

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



**SATBAYEV
UNIVERSITY**

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова
Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

Ахмеджанова Гюзаль Фуатовна

**Анализ изменения русла реки Сырдарьи по данным дистанционного
зондирования Земли**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071100 – геодезия и картография

АЛМАТЫ 2020



**SATBAYEV
UNIVERSITY**

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова
Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

ДОПУШЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой маркшейдерское
дело и геодезия, доктор PhD

Э.О. Орынбасарова

«_31_» _____05_____2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Анализ изменения русла реки Сырдарьи по данным дистанционного зондирования Земли»

по специальности 5В071100 – геодезия и картография

Выполнила

Ахмеджанова Гюзаль Фуатовна

Научный руководитель
лектор Кенесбаева А.

«20» мая 2021 г.



SATBAYEV
UNIVERSITY

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

Кафедра маркшейдерского дела и геодезии

Специальность 5В071100 – геодезия и картография

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой маркшейдерское
дело и геодезия, доктор PhD

Э.О.Орынбасарова
« 31 » _____ 05 _____ 2021г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Ахмеджановой Гюзаль Фуатовне

Тема: «Анализ изменения русла реки Сырдарьи по данным дистанционного зондирования Земли»

Утверждена приказом Ректора Университета №2131-б от «24» ноября 2020г.

Срок сдачи законченной работы «20» мая 2021г.

Исходные данные к дипломной работе: данные космической съемки Landsat 7 за 2000, 2005 и 2010 годы; данные космической съемки Landsat 8 за 2015 и 2020 годы

Краткое содержание дипломной работы: данная дипломная работа посвящена исследованию русла реки Сырдарьи, с использованием данных разновременной мультиспектральной космической съемки.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): *представлены 20 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: *из 30 наименований 4*

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Получение данных космической съемки	Февраль 2021 г.	Необходимо получить данные космической съемки Landsat 7 за 2000, 2005 и 2010 годы; Landsat 8 за 2015 и 2020 годы.
Обработка данных космической съемки	Март 2021 г.	Выполнение обработки данных космической съемки, с целью выделения водных объектов, а именно реки Сырдарьи. Сбор данных для проведения анализа.
Подведение итогов	Апрель 2021 г.	Выполнение анализа полученных результатов, подведение итогов работы.

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Получение данных космической съемки	Кенесбаева А. (магистр технических наук, лектор)	20.05.2021	
Обработка данных космической съемки	Кенесбаева А. (магистр технических наук, лектор)	20.05.2021	
Подведение итогов	Кенесбаева А. (магистр технических наук, лектор)	20.05.2021	
Нормоконтролер	Нукарбекова Ж.М. (магистр технических наук)	30.05.2021	

Научный руководитель



подпись

Кенесбаева А

Задание принял к исполнению обучающийся



подпись

Ахмеджанова Г.Ф.

АНДАТПА

Бұл тезис жерді қашықтықтан зондтау мәліметтерін қолдана отырып, өзен арнасындағы өзгерістердің себебін және мөлшерлік сипаттамаларын зерттеуді қамтиды. Зерттеу нысаны – Сырдария өзенінің Қызылорда қаласына жақын, ұзындығы 92627 метр бөлігі.

Сырдария өзенінің таяздану мәселесі бірнеше ондаған жылдар бойы өзекті болып келді және Қызылорда облысында экологиялық апатқа әкеліп соғу ықтималдығы бар.

Зерттеудің мақсаты – Landsat 7 ETM+ және Landsat 8 OLI/TIRS спутниктерінен алынған 2000, 2005, 2010, 2015 және 2020 жылдардағы серіктік бейнелерді пайдаланып, Сырдария өзені арнасы өзгерісінің сандық сипаттамаларын анықтау және өзгерістерді талдап, осы өзеннің болашағын болжау.

Алға қойылған тапсырманың негізінде, диплом жұмысы аясында Жерді қашықтықтан зондтау деректері бойынша Сырдария өзенінің арнасын зерттеу жүргізілді.

АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа содержит исследование характера изменения русла реки с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Объектом исследования является участок реки Сырдарьи, близ города Кызылорды, протяженностью 92794 метра.

Проблема обмеления реки Сырдарьи является актуальной уже несколько десятилетий и грозит экологической катастрофой в Кызылординской области.

Целевое назначение исследования заключается в определении количественных характеристик и произведении анализа изменения русла реки Сырдарьи, с использованием космических снимков за 2000, 2005, 2010, 2015 и 2020 годы, полученных со спутников Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI/TIRS. Задача данного исследования состоит в оценке вероятного будущего данной реки.

Исходя из поставленной задачи, в рамках дипломной работы было проведено исследование русла реки Сырдарья по данным дистанционного зондирования Земли.

ANNOTATION

This diploma thesis is a study of the nature of the change of the riverbed using the remote sensing data of the Earth. The object of the study is the site of the Syrdarya River, near the city of Kyzylorda, a length of 92627 meters.

The problem of the shallowing of the Syrdarya River is relevant for several decades and threatens the environmental disaster in the Kyzylorda region.

The purpose of the study is to determine the quantitative characteristics and the analysis of the change of the Syrdarya riverbed, using space shots for 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020, obtained from the Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS satellites. The task of this study is to assess the likely future of this river.

Based on the task, in the framework of the graduation work, a study was conducted by the River Syrdarya River for data remote sensing of the Earth.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Объект исследования	10
1.1 Физико–географическое описание и характеристика реки Сырдарьи	11
1.2 Описание проблемы	12
2 Методика	13
2.1 Методы дистанционного зондирования Земли	13
2.2 Методы мониторинга береговой линии по космическим снимкам	17
2.3 Методы обнаружения водных объектов на космических снимках	18
2.4 Программные продукты	21
3 Анализ изменения русла реки Сырдарьи	24
3.1 Получение космических снимков	24
3.2 Удаление черных полос со снимков Landsat 7 ETM+	26
3.3 Предобработка космических снимков	27
3.4 Расчет индексов MNDWI и WRI	29
3.5 Обрезка космического снимка	30
3.6 Выделение водных объектов	32
3.7 Преобразование раstra в вектор	33
3.8 Получение данных для анализа	34
3.9 Результат анализа	36
Заключение	40
Список использованной литературы	41
Приложение А	44
Приложение Б	45
Приложение В	48
Приложение Г	55
Приложение Д	58
Приложение Е	61
Приложение Ж	67

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря данным дистанционного зондирования Земли представилась возможность исследования цвета водных объектов, выполняется это при наблюдении за спектром выходящего излучения воды. С использованием данного спектра и определенных алгоритмов можно узнать информацию о концентрации оптически активных компонентов в верхнем слое водоема.

Цель исследования заключается в проведении анализа изменения русла реки Сырдарьи на выбранном участке, с использованием данных космической съемки со спутников Landsat 7 ETM+ (2000 г., 2005 г., 2010 г.), Landsat 8 OLI/TIRS (2015 г., 2020 г.).

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- разработать технологию выделения водных объектов на космических снимках;
- определить количественные характеристики русла Сырдарьи;
- дать оценку будущему исследуемой реки, с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Новизна работы. В данной работе рассматривается метод исследования состояния береговой линии реки Сырдарьи, по материалам космической съемки. Работа выполнена с использованием программного обеспечения QGIS.

Актуальность работы. Исследование береговой линии реки Сырдарьи имеет большое значение, не только для Казахстана, но и для всех стран Средней Азии. При обмелении реки пострадает экономика данного района, а именно сфера сельского хозяйства, орошение и сфера обслуживания.

Теоретическая и методологическая основа. Разработанная в данной дипломной работе методика анализа береговой линии по разновременным мультиспектральным космическим снимкам имеет теоретическое и практическое значение для специалистов, занимающихся дистанционным зондированием береговых линий водных объектов. Также данная методика отлично подходит для решения различных экологических задач.

Практическая база написания. Разработанная методика может использоваться для анализа устья реки по разновременным космическим снимкам.

Обоснование необходимости выполнения дипломной работы. Сырдарья является главной рекой Средней Азии, обмеление которой грозит экологической катастрофой не только для Казахстана, но и для всего этого региона. В связи с этим необходимость проведения анализа береговой линии данной реки стремительно растет.

1 Объект исследования

Объектом изучения является участок реки Сырдарьи, близ города Кызылорды, протяженностью 92794 метра. На рисунке 1 показан исследуемый участок реки Сырдарьи.

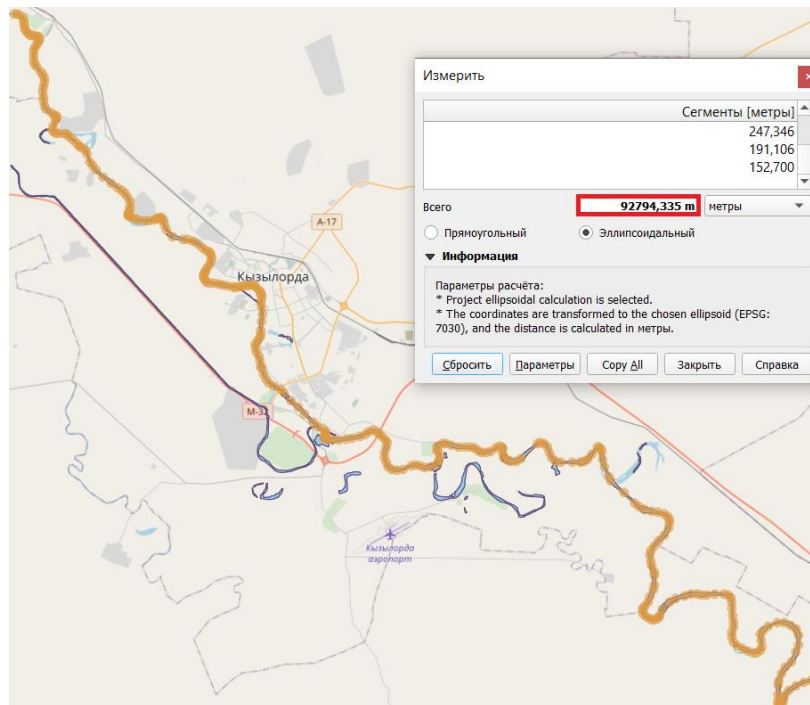


Рисунок 1 – Объект исследования

Река Сырдарья считается самой длинной рекой Средней Азии, которая занимает второе место по полноводности среди рек данного региона. Исток реки расположен высоко в горах. Протекая через несколько природных зон, Сырдарья минует песчаные барханы и заснеженные берега в районе Байконура, далее впадает в Аральское море [1]. На рисунке 2 изображен участок реки Сырдарьи близ города Кызылорды.



