \quad (3)$$

где SWIR – дальний инфракрасный канал с диапазоном длин волн 1,55–1,75 мкм.

Индекс NDWI используется для:

- мониторинга изменений содержания воды в листьях (и не только);
- анализа восприимчивости исследуемого участка к пожарам;
- моделирования плодородности растений;
- обнаружения поверхностных вод среди заболоченной местности;
- измерения степени покрытия поверхностными водами;

Значения этого индекса колеблются в диапазоне от -1 до 1. Основным преимуществом индекса NDWI является его способность выделить водоемы на спутниковом снимке. Недостатком данного индекса является его большая чувствительность к сооружениям, что может привести к серьезным ошибкам при расчете индекса.

$$NDMI2 = \frac{(NIR - MIR)}{(NIR + MIR)}, \quad (4)$$

где MIR – средний инфракрасный канал излучения, с диапазоном спектра 0,945 мкм.

$$MNDWI = \frac{(GREEN - MIR)}{(GREEN + MIR)}, \quad (5)$$

Индекс MNDWI используется для тех же целей, что и NDWI.

Значения этого индекса колеблются в диапазоне от -1 до 1. Вода имеет значения больше 0.

$$WRI = \frac{(GREEN - RED)}{(NIR + MIR)}, \quad (6)$$

Индекс WRI используется для:

- исследования физиологии экосистемы
- выявления водных объектов на исследуемой территории

Значения индекса колеблются от 0 до 3. Обычно, значения от 1 и выше представляют собой водные объекты или объекты, содержащие влагу.

$$AWEI = 4 * (GREEN - MIR) - (0,25 * NIR + 2,75 * SWIR), \quad (7)$$

Для вычисления спектральных индексов необходимо зайти во вкладку GIS ANALYSIS→MATHEMATICAL OPERATIONS→IMAGE CALCULATOR

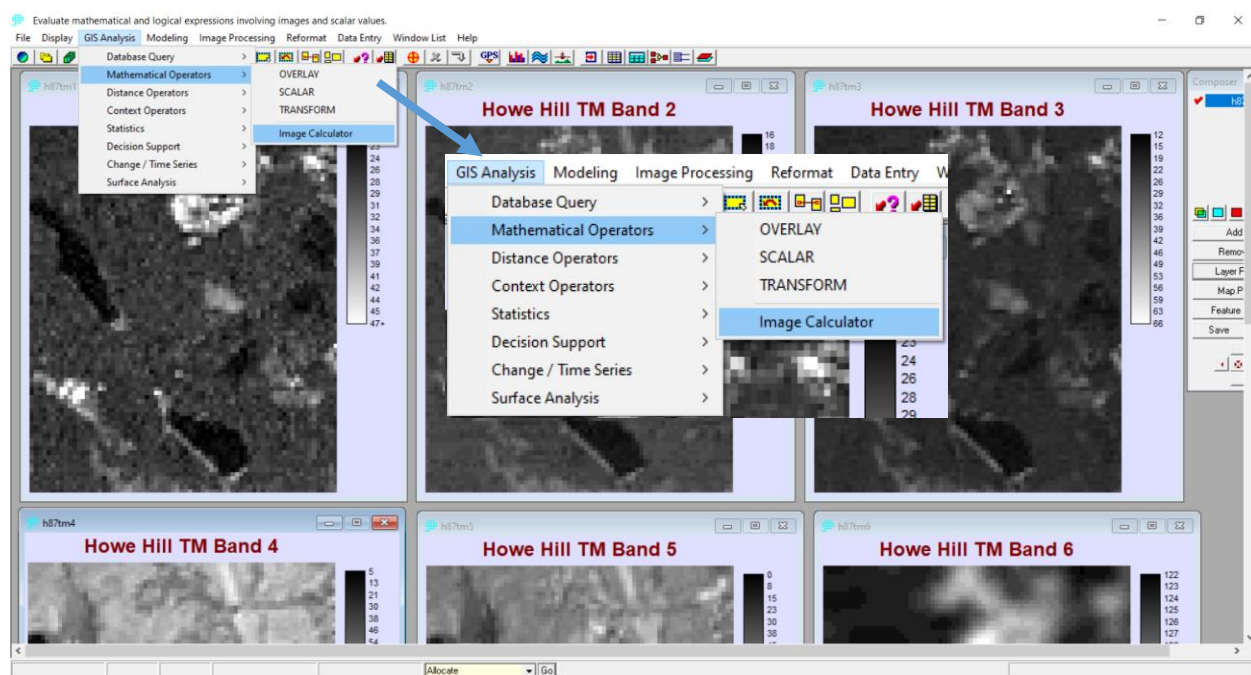


Рисунок 16. Подготовка к вычислению спектральных индексов

Далее открывается калькулятор, где вводится название конечного файла и формулы (2)-(7), представленные выше. В формулах вместо названия канала, вводится соответствующий ему фрагмент, как представлено ниже.