Рисунок 2 – Река Сырдарья близ города Кызылорда

1.1 Физико–географическое описание и характеристика реки Сырдарья

Сырдарья – самая продолжительная река Средней Азии, которая протекает через четыре государства: Таджикистан, Узбекистан, Киргизию и Казахстан. Протяженность Сырдарьи составляет 2212 километров. По полноводности данная река занимает второе место среди рек в этом регионе, после Амударьи. Площадь Сырдарьи составляет примерно 219000 квадратных километров.

Исток реки Сырдарьи сформирован при слиянии двух рек: Нарын и Карадарьи. Расположен исток реки высоко в горах, на уровне 400 метров над уровнем моря, в восточной части Ферганской долины на границе двух государств: Узбекистан и Таджикистан. В районе Ферганской долины ширина поймы реки Сырдарьи составляет 3–5 километров. Сырдарья протекает через долину, далее минуя Фархадские горы образует Бегатовские пороги и впадает в Голую степь. Ширина поймы реки Сырдарьи на территории Голыи степи составляет 10–15 километров. Расположение реки Сырдарьи показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Расположение реки Сырдарьи

Питают реку Сырдарью в основном снега. Также реку питают ледники, дожди и притоки других рек.

В среднем течении, на территории Республики Узбекистан, справа Сырдарья принимает притоки двух крупных рек: Ангрен и Чирчик. Также на территории Республики Казахстан и Узбекистан, Сырдарья принимает правый приток реки Чирик.

В нижнем течении, на территории Казахстана, Сырдарью питает правый приток реки Арыс. Также Сырдарью питают левые притоки рек Карасу и

Ходжабакирган. В нижнем течении река Сырдарья протекает мимо пустыни Кызылкум.

Район, где расположена данная река считается основным сельскохозяйственным районом, в связи с тем, что именно здесь выращивают рис, арбузы и дыни.

На данной реке в Казахстане расположены следующие крупные водохранилища: Чардаринское и Коксарайское. В Таджикистане на данной реке расположено Кайраккумское водохранилище. Также на Сырдарье на территории Казахстана имеется Кызылкумский канал, а на территории Узбекистана Южный Голодностепский канал.

На данный момент река Сырдарья впадает в пересыхающее малое Аральское море, тем самым образуя дельту, которая заполнена малыми озерами и болотами. Высота над уровнем моря у устья составляет 42 метра. Раньше устье реки было расположено в Аральском море, однако к 1989 году уровень воды в Аральском море стал значительно меньше, в связи с этим Аральское море разделилось на две части: малое и большое Аральское море [1].

1.2 Описание проблемы

С каждым годом площадь реки становится гораздо меньше по сравнению с предыдущим. Одна из причин данного процесса, забор воды на хозяйственные нужды. Следует отметить, что это привело к снижению нынешнего объема стока в устье более чем в 10 раз. Другая причина обмеления реки в строительстве целого каскада ГЭС на реке Нарын в Кыргызстане. На Карадарье грубым способом добываются песок и щебень, что наносит огромный ущерб экологии. Если не изменить текущее положение дел, река будет стремительно уменьшаться в размерах и неизбежно приведет к экологической проблеме [2, 3].

Помимо экологической проблемы обмеление реки Сырдарьи может вызвать и экономические проблемы. Так как на данной реке расположено несколько гидроэлектростанций, обмеление приведет к гидроэнергетическим проблемам. Также в связи с тем, что достаточно большое количество воды уходит на орошение, после обмеления данная экономическая сфера тоже понесет убытки. Если не решить данную проблему может пострадать сфера сельского хозяйства, а именно растениеводство и животноводство. Невозможным будет разведение и лов рыбы в водохранилищах. Кроме того, убытки понесет и сфера обслуживания: туризм, торговля и транспорт.

В связи с такими колоссальными проблемами, которые может вызвать обмеление Сырдарьи, был произведен анализ изменения русла реки по данным разновременной космической съемки. Данный анализ был выполнен с целью выяснить динамику изменения русла реки и дать оценку будущему исследуемой реки.

2 Методика исследования

2.1 Методы дистанционного зондирования Земли

Дистанционное зондирование Земли является методом исследования земной поверхности, который не требует присутствия на объекте исследования, так как выполняется на расстоянии. Благодаря данному методу есть возможность измерения свойств исследуемых объектов. При дистанционном зондировании используются данные искусственных спутников Земли. Также используются данные, полученные с помощью воздушных летательных аппаратов [4]. Процесс дистанционного зондирования Земли можно описать семью шагами, которые проиллюстрированы на рисунке 4.

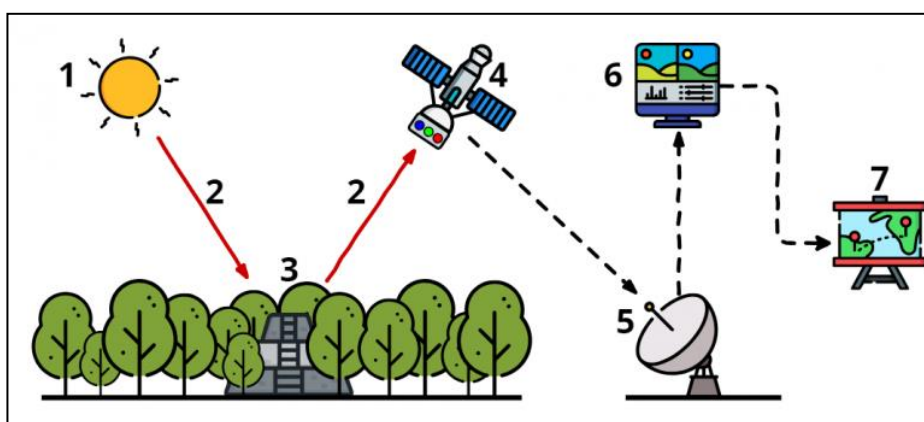


Рисунок 4 – Схема процесса дистанционного зондирования Земли

Во-первых, для данного процесса необходим источник электромагнитной энергии. В основном этим источником является Солнце, однако также им может являться тепловое излучение Земли или микроволновое излучение спутника.

Вторым шагом является прохождение этой самой электромагнитной энергии сквозь слой атмосферы. В процессе прохождения электромагнитной энергии через атмосферу, она рассеивается, поглощается и видоизменяется.

Под номером три показано взаимодействие с объектом исследования, а именно происходит поглощение или отражение электромагнитных волн. Далее опять производится второй шаг.

Следующим шагом производится сбор полученной информации о электромагнитной энергии. Данное действие производится датчиком, который установлен на платформе, в данном случае платформой является спутник.

Далее выполняется отправление данных дистанционного зондирования на приемную станцию. На приемной станции производится первичная обработка полученных данных.

Шестым шагом выполняется интерполяция и анализ данных, которые производятся в специализированном программном обеспечении.

Полученный результат анализа можно использовать для решения задач,

для которых было выполнено дистанционное зондирование Земли [4, 5, 6, 7].

Датчики, которые применяются при дистанционном зондировании, имеют возможность регистрировать излучение не только видимого человеческого глазу спектра, но и диапазон, который недоступен для человеческого зрения. Данная возможность открывает новый способ видеть то, что недоступно человеческому глазу. Это происходит за счет того, что объекты, которые мы привыкли видеть, различно друг от друга отражают электромагнитные волны, в связи с этим результат отличается. На рисунке 5 проиллюстрирована часть электромагнитного спектра, которая применяется в дистанционном зондировании Земли.

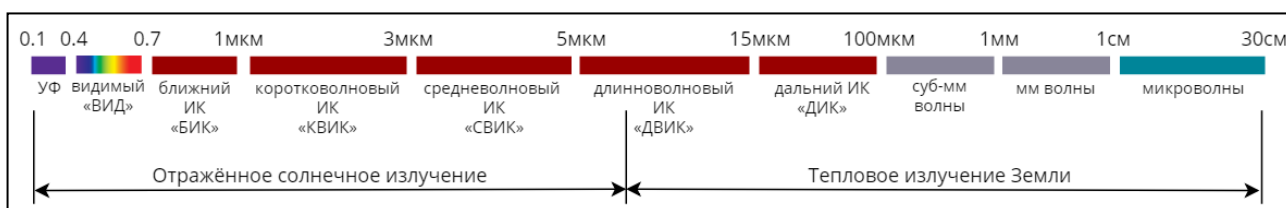


Рисунок 5 – Часть электромагнитного спектра, применяемая в ДЗЗ

По виду облучения все сенсоры, используемые в дистанционном зондировании, можно разделить на пассивные и активные. Пассивные сенсоры фиксируют естественное излучение, то есть солнечную радиацию либо тепловое излучение, которое исходит объект исследования. Активные сенсоры освещают объект исследования и фиксируют волны, которые исходит исследуемый объект [4]. Наглядно отличие между данными двумя типами сенсоров можно увидеть на рисунке 6.

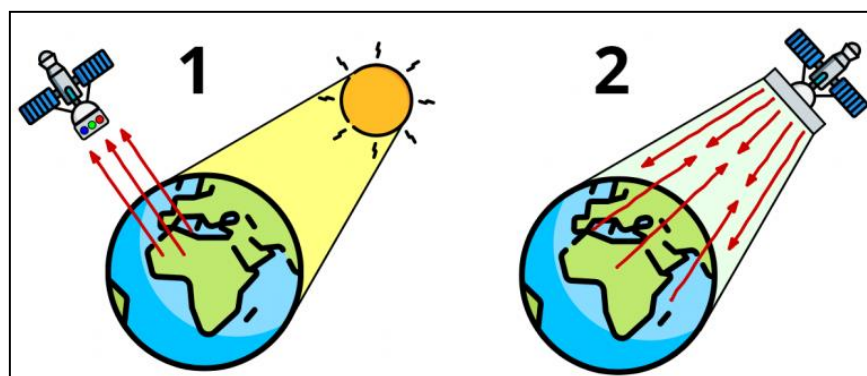


Рисунок 6 – Виды ДЗЗ: 1 – пассивное; 2 – активное

Существует несколько методов дистанционного зондирования Земли, в зависимости от используемой съемочной аппаратуры: фотосъемки, тепловые съемки, сканерные съемки, радарные съемки.