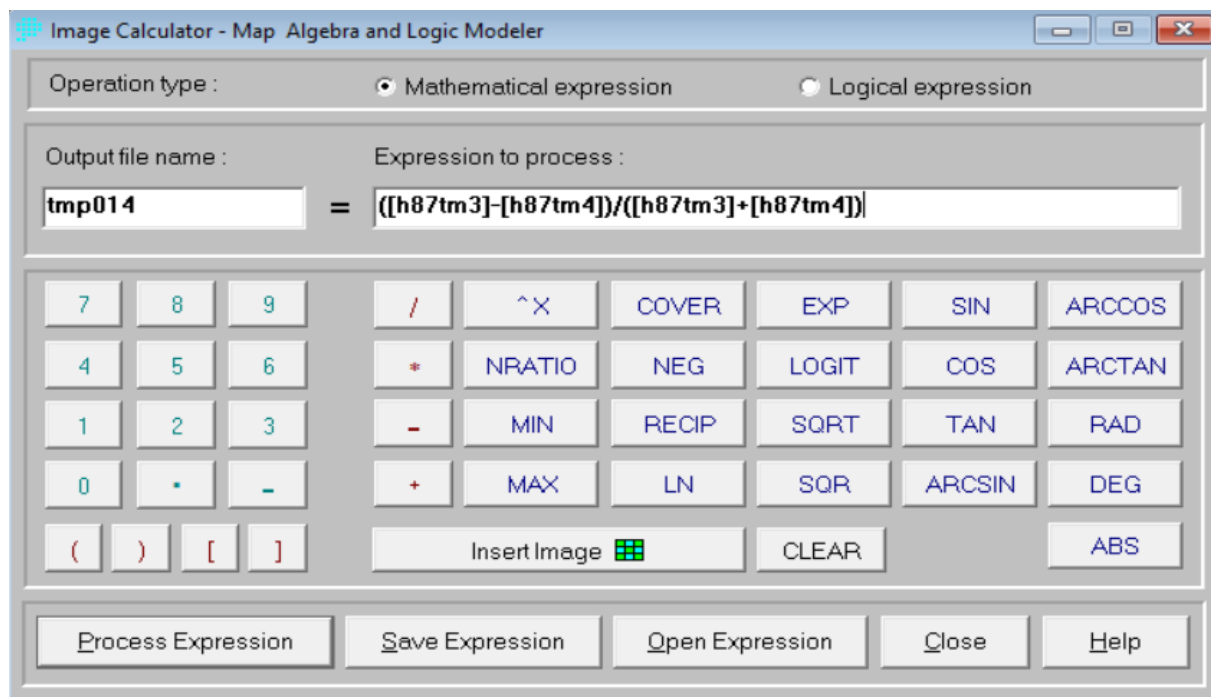


Рисунок 17. Окно IMAGE CALCULATOR с формулой индекса NDVI

Нажав на кнопку PROCESS EXPRESSION, появляется изображение.

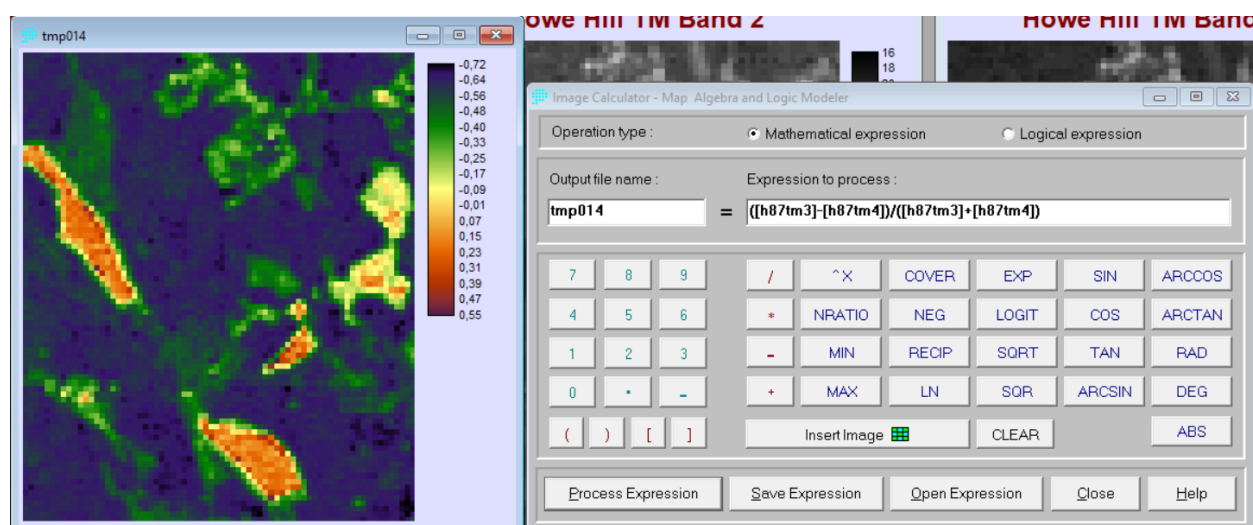


Рисунок 18. Результат вычисления по формуле

Таким образом по формуле был рассчитан спектральный индекс NDVI, к которому далее с помощью COMPOSER→LAYER PROPERTIES была применена палетка NDVI, что показано на Рисунке 19.

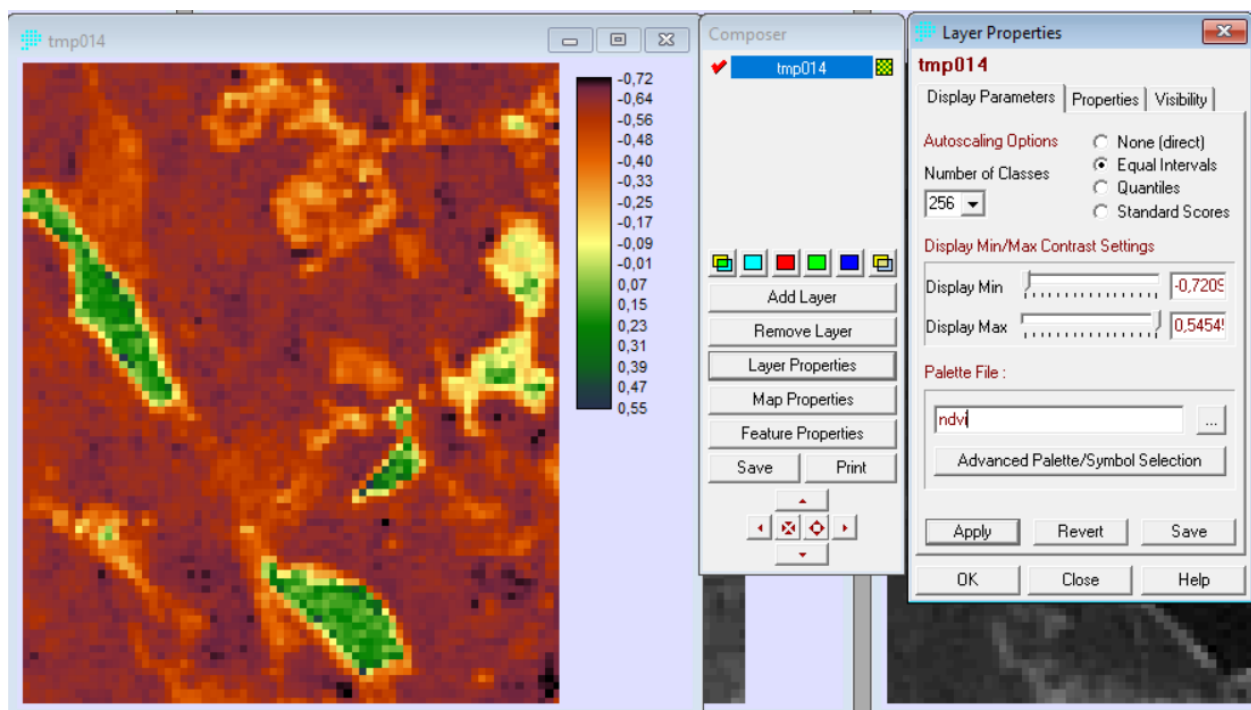


Рисунок 19. Применение палетки

С помощью формул (2)-(7) и модуля IMAGE CALCULATOR рассчитываются остальные спектральные индексы, представленные на Рисунке 20-21