2.1.1 Метод фотосъемки. Для выполнения дистанционного зондирования методом фотосъемки используются пилотируемые корабли и орбитальные станции, также могут использоваться автоматические спутники. Сущность

данного метода заключается в получении снимков, получаемых с аппаратов, перечисленных выше. Снимки, полученные со спутников из космоса, отличаются своей обзорностью и охватом больших территорий одним снимком. Смотря какой вид аппаратуры использовать, метод фотографирования выполняется не только в видимом диапазоне электромагнитного спектра и его зонах, но и в ближнем инфракрасном диапазоне.

В зависимости от того с какой высоты производится съемка и от значения фокусного расстояния объектива, меняется значение масштаба получаемых снимков. Изменение оптической оси космических аппаратов дает возможность получать не только плановые, но и перспективные снимки интересующей поверхности Земли.

В современном мире принято использовать фотоаппаратуру с высоким разрешением, так как она дает возможность получать космические снимки с перекрытием составляющем 60 % и более.

Однако фотографический метод дистанционного зондирования имеет существенный недостаток, который заключается в необходимости возвращения пленки со снимками обратно на Землю. Также необходимо помнить, что запас пленки на борту ограничен. Несмотря на это данный метод является более информативным [8, 9, 10].

2.1.2 Метод тепловой съемки. Сущность метода тепловой съемки дистанционного зондирования Земли заключается в выявлении тепловых аномалий. Это выполняется благодаря регистрации теплового излучения, которое излучают объекты, расположенные на Земле. Данное явление обусловлено солнечным излучением, либо эндогенным теплом.

Данный метод съемки чаще всего используется для решения задач в сфере геологии. В связи с тем, что разные участки Земли нагреваются по-разному – температура поверхностей различна. Особенной значимостью обладает информация, полученная в районах с активной вулканической деятельностью [8, 9].

2.1.3 Метод сканирования. Для выполнения дистанционного зондирования интересующего объекта методом сканирования применяются многоспектральные оптико-механические системы – сканеры. Данные сканеры устанавливаются на искусственные спутники Земли различного назначения. С использованием сканеров открывается возможность формирования изображения, которое состоит из нескольких отдельных снимков, которые получают последовательно.

Сканирование – это процесс получения развертки изображений, с применением сканирующего элемента, которым выступает сканер. Сканер поэлементно фиксирует местность поперек движения носителя и отправляет лучистый поток в объектив. После этого на точечный датчик, который видоизменяет световой сигнал в электрический, который поступает на приемные станции по каналам связи.

При сканерном методе дистанционного зондирования Земли исследуемая местность отображается на непрерывной ленте. Полученная лента состоит из полос, которые называют сканами. Сканы в свою очередь состоят из отдельных элементов, которые называются пикселями. Сканерным изображением называют упорядоченный пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю. Эти данные фиксируются на магнитную ленту. Далее их можно преобразовать в кадровую форму. Сканерные изображения можно получить во всех спектральных диапазонах.

Подробно процесс сканирования и его различные методы проиллюстрированы на рисунке 7.

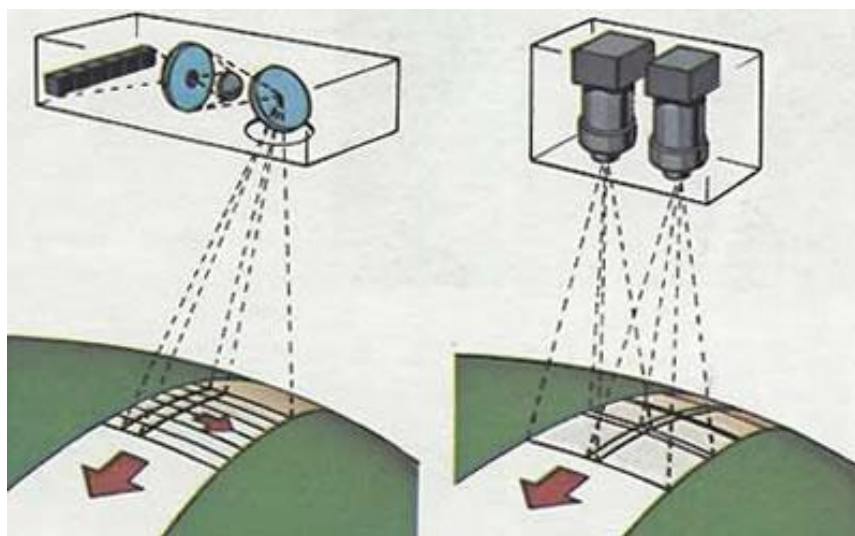


Рисунок 7 – Различные методы сканирования поверхности Земли

Основными характеристиками сканерных аппаратов являются угол сканирования и мгновенный угол зрения. От значения угла зрения зависит не только значение ширины снимаемой полосы, но и разрешение получаемых снимков. Относительно угла сканирования можно разделить сканеры на две группы: точные и обзорные. Точные сканеры имеют угол сканирования уменьшенный до $\pm 5^\circ$. В то время как значение угла сканирования у обзорных сканеров увеличивают до ± 50 . Величина разрешения обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы [8, 9].

2.1.4 Метод радарной съемки. Радарная съемка, которая также имеет название «радиолокационная» выполняется при условии, если непосредственное наблюдение интересующего объекта затруднено. Причиной затруднения проведения наблюдения может быть туман или же высокая облачность. Достоинством и отличительной чертой радарной съемки является возможность ее проведения в ночное время, ведь данная разновидность съемок относится к активному виду. Различия между оптической и радарной съемкой можно увидеть на рисунке 8.

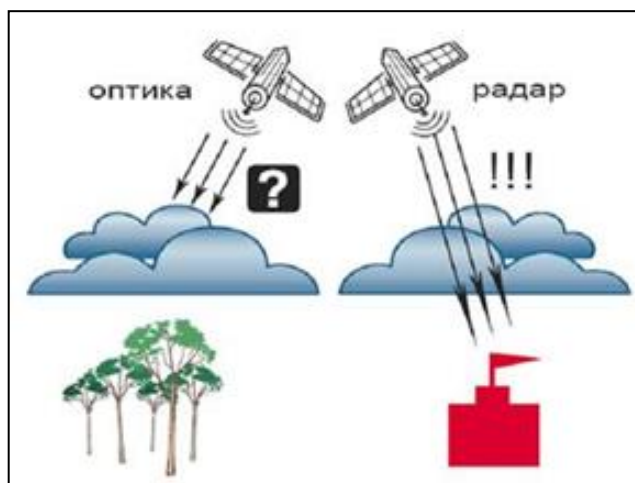


Рисунок 8 – Особенности оптической и радарной съёмки

Сущность данного метода дистанционного зондирования Земли состоит в посылке радиосигнала, вырабатываемого специальным генератором. Радиосигнал отражается по нормали от изучаемого объекта и фиксируется на приемнике, который устанавливается на борту носителя. В зависимости от того какое расстояние между приемником и исследуемым объектом, меняется время возвращения радиосигнала обратно в приемник. То есть, чем больше расстояние, тем больше требуется времени на прохождение отражаемого сигнала до его фиксации электронно-лучевой трубкой, совмещенной со специальной кинокамерой [8, 9, 11].

Данная работа выполнялась с использованием разновременных мультиспектральных снимков, полученных при дистанционном зондировании методом сканерных съемок, которые выполнялись с использованием оптико–электронных спутников Landsat 7 и Landsat 8.

2.2 Методы мониторинга береговой линии по космическим снимкам

Существует несколько методов мониторинга береговой линии.

2.2.1. Картографический метод. Сущность картографического метода мониторинга береговой линии заключается в исследовании разновременных карт прибрежных районов. Точность данного метода заключается в масштабе топографической карты, которая используется для данного наблюдения. В зависимости от даты издания карты, можно говорить об актуальности данных, изображенных на ней. В связи с этим картографический метод используется исключительно для получения поверхностных данных о береговой линии.

Существует требование к точности карт, используемых для мониторинга береговой линии по данному методу: объекты, отображенные на карте, должны сохранять точность своего местоположения, геометрического подобия и размеров в соответствии с масштабом карты и ее назначением [12, 13].

2.2.2. Геодезический метод. Сущность геодезического метода заключается в проведении топографической съемки береговой линии исследуемого объекта. Для выполнения данной задачи используют технологии, благодаря которым предоставляется возможность выполнения топографической съемки [14, 15, 16].

Мониторинг береговой линии можно также выполнять геодезическим методом, используя спутниковую технологию съемки. Сущность данной технологии заключается в применении глобальной навигационной спутниковой системы и системы вычислительной обработки. Это производится с целью получения координат и высот точек местности.

Геодезический метод исследования береговой линии является наиболее точным, ошибка измерений может составлять до трех сантиметров. Однако, выполнение наблюдения данным методом достаточно трудоемко и занимает большое количество времени, в связи с этим стоимость за данные услуги очень высока. В связи с этим, правильнее данный метод использовать для исследования небольших участков реки.

2.2.3. Фотограмметрический метод. Сущность фотограмметрического метода исследования береговой линии заключается в исследовании объектов на расстоянии, то есть с применением данных дистанционного зондирования Земли. Данные дистанционного зондирования можно получить с использованием съемочной аппаратуры воздушного или космического базирования. Данный метод выполняется за счет проведения аэрофотосъемки и последующей фотограмметрической обработки полученных снимков. Также данные можно получить с использованием лазерно–локационной съемки. Кроме того, для исследования береговой линии фотограмметрическим методом можно использовать мультиспектральные данные космической съемки сверхвысокого качества. С помощью этих данных можно извлечь достаточно много информации, а именно информацию о рельефе, положении объекта в пространстве, площади исследуемого объекта и химический состав [17].

При выполнении данной работы был использован фотограмметрический метод мониторинга береговой линии, с использованием разновременных данных мультиспектральной космической съемки, полученных со спутников Landsat 7 и Landsat 8.