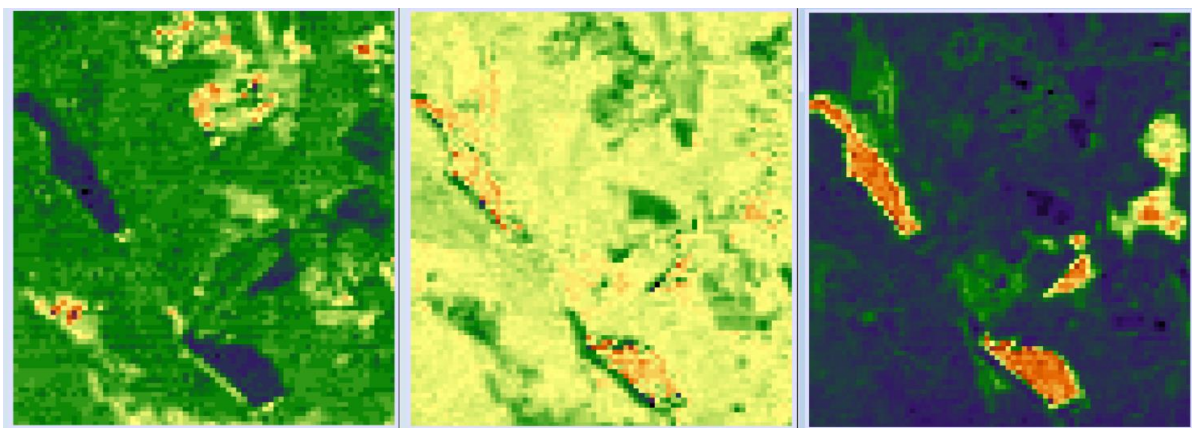


Рисунок 20. Спектральные индексы NDWI, NDMI2, MNDWI

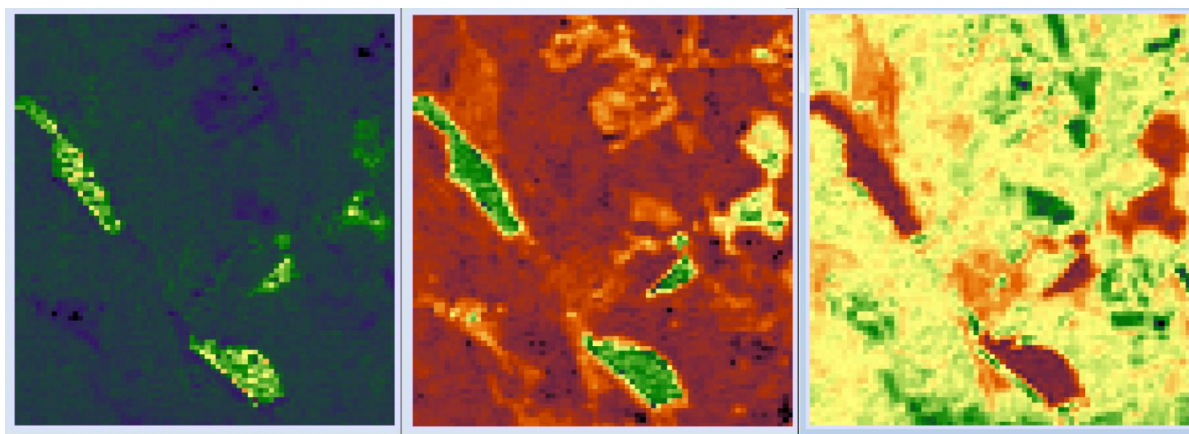


Рисунок 20. Спектральные индексы WRI, NDVI, AWEI

На каждом изображении получены минимальное и максимальное значения индексов для выделения водных объектов:

- индексы NDWI, NDMI2, MNDWI дают положительные значения для водоемов;
- индекс WRI определяет значения больше 1, в диапазоне от 1 до 4;
- индексы NDVI и AWEI находятся в диапазоне отрицательных значений.

Проведя определение пороговых значений индексов была сделана сегментация водоемов для каждого индексного изображения.

На примере изображении индекса NDWI с помощью модуля RECLASS показано, как работает данный модуль. В графе INPUT FILE вводится название индексного изображения, в графе OUTPUT FILE-название полученного файла с сегментацией водоемов. Далее в таблице в столбце ASSIGN A NEW VALUE OF вводится номер класса, водоемам присвоен номер 1, остальным объектам на изображении-номер 0. В столбце TO ALL VALUE FROM вводится минимальное значение яркости- 32 для класса 1 и 42 для класса 1. В столбце TO JUST LESS THAN для класса 1 значение яркости 42, для класса 0- 101. Что означает следующее: значения яркости в диапазоне от 42 до 101 на полученном изображении присвоены классу 0, который показан черным цветом, а значения

яркости в диапазоне от 32 до 42 присвоены 1 классу-водоемам, обозначенным красным цветом.