2.3 Методы обнаружения водных объектов на космических снимках

Благодаря достижениям науки в сфере дистанционного зондирования Земли предстала возможность производить мониторинга водных объектов, выявлять и предотвращать угрозу чрезвычайных ситуаций, определять возможный ущерб и многое другое. Для наблюдения и анализа водных объектов, часто используются данные радарных спутников и данные аппаратов высокодетальной оптической съемки, в связи с высокой информативностью.

Данные дистанционного зондирования Земли, при исследовании водных или же увлажненных объектов, применяют для выделения границ водных объектов. Также с использованием данных дистанционного зондирования можно определять качество водных объектов, степень и тип загрязнения, производить наблюдение и прогнозировать половодья и паводки и много других задач.

Для выявления и анализа водных объектов в основном используются следующие каналы космических снимков:

Красный, зеленый, синий. Данные каналы относятся к видимому электромагнитному излучению, которое воспринимается человеческим глазом.

Красный канал используется для выделения на снимке снежного покрова.

Зеленый канал используется для выделения не только наземной, но и подводной, в связи с тем, что данный спектр охватывает максимум отражательной способности поверхностей растительного покрова.

Синий канал используется для выделения облаков от снежного покрова, также для выделения почвы без растительности.

Ближний инфракрасный, коротковолновый инфракрасный, средний инфракрасный, тепловой инфракрасный. Данные каналы относятся к электромагнитному излучению, спектральное значение которого расположено между красным концом видимого света и микроволновым радиоизлучением.

Инфракрасное излучение или тепловое излучение используется для выделения водных объектов, разделения влажных почв от сухих. Также с помощью инфракрасного излучения можно проследить изменение содержания воды в растительности и выявления динамики влагозапаса в растительном и почвенном покровах.

Панхроматический канал в основном используется для анализа зерновых культур и растительного покрова. Также с помощью данного спектрального канала есть возможность выделить водно-болотные угодья и типы землепользования.

В Приложении А показаны спектральные каналы спутников Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI/TIRS.

2.3.1 Водный индекс WRI. Основным назначением WRI (Water Ratio Index) является оценка содержания влаги в растительном покрове. Водный индекс рассчитывается по следующей формуле:

$$WRI = (Green + Red) / (NIR + SWIR2) \quad (1)$$

где Green – значения пикселей из зеленого канала, Red – значение пикселей из красного канала, NIR – значение пикселей из ближнего инфракрасного спектрального канала, SWIR2 – значение пикселей из ближнего инфракрасного коротковолнового канала.

Результатом расчета данного индекса является растр водной поверхности, на котором водные объекты имеют значение пикселей от 1 и выше.

2.3.2 Нормализованный разностный водный индекс NDWI (Normalized Difference Water Index). NDWI используется для отображения влагозапаса в листовном покрове. Также благодаря данному индексу есть возможность определения качественного признака увлажнения растительности. Индекс NDWI вычисляется по формуле:

$$NDWI = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2) \quad (2)$$

Одним из назначений нормализованного разностного водного индекса является выделение поверхностных вод среди заболоченной местности. Благодаря данному индексу можно измерить степень покрытия поверхностными водами. Также NDWI можно использовать для построения оперативных карт.

2.3.3 Модифицированный нормализованный разностный водный индекс (MNDWI). При вычислении индекса MNDWI (Modification of Normalized Difference Water Index) результат выделения водных объектов будет более точным, в отличие от других индексов, в связи с подавлением, в некоторых случаях полным удалением, шумовых эффектов с растительного, водного и почвенного покровов. Индекс MNDWI рассчитывается по формуле:

$$MNDWI = (Green - SWIR2) / (Green + SWIR2) \quad (3)$$

2.3.4 Нормализованный разностный индекс мутности NDTI. Индекс NDTI (Normalized Difference Turbidity Index) является показателем мутности воды. Благодаря вычислению нормализованного разностного индекса мутности можно рассчитать показатель мутности воды. NDTI рассчитывается по формуле:

$$NDTI = (Red - Green) / (Red + Green) \quad (4)$$

После расчета NDTI будут выделены объекты с повышенной влажностью, в связи с высокой чувствительностью к изменению влаги. Данный индекс можно использовать для прогнозирования и предотвращения засухи

2.3.5 Стандартизованный индекс различий увлажненности NDMI. NDMI (Normalized Difference Moisture Index) в основном используется для наблюдения за процессом засухи, в связи с тем, что данный индекс имеет высокую чувствительность к изменению уровня влажности в растительном покрове. Также NDMI можно использовать для определения уровня горючих материалов в пожароопасных зонах. Рассчитывается NDMI по формуле:

$$NDMI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1) \quad (5)$$

где, SWIR1 – значение пикселей из ближнего инфракрасного коротковолнового канала.

2.3.6 Стандартизованный индекс различий снежного покрова NDSI. NDSI (Normalized Difference Snow Index) используется при работе с данными космической съемки спутников MODIS и Landsat TM. В основном данный индекс используется для выделения территорий, покрытых снегом, игнорируя облачный покров. Помимо этого, NDSI используется для прогнозирования половодья. В результате расчета данного индекса получается растр, на котором снег принимает значение пикселей от 0,4 и выше. Рассчитывается стандартизованный индекс различий снежного покрова по формуле:

$$NDSI = (Green - SWIR1) / (Green + SWIR1) \quad (6)$$

При наличии данных разновременной космической мультиспектральной съемки и владении навыками работы с геоинформационными системами можно выделить водные объекты на спутниковых снимках и произвести анализ, опираясь на полученные данные. Отделить водные объекты от суши можно с использованием всех вышеперечисленных индексов, однако в данной работе для анализа водных объектов были использованы индексы MNDWI и WRI [18].

2.4 Программные продукты

Данная работа выполнялась в программном обеспечении QGIS. QGIS является свободной геоинформационной системой с открытым доступом. Данная программа работает на следующих операционных системах: Linux, Unix, Mac OSX, Windows и Android. Также имеется поддержка векторных, растровых форматов, баз данных.

QGIS состоит из двух составных частей. Первая часть является QGIS Desktop. В QGIS Desktop выполняется вся основная работа с геопространственными данными, а именно: создание, редактирование, анализ и публикации геопространственной информации. Второй частью является QGIS Server и QGIS Web Client. С использованием QGIS Web Client имеется возможность публикации в сети проектов, созданных в QGIS Desktop.

При выполнении дипломной работы использовался QGIS Desktop.

Программное обеспечение QGIS предоставляет пользователям широкий спектр возможностей.

2.4.1 Данное программное обеспечение с использованием модуля Processing позволяет производить векторный анализ пространственных данных в различных форматах, поддерживаемых библиотекой данных OGR. QGIS дает возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроцессинга, управления геометрией и базами данных. Помимо этого, имеется возможность

использования интегрированных инструментов GRASS.

2.4.2 Программное обеспечение QGIS дает возможность редактировать и создавать новые векторные данные. После полученный результат можно экспортировать в разные форматы данных. Для того чтобы выполнять данные функции с растровыми данными первым шагом необходимо перевести их в GRASS. Возможности работы с данными:

- инструменты оцифровки для форматов, поддерживаемых библиотекой OGR, и векторных слоёв GRASS;
- создание и редактирование shape-файлов и векторных слоёв GRASS;
- геокодирование изображений с помощью модуля пространственной привязки;
- инструменты GPS для импорта и экспорта данных в формате GPX, преобразования прочих форматов GPS в формат GPX или скачивание/загрузка непосредственно в прибор GPS;
- визуализация и редактирование данных OpenStreetMap;
- создание слоёв PostGIS из shape-файлов с помощью плагина SPIT;
- обработка слоёв PostGIS;
- управление атрибутами векторных данных с помощью новой таблицы атрибутов или модуля Table Manager;
- сохранение снимков экрана как изображений с сохранением пространственной привязки.

2.4.3 В QGIS есть графический интерфейс, благодаря которому можно исследовать пространственные данные и создавать карты. Графический интерфейс состоит из следующих инструментов:

- перепроецирование «на лету»;
- компоновщик карт;
- панель обзора;
- пространственные закладки;
- определение/выборка объектов;
- редактирование/просмотр/поиск атрибутов;
- подписывание объектов;
- изменение символики векторных и растровых слоёв; добавление слоя координатной сетки;
- добавление к макету карты стрелки на север, линейки масштаба и знака авторского права;
- сохранение и загрузка проектов.

2.4.4 Программа QGIS предоставляет доступ к библиотеке, благодаря которой можно создавать новые модули в зависимости от задачи, которую необходимо решить. Дополнительные модули открывают новые возможности, также увеличивается спектр применения данной программы. Есть возможность

создания отдельных приложений с помощью следующих языков программирования.

2.4.5 Одной из возможностей данного программного обеспечения является возможность просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях. Данная возможность не имеет необходимости перевода данных во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

- Пространственные таблицы PostgreSQL с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR.
- Форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой GDAL.
- Форматы World-файла вместе с поддерживаемыми типами растровых изображений.
- Базы данных SpatiaLite.
- Растровый и векторный форматы GRASS.

2.4.6 В QGIS можно экспортировать данные в map-файлы и публиковать полученный результат в сети с использованием встроенного в программу веб-сервера MapServer. Есть возможность использования программного обеспечения QGIS в качестве клиента WMS (Web Map Service) / WFS (Web Feature Service) или же сервиса WMS (Web Map Service) [19, 20].

При выполнении данной дипломной работы были применены практически на практике практически все возможности, которые предоставляет данное программное обеспечение.

3 Анализ изменения русла реки Сырдарья

Анализ изменения береговой линии реки Сырдарья произведен с использованием снимков со спутников Landsat 7 (2000 г., 2005 г., 2010 г.), Landsat 8 (2015 г., 2020 г.).

3.1 Получение космических снимков

Для проведения исследования первым шагом были получены интересующие снимки, через сервис Glovis. EarthExplorer это сервис USGS, через который осуществляется получение самих данных.

3.1.1 Регистрация на сайте. Первым шагом произведена регистрация на сайте геологической службы США.

3.1.2 Настройка параметров. Далее была произведена настройка параметров для космических снимков. Найдена необходимая территория близ города Кызылорды. Следующим шагом во вкладке Search Criteria указана допустимая облачность: 0%–10%, выбран интересующий промежуток времени. На рисунке 9 показано выполнение поиска космических снимков на сайте Earth Explorer.

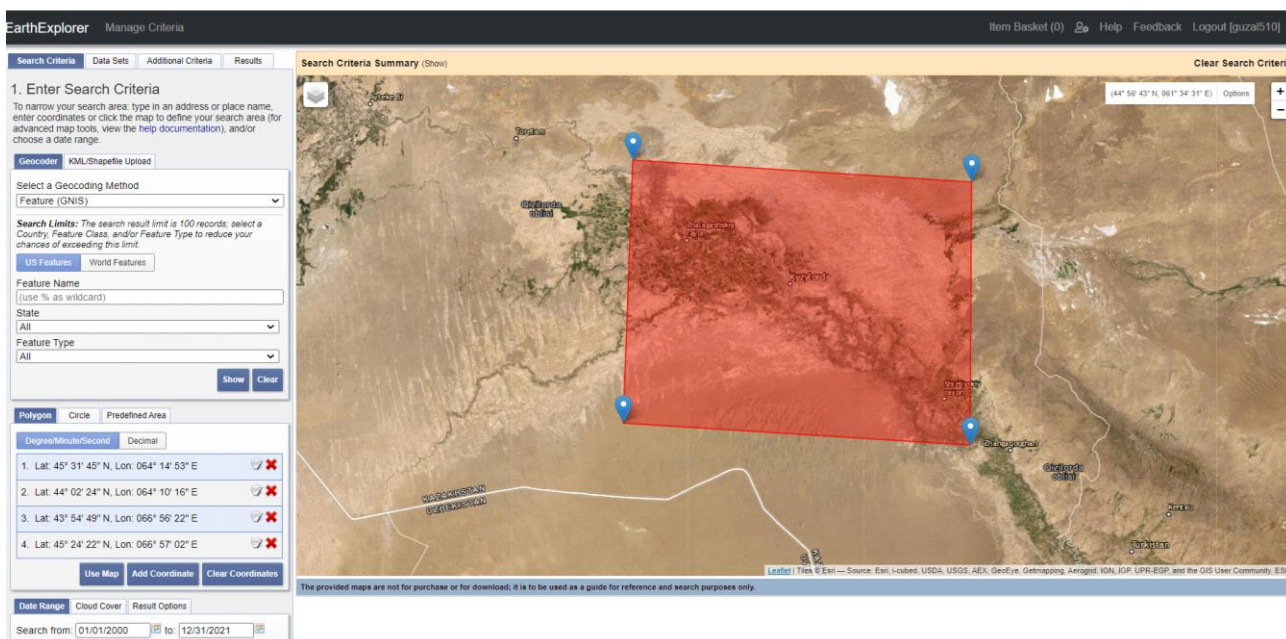


Рисунок 9 – Настройка параметров для поиска космических снимков.

Во вкладке Data Sets выбраны следующие наборы данных:

- 2000 год: Landsat 7 ETM+ C1 Level-1.
- 2005 год: Landsat 7 ETM+ C1 Level-1.
- 2010 год: Landsat 7 ETM+ C1 Level-1.
- 2015 год: Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1.

– 2020 год: Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1.

3.1.3 Отбор подходящих снимков. Во вкладке Results отображен список найденных космических снимков, которые подходят под заданные параметры. Нажав на снимок, открывается окно с полной информацией о данном космическом снимке. Из полученного списка были отобраны и выбраны оптимальные снимки. На рисунке 10 показано окно с информацией о космическом снимке.

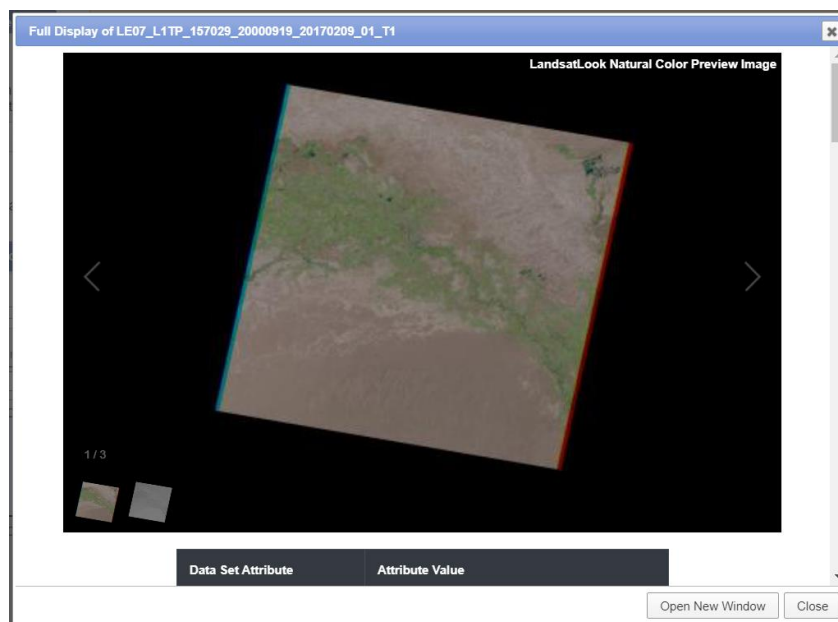


Рисунок 10 – Окно с информацией о космическом снимке

3.1.4 Загрузка космических снимков. После того как снимки выбраны, была нажата кнопка Download Options, в открывшемся меню, которое показано на рисунке 11, выбираем формат скачивания Level 1 GeoTIFF Data Product.

Level 1 GeoTIFF Data Product – это несжатые GeoTIFF данные, которые имеют большой размер, который обычно достигает одного гигабайта. При загрузке данные файлы имеют формат tar.gz. При разархивировании данного файла будут доступны космические снимки в 11 спектральных каналах в формате .tif и один файл в формате .txt с мета-информацией.

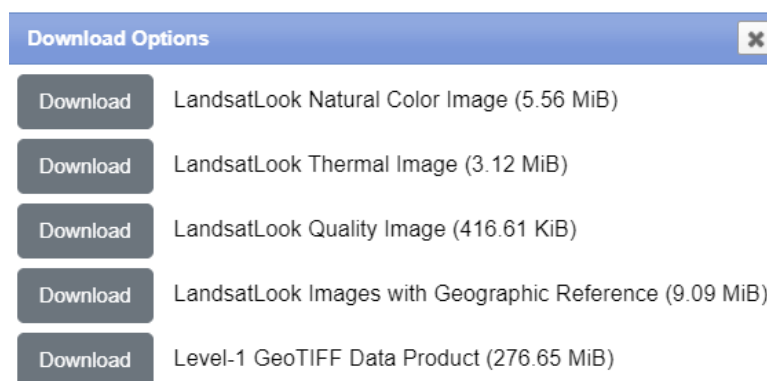


Рисунок 11 – Опции загрузки космических снимков

3.2 Удаление черных полос со снимков Landsat 7 ETM+

Далее работа производилась в программном обеспечении QGIS. В связи с тем, что космические снимки, сделанные космическим аппаратом Landsat 7 ETM+ после 31 мая 2003 года, имеют такой дефект как CLS-off, или же, другими словами, черные полосы, которые расширяются от центра к краям, где изображение отсутствует.

На участках, где есть черные полос, данные отсутствуют, значение пикселей равно 0. С целью устранения этих пробелов проведена интерполяции с учетом соседних пикселей, которые содержат реальные значения. Интерполяция проведена с использованием инструмента для анализа растра: Заполнение пустот. Для этого произведен переход по команде: Растр – Анализ – Заполнить пустоты. В открывшемся окне в качестве исходного слоя выбран космический снимок; задано максимальное расстояние в пикселях для поиска значений для интерполяции, равное 10; в качестве маски используется маска, которая находится в папке gap_mask; в окне Результат заполнения, указан путь к папке для сохранения результата заполнения пустот. Затем нажата кнопка Выполнить. На рисунке 12 проиллюстрировано окно заполнения пустот.

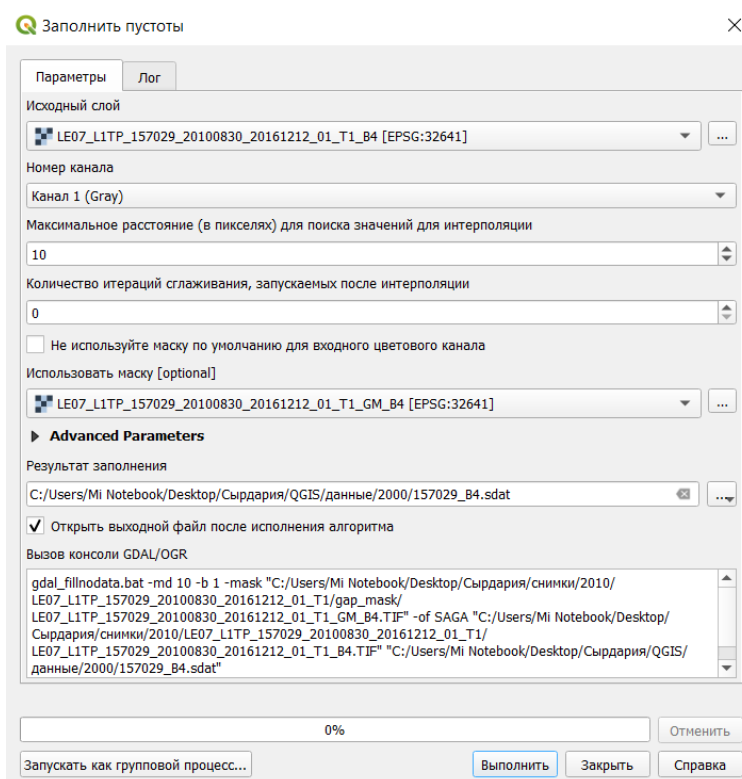
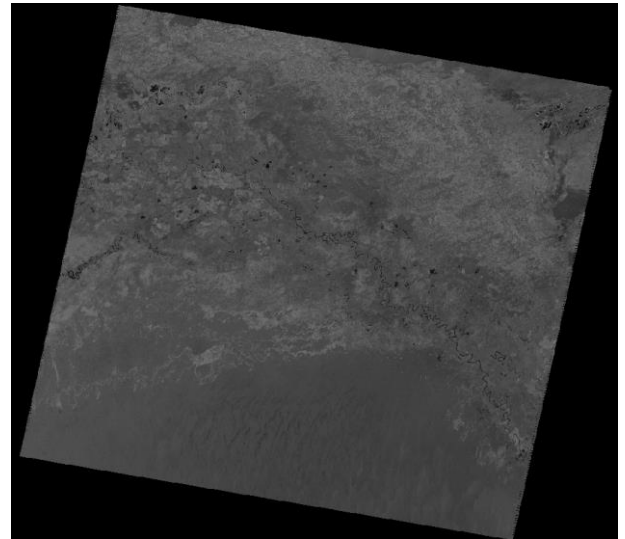
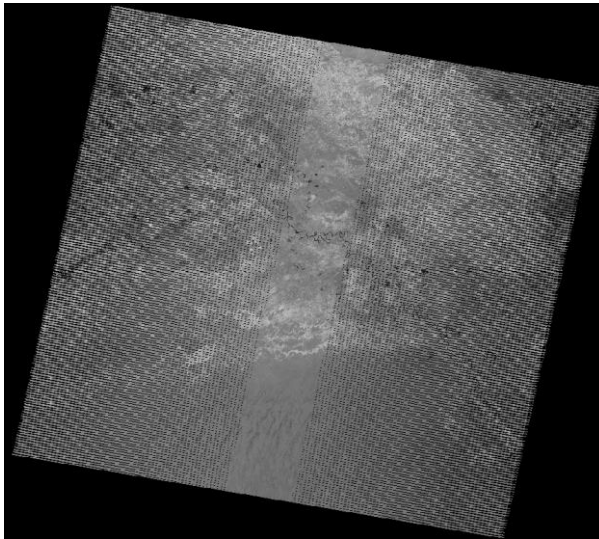