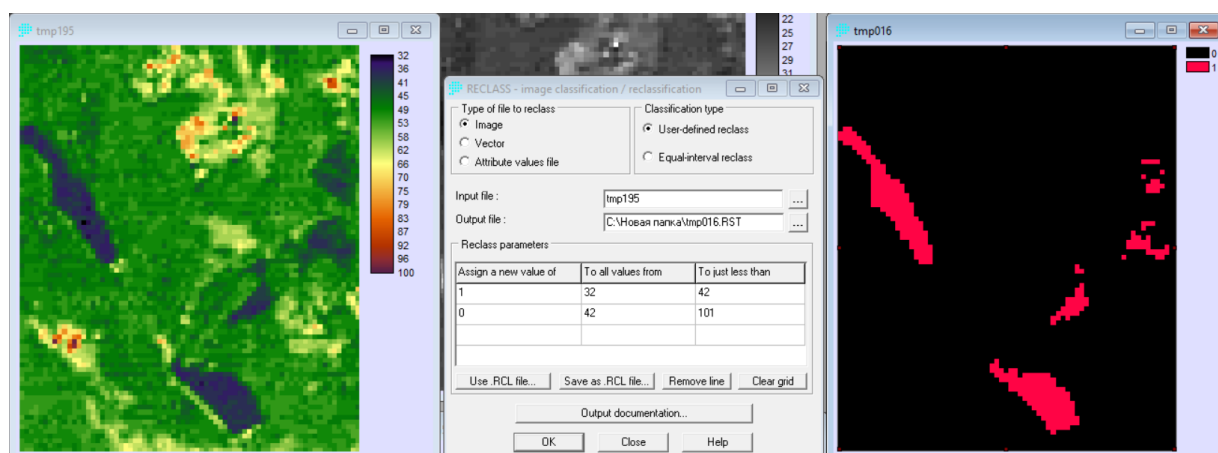


Рисунок 22. Сегментация индекса NDWI

Таким образом проводится сегментация для индексов NDMI2, MNDWI, WRI, AWEI.

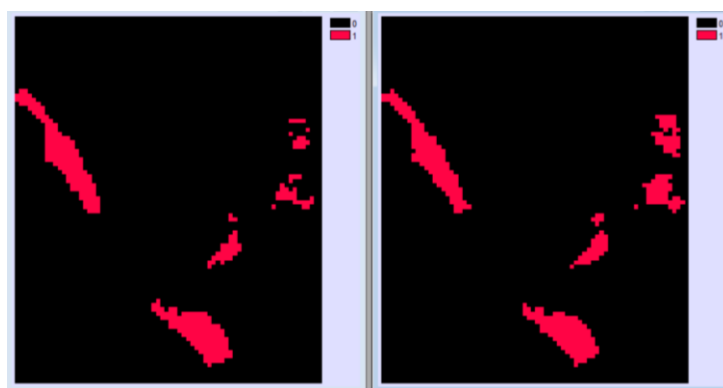


Рисунок 23. Сегментация индексов NDWI, NDMI2

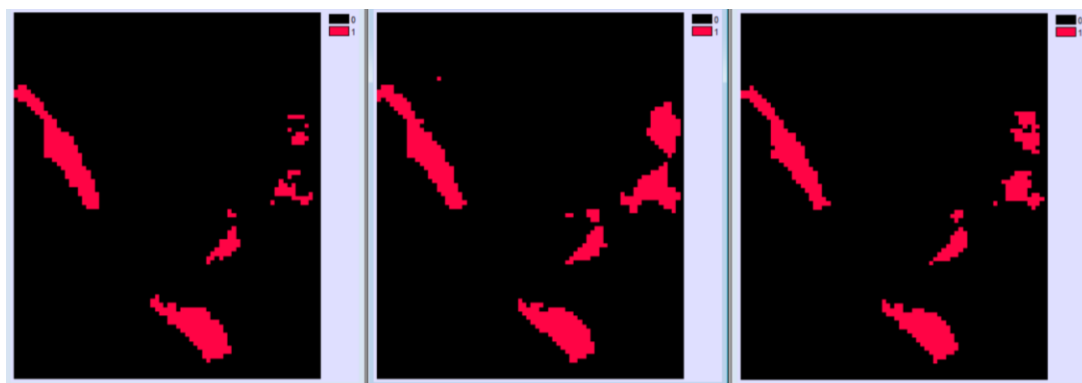


Рисунок 24. Сегментация индексов MNDWI, WRI, AWEI

Площади выделенных водоемов вычислены с учетом пространственного разрешения сканера LANDSAT-7, которое равно 30 м, и модуля AREA, расположенного во вкладке GIS ANALYSIS.