Рисунок 12 – Окно заполнения пустот

После данных действий был получен результат заполнения пустот, который показан на рисунке 13б. Для каждой ячейки, значение которой было равно 0, вычислено значение на основе оценки соседних вокруг нее ячеек. Такая работа проделана с каждым спектральным каналом, который будет использоваться в процессе анализа.



а)

б)

Рисунок 13 – Космический снимок Landsat 7 ETM+ за 2010 год а) до заполнения пустот б) после заполнения пустот

Результат заполнения пустот показан в Приложении Б.

3.3 Предобработка космических снимков

На следующем этапе была произведена предобработка космических снимков с использованием модуля SCP, для улучшения космических снимков. Для этого произведен переход по команде: SCP – Preprocessing – Landsat.

В открывшемся окне в разделе Directory containing Landsat bands указан путь к папке, где находятся данные Landsat. Все лишние снимки были удалены. На рисунке 14 показано окно Semi–Automatic Classification Plugin.

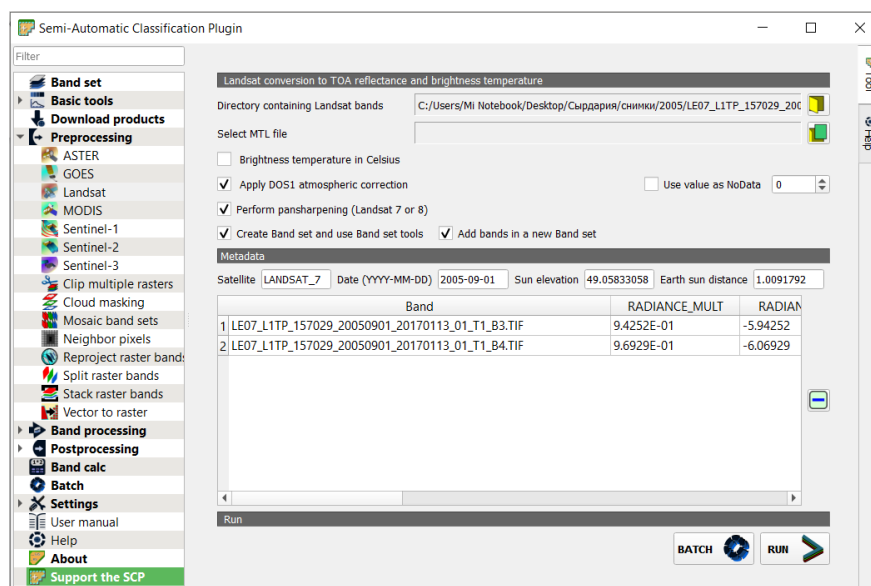
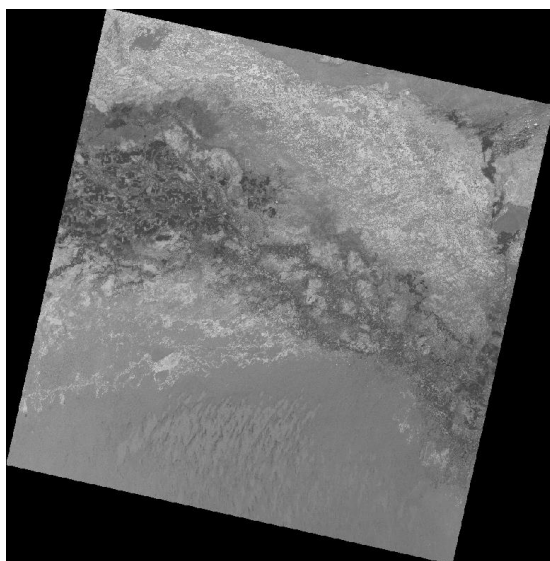


Рисунок 14 – Окно Semi–Automatic Classification Plugin

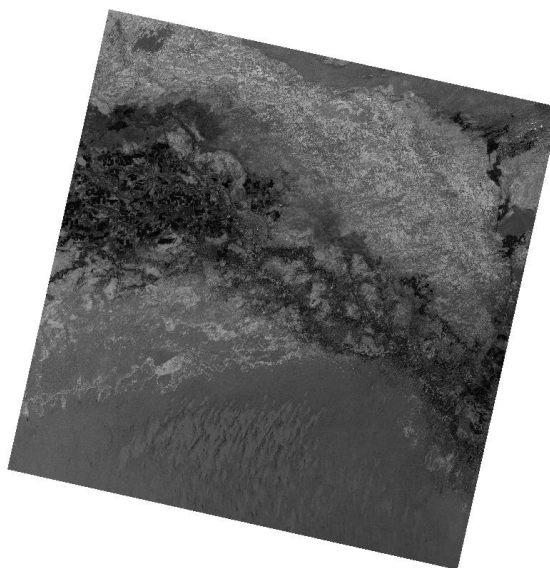
Затем заданы следующие параметры:

- Brightness temperature in Celsius, или же яркостная температура в градусах цельсия – функция отключена, так как в данной работе не использовался тепловой канал.
- Apply DOS1 atmospheric correction, или же применение атмосферной коррекции DOS 1 – функция включена, так как коррекция за влияние атмосферы определяет расположение диапазонов съемки за счет окон прозрачности.
- Perform pansharpening (Landsat 7 or 8), или же увеличение разрешения – функция включена.
- Create Band set and use Band set tools, или же создание набора спектральных каналов и использование инструментов набора спектральных каналов – функция включена.
- All Bands in a new Band set, все группы спектральных каналов в новом наборе групп – функция включена.
- Use value as NoData – данная функция включена для удаления черного фона.

Далее была нажата кнопка RUN, в открывшемся окне указан путь к папке, в которую будут сохранены данные. После данных действий получен результат предобработки космических снимков, который показан на рисунке 15б. Результат предобработки показан в Приложении В.



а)



б)

Рисунок 15 – Космический снимок Landsat 8 OLI/TIRS за 2015 год
а) до предобработки б) после предобработки

Произведено комбинирование мультиспектральных каналов Landsat 8. Для этого был произведен переход по команде: SCP – Band set.

Комбинация 7, 6, 4 спектральных каналов, показанная на рисунке 16а, дает изображение близкое к естественным цветам. Также с использованием

данной комбинации можно анализировать состояние атмосферы и дым. Растительный покров отображается в зеленых и темно-зеленых цветах. При данной комбинации четко выделяется береговая линия, ярко выражаются водные объекты.

Комбинация 5, 4, 3 спектральных каналов дает изображение с искусственными цветами, которое показано на рисунке 16б. При данной комбинации четко выделяется береговая линия. Растительный покров отображается в красных оттенках, а цвет почвы изображается в различных оттенках коричневого цвета [21].



а)



б)

Рисунок 16 – Комбинирование каналов Landsat 8
а) 7, 6, 4 б) 5, 4, 3

3.4 Расчет индексов MNDWI и WRI

Затем, с использованием инструмента «Калькулятор растров» произведен расчет модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI по формуле 3.

В соответствии с Приложением А произведен подбор каналов космоснимков Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI/TIRS.

Вычисление модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI базируется на методе математического сравнения количества поглощенного ближнего инфракрасного света и отраженного зеленого света. Для расчета модифицированного стандартизованного индекса различий воды был произведен переход по следующей команде: Растр – Калькулятор растров. Затем в калькулятор растров была введена формула 3 для расчета MNDWI, как показано на рисунке 17.