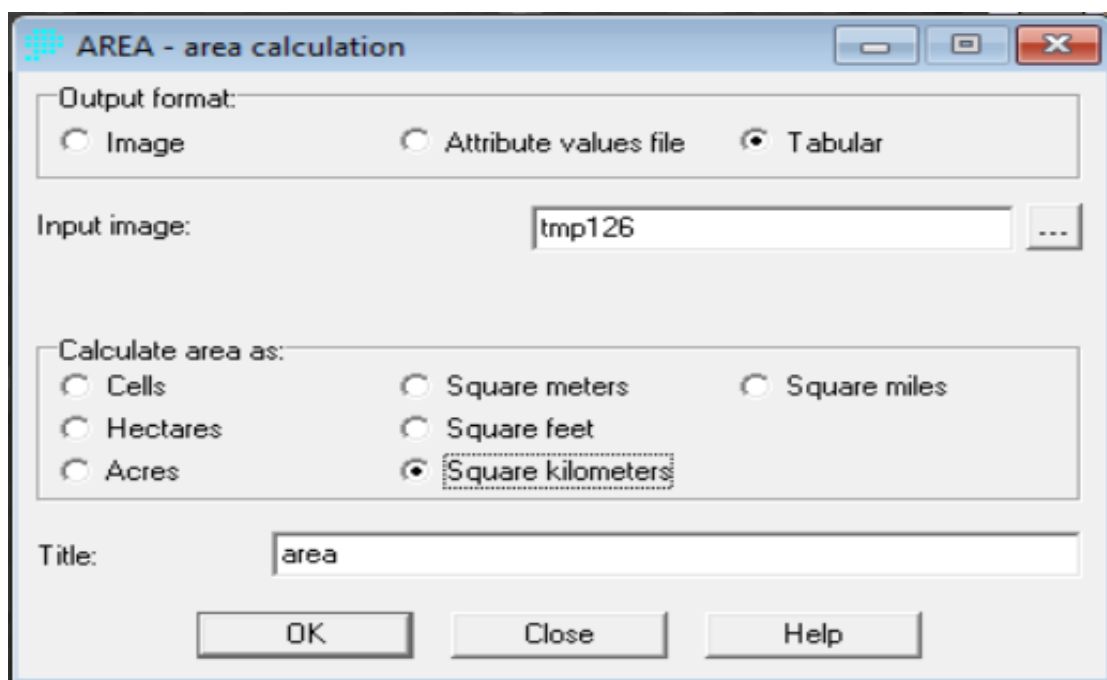


Рисунок 25. Окно модуля AREA

В окне модуля вводится название файла с сегментацией водоемов и выбирается в каких единицах будет произведено вычисление площади.

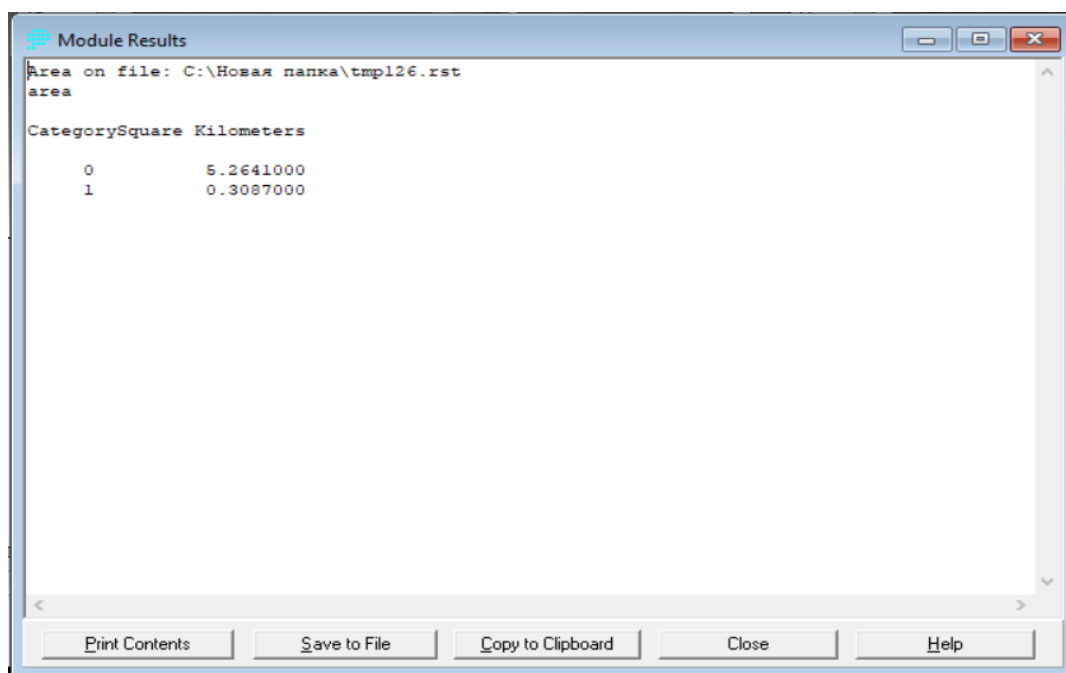


Рисунок 26. Расчет площади модулем AREA

Таким образом была рассчитана площадь водоемов для индекса NDWI равная 0,308 км². Далее рассчитываются площади для остальных индексов, приведенные в Таблице 3.

Таблица 3 – Площади индексов

Спектральный индекс	Площадь (км ²)
NDWI	0,308
NDMI2	0,379
MNDWI	0,356
WRI	0,474
AWEI	0,365

При применении индекса WRI была получена максимальная площадь водоема и составила 0,474 км², минимальная - индекса NDWI и составила 0,308 км².

Для сравнения динамики водных границ в 2023 году и 1987 году, было произведено наложение выделенных водоемов индексами NDWI, NDMI2, WRI.