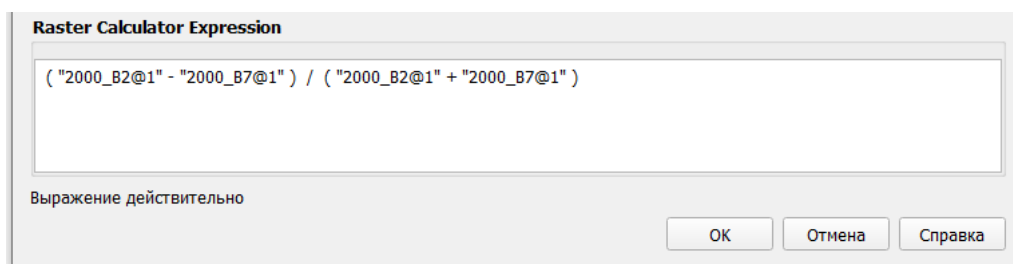


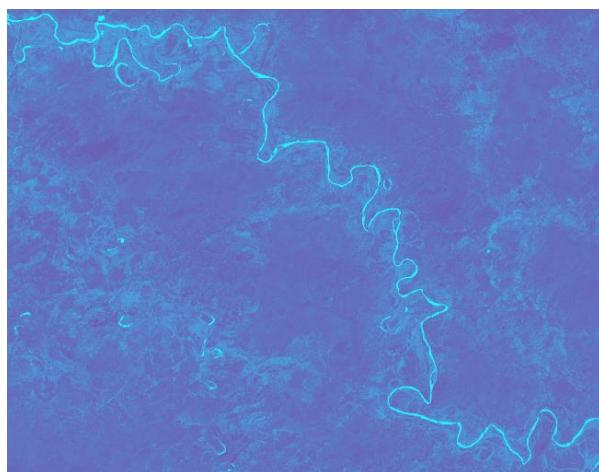
Рисунок 17 – Калькулятор растров

Во вкладке Слой результатов, указан путь к папке, в которую необходимо сохранить результат расчета MNDWI. Далее для получения результата расчета индекса была нажата кнопка ОК. Результат расчета индекса MNDWI показан на рисунке 18а. На рисунке 18а можно заметить, как отчетливо выражены очертания береговой линии реки Сырдарьи. Результаты расчета MNDWI представлены в Приложении Г.

Далее, для сравнения, также рассчитан водный индекс WRI по формуле 1.

Спектральные каналы были подобраны в соответствии с Приложением А.

Результат расчета WRI за 2000 год показан на рисунке 18б. Результаты расчета водного индекса за 2000, 2005, 2010, 2015 и 2020 годы продемонстрированы в Приложении Д.



а)



б)

Рисунок 18 – Результат расчета индекса: а) MNDWI (2000 год)
б) WRI (2000 год)

3.5 Обрезка космического снимка

Следующим шагом произведена обрезка растров до исследуемого участка. Для этого был создан слой Shapefile: Слой – Создать слой – Создать слой Shapefile. Затем, включив режим редактирования, был выделен интересующий участок. На рисунке 19 можно увидеть расположение исследуемого участка реки Сырдарьи на космическом снимке.

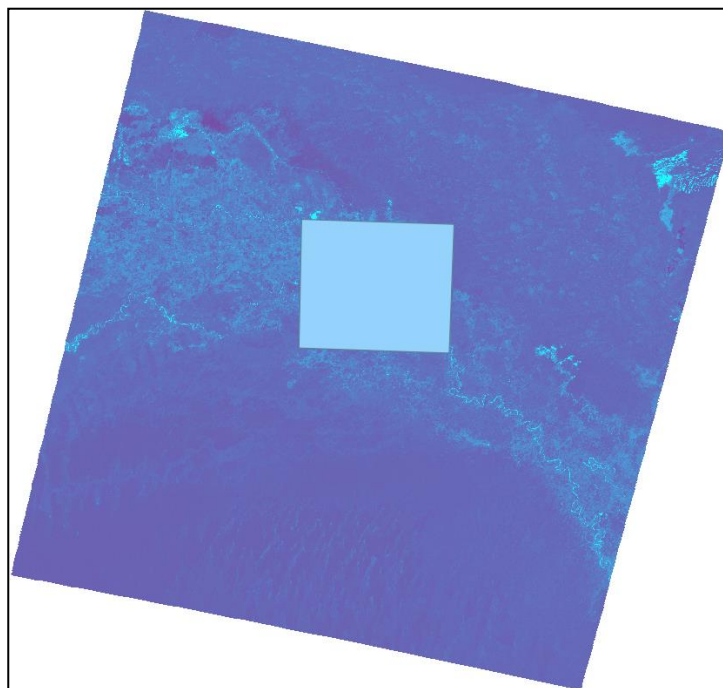


Рисунок 19 – Рассматриваемый участок реки Сырдарьи

После данных действий, для обрезки снимка, был выполнен переход по команде: Растр – Извлечение – Обрезать растр по маске. В открывшемся окне исходным слоем задается слой, с вычисленным NDVI. Слой маски задается созданный слой Shapefile, на котором выделен исследуемый участок реки. Исходной и целевой системами координат указана система координат проекта. В пункте Результат обрезки (по маске), указан путь к папке сохранения результата. Далее для получения результата нажата кнопка Выполнить. Результат обрезки растра по маске показан на рисунке 20.

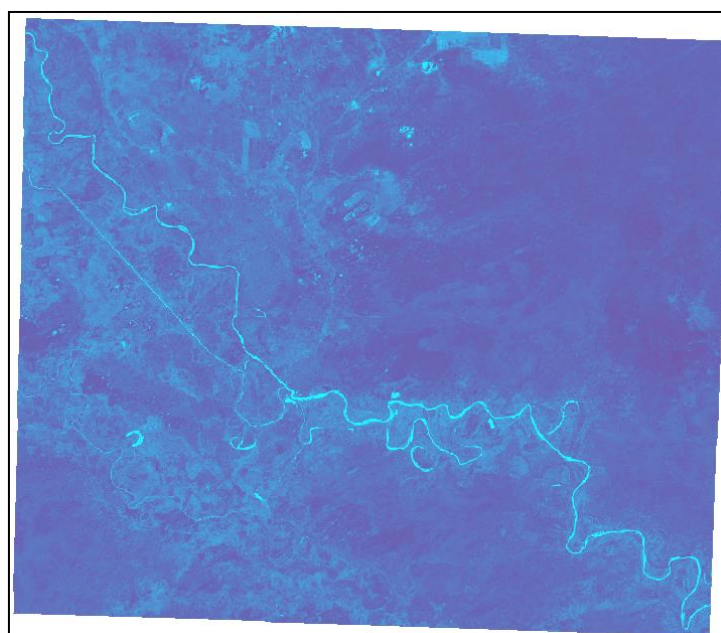


Рисунок 20 – Результат обрезки растра по маске

3.6 Выделение водных объектов

Для выделения водных объектов на снимке, необходимо знать, после вычисления водного индекса WRI, вода приобретает значения больше единицы. В то время как после расчета модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI, водные объекты имеют значения больше нуля.

Водные объекты на снимках с рассчитанным MNDWI были выделены, с использованием инструмента «Калькулятор растров». Для этого был произведен переход по команде: Растр – Калькулятор растров. В открывшемся окне, для выделения воды, была введена следующая формула:

$$\text{MNDWI} < 0 \quad (7)$$

После нажата кнопка Ок и получен результат выделения водных объектов, который продемонстрирован на рисунке 21а.

Такая же работа проделана для снимков с рассчитанным водным индексом WRI. Однако в Калькуляторе растров введена следующая формула:

$$\text{WRI} < 1 \quad (8)$$

Результат выделения водных объектов на снимке с рассчитанным WRI показан на рисунке 21б.

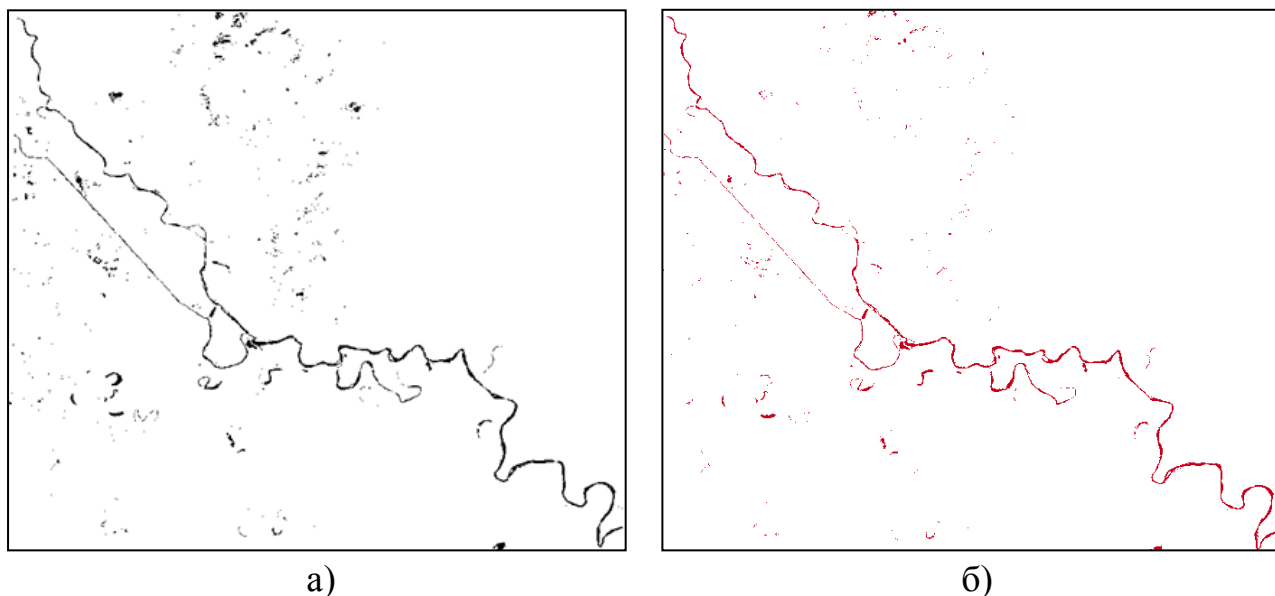


Рисунок 21 – Результат выделения водных объектов на снимке с рассчитанным
а) MNDWI (2020 год) б) WRI (2020 год)

Сравнив полученные результаты выделения водных объектов, можно заметить, что модифицированный стандартизованный индекс различий воды MNDWI точнее выделяет водные объекты, чем водный индекс WRI. На рисунке

22 показан результат выделения водных объектов тремя способами на примере космического снимка, полученного с помощью данных космического аппарата Landsat 8 за 2015 год. На рисунке 22а показано комбинирование 7, 6 и 4 спектральных каналов. На рисунке 22б показано выделение водных объектов с использованием индекса MNDWI, а на рисунке 22в с помощью индекса WRI.