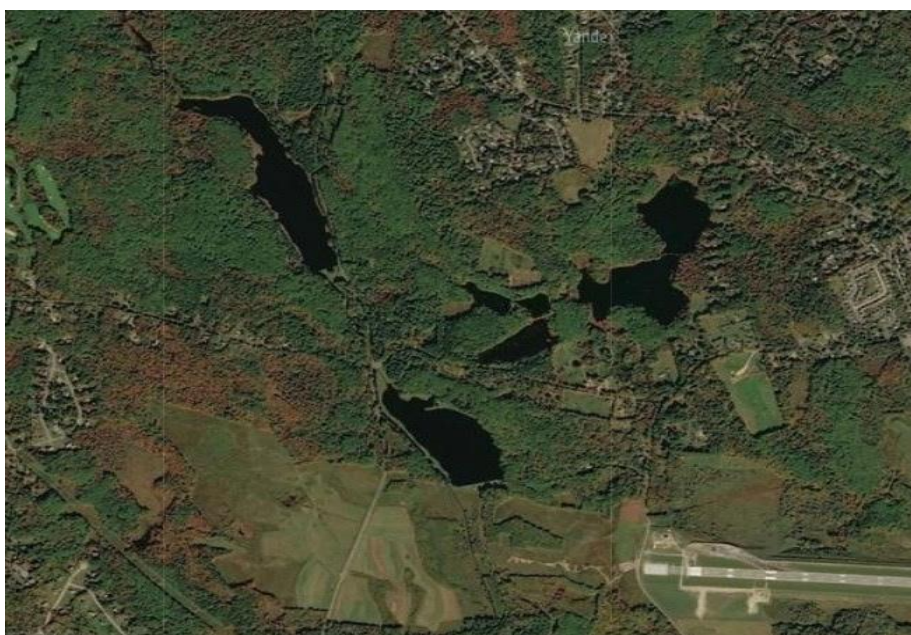


Рисунок 27. Снимок со спутника 2023 года



Рисунок 28. Наложение индексов NDWI, NDMI2, WRI

С целью определения на спутниковых снимках водных объектов были применены следующие спектральные индексы: NDWI, NDMI2, WRI.

С помощью выделения данными индексами водоемов можно сделать вывод о том, что площадь водоемов со снимка 1987 года и 2023 года отличается примерно на 20%. Таким образом, примерно за 36 лет площадь водоема заметно увеличилась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью мониторинга береговой линии методом спутникового зондирования можно получить необходимую информацию, которую нужно сравнивать с данными, полученными в ходе наземных наблюдений.

Если актуальные данные имеют большое расхождение с устаревшими показателями, то возникает необходимость обновления топографических и цифровых карт.

Благодаря мониторингу береговой линии, имеется возможность составлять прогнозы, в том числе долгосрочные, по изменению прибрежной зоны. Состояния водоема и береговой линии непрерывно изменяются, спутниковые снимки позволяют в полной мере отслеживать данные изменения.

Основные результаты:

1) В первой главе было описано то, какое большое значение имеет обозначение береговой линии водных объектов. Береговые линии рек, озер и морей являются крайне значимыми составляющими различных типов карт. Также было описано использование данных дистанционного зондирования для мониторинга береговых линий. Благодаря дистанционному зондированию имеется возможность вести наблюдения на больших территориях, практически мгновенно получать и обновлять данные.

Основные достоинства дистанционного мониторинга, следующие:

- наблюдение и регистрирование данных всей наблюдаемой территории в момент съемки;
- оперативность изображения больших территорий сводит к минимуму влияние внешних факторов;
- наличие возможности систематичного проведения повторных съемок дает возможность выбирать изображение наилучшего качества;

- благодаря материалам повторных съемок есть возможность отслеживать динамику природных процессов.

3) Во второй главе описываются возможности спутника LANDSAT-7, как основного источника данных для оценки динамики изменений береговой линии. По результатам проведенного изучения можно выделить как положительные, так и отрицательные черты спутника.

Положительные черты LANDSAT-7:

- высокое пространственное разрешение;
- свободный доступ к данным.

Отрицательная черта LANDSAT-7:

- частота съёмки (16 суток);

4) В третьей главе рассмотрены современные средства получения и обработки космической информации, которые позволяют решать разные задачи дистанционного зондирования.

Существует множество источников, где возможно в свободном доступе скачать спутниковые снимки для исследовательских задач. Некоторые сервисы предоставляют доступ к снимкам практически в режиме реального времени, в то время как другие позволяют просматривать и скачивать только вторичные данные. Некоторые из них предоставляют данные обо всем мире, другие лишь определенный географический район.

5) В четвертой главе была произведена обработка результатов. Показано, что рассчитанные водные индексы с легкостью позволяют произвести мониторинг береговой линии. Каждый индекс качественно определяет водные объекты. Благодаря сегментации изображений имеется возможность наглядно показать и сравнить изменение береговой линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Kummu M., de Moel H., Ward P., Varis O. How Close Do We Live to Water? A Global Analysis of Population Distance to Freshwater Bodies // PLoS One. - 2011. - 6 : Vol. 6.
- 2) Зуев В.Е. Креков Г.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. – Л. Гидрометеиздат, 1978. – 280с;
- 3) Харазми Р., Паниди Е.А., Каркон Варносфадерани М.М. Оценка динамики аридных экосистем на основе временных рядов космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.- 2016.- № 5.- С. 214–223.
- 4) Харазми Р.С., Чабан Л.Н. Анализ динамики экосистем бассейна Систан по результатам автоматизированной обработки космических мультиспектральных снимков// Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2015.- № 4.- С. 94-100.
- 5) Харазми Р., Чабан Л.Н., Каркон Варносфадерани М., Паниди Е. А., Митрофанов Е.М. Оценка точности различных методов контролируемой классификации в аридных территориях// Изв. Вузов. «Геодезия и Аэрофотосъемка».- 2017.- № 5.- С. 106-110.
- 6) Чабан Л.Н. теория и алгоритмы распознавание образов, Учебное пособие.- М. МИИГиК.- 2004.-70 с.
- 7) Капралов Е.Г., Тикунов В.С. Основы геоинформатики // Учебное пособие для студентов вузов.- МГУ.- 2004.- 480 с.
- 8) Abd El-Kawy O.R., Rød J.K., Ismail H.A., Suliman A.S., Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using Remote Sensing data// Applied Geography.- 2011.- 31.-pp. 483-494.

9) Abdulaziz AM, Hurtado, J JM, Al-Douri R. Application of multitemporal Landsat data to monitor land cover changes in the Eastern Nile Delta region, Egypt// International Journal of Remote Sensing.- 2009.- 30(11).-pp. 77-96.

10) Adamo S.B., Crews-Meyer K.A., Aridity and desertification: Exploring environmental hazards in 127 Jachal, Argentina// Applied Geography.- 2006.- 26.-pp. 61-85.

11) Al-Saady Y, Merkel B, Al-Tawash B, Al-Suhail Q. Land use and land cover (LULC) mapping and change detection in the Little Zab River Basin (LZRB), Kurdistan Region, NE Iraq and NW Iran// FOG-Freiberg Online Geoscience.- 2015.- vol. 43.- pp. 1-32.

12) Amiraslani F, Dragovich D. Image acquisition for detection of vegetation change based on longterm rainfall in an arid rangeland in Western NSW, Australia// Environmental earth sciences.- 2013.- vol. 70(1).-pp.83-95.

13) Amiri, F., Rahdari, V., maleki najafabadi, S. et al. Multi-temporal Landsat images based on ecoenvironmental change analysis in and around Chah-mimeh reservoir, Balochestan (Iran)// Environ Earth Sci.- 2014.- 72(3).- pp.801-809.

14) Ахмад Чеман Джамал Ахмад Разработка и исследование методики обработки космических снимков для целей мониторинга застроенных территорий в Ираке// Афтореферат, Москва, М.- МИИГАиК.- 2013.

15) Amna Butt, Rabia S., Sheikh S. A., Neelam A., Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan// The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.- 2015.- Vol.18.- pp. 251–259.

16) Araya YH, Hergarten C. A. comparison of pixel and object-based land cover classification: a case study of the Asmara region, Eritrea// WIT Transactions on The Built Environment.- 2008.- vol. 100.- pp. 233-43.

17) Aslinejad N., Nasiri A., Karkon M., et al. Locating Suitable Areas for Rain Water Harvesting// Elixir Remote Sensing.- 2014.- vol. 75.- pp. 27616-27619.

18) Landsat 7 | U.S. Geological Survey [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>

19) Landsat-7 спутник [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://innoter.com/sputniki/landsat-7/>

20) Возможности SNAP-STEP [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: https://www.unescap.org/sites/default/d8files/eventdocuments/Phase%20VIII_Presentations%2013%2C%2015%2C%2017%20September%202021.pdf

21) Гафуров А.М., Усманов Б.М., Основы работы в QGIS. Часть 1 – Казань: Казан. ун-т, 2022 – 30 с.

22) Software Review. IDRISI Kilimanjaro [Электронный ресурс] – Электронные текстовые данные. –

Режим доступа: <https://www.asprs.org/a/resources/software/review-06-2004/>

23) Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: АспектПресс, 2004. – 184 с

24) А.В Бочаров, О.АТихомиров. Использование данных дистанционного зондирования для оценки изменений прибрежной зоны водохранилищ. Известия Самарского научного центра РАН, т.17, № 4(4), 2015. - 55 с.

25) Т. И. Кутявина, В. В. Рутман, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных. Использование космических снимков для определения границ водоёмов и изучения процессов эвтрофикации. Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3.- С.28-33