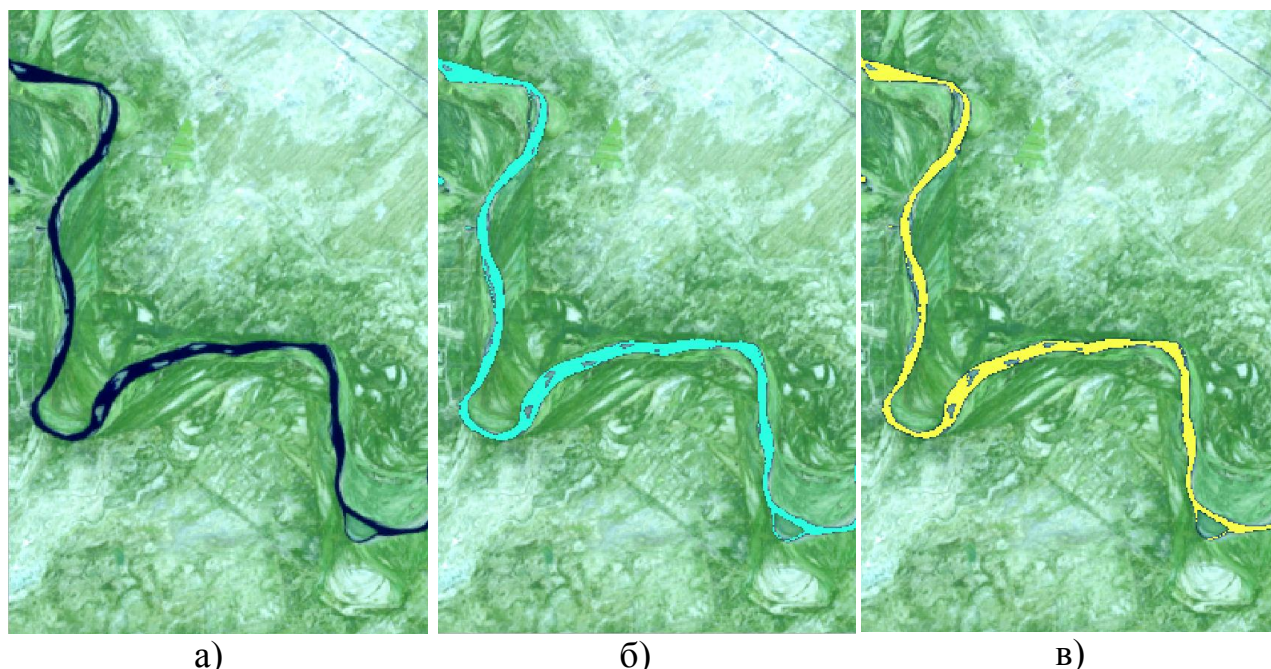


Рисунок 22 – Результат выделения водных объектов (2015 год):
а) комбинирование 7, 6, 4 спектральных каналов б) MNDWI в) WRI

3.7 Преобразование растра в вектор

С целью получения данных о площади, занимаемой рекой, растровое изображение реки было преобразовано в векторное. Для этого произведен переход по команде: Растр – Преобразование – Создание полигонов (растра в вектор). В открывшемся окне выбран исходный слой с выделенными водными объектами. Следующим шагом указан путь к папке, куда будет сохранен векторизованный файл.

Далее произведено редактирование векторного слоя, удалена рамка снимка. Для этого был выбран слой, который необходимо отредактировать. Затем в инструментах оцифровки был включен режим редактирования нажатием на кнопку Toggle Editing. Впоследствии в Selection Toolbox выбран инструмент Select Features by Area of Single Click. Далее выделена рамка снимка и нажата кнопка Удалить выделенное в инструментах оцифровки. Тем самым произведено удаление рамки. Следующим шагом необходимо сохранить результат переходом по команде: Текущие правки – Сохранить для выделенных слоев. На рисунке 23 показан результат преобразования растра в вектор, который был произведен с целью получения информации из векторного файла

для дальнейшего проведения анализа.

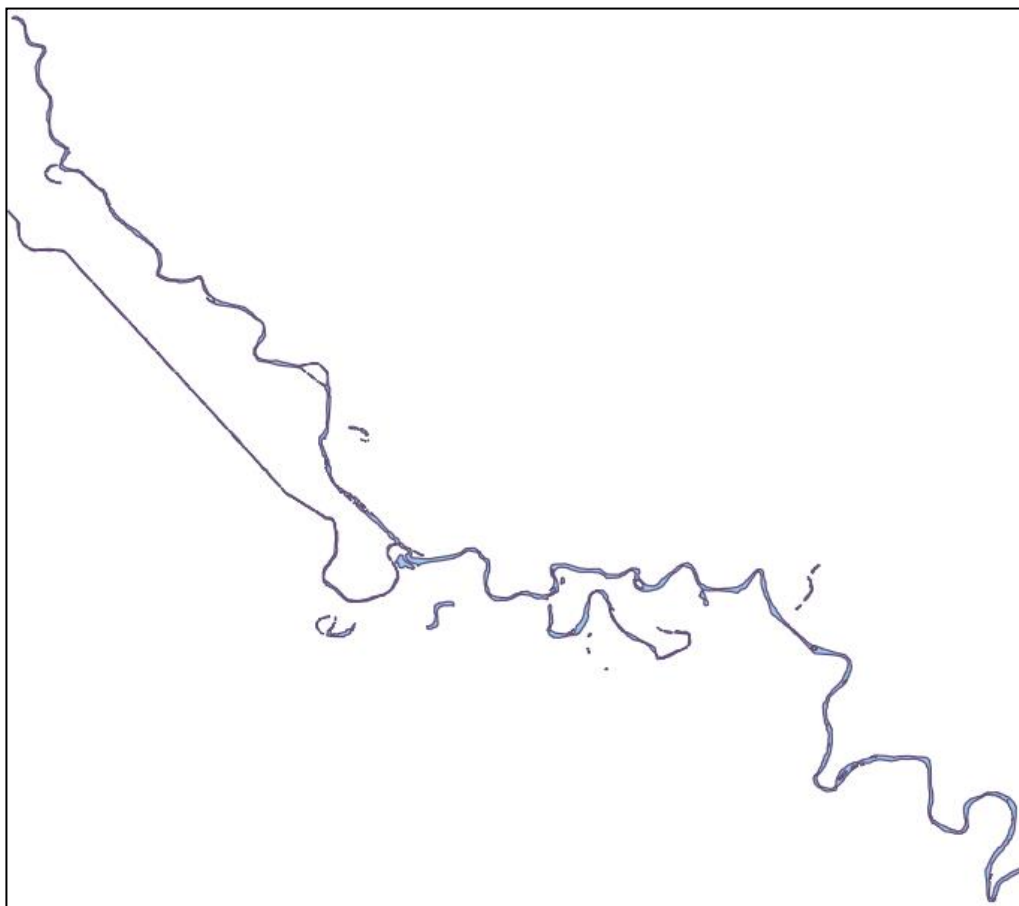


Рисунок 23 – Результат преобразования раstra в вектор

3.8 Получение данных для анализа

3.8.1 Определение ширины реки. Для определения ширины реки на пяти участках, были созданы слои Shapefile (для каждого года отдельный) с линейными объектами переходом по команде: Слой – Создать слой – Создать слой Shapefile. После был включен режим редактирования, нажатием на кнопку Toggle Editing и выполнено измерение ширины Сырдарьи. Далее открыта таблица атрибутов, нажатием правой кнопки мыши по слою, выбрана команда Открыть таблицу атрибутов, в открывшейся таблице был открыт калькулятор полей, нажатием на кнопку Открыть калькулятор полей. В калькуляторе полей в разделе Поле введено название создаваемого поля, Тип: Десятичное число, Размер: 10, Точность: 3. Во вкладке Выражение, выбрано следующее выражение: \$length. Далее для добавления нового поля с заданными параметрами, была нажата кнопка ОК. После данных действий получен результат расчета ширины реки на пяти разных участках. На рисунке 24 изображен калькулятор полей.

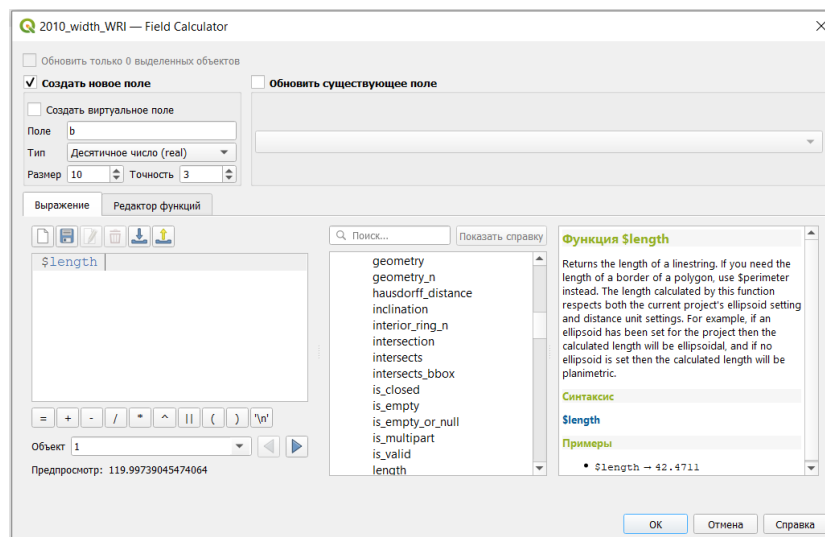


Рисунок 24 – Калькулятор растров (расчет ширины реки)

3.8.2 Определение площади, занимаемой рекой на исследуемом участке Сырдарьи. Для определения площади использованы векторные полигональные данные, на которых отображена река, Первым шагом была открыта атрибутов, нажатием правой кнопкой мыши по интересующему слою. Далее в открывшейся таблице атрибутов включен режим редактирования, нажатием на кнопку Режим редактирования. После данных действий открыт калькулятор полей, нажатием на кнопку Калькулятор полей. В открывшемся окне создается новое поле. В разделе Поле введено название создаваемого поля, Тип: Десятичное число, Размер: 10, Точность: 9. Для определения площади, во вкладке выражение вводится формула: \$area. Однако полученные данные будут вычислены в квадратных метрах, чтобы получить площадь реки в квадратных километрах введена формула: \$area /1000000. Далее для создания поля, с рассчитанной площадью, нажата кнопка ОК. На рисунке 25 показан калькулятор полей.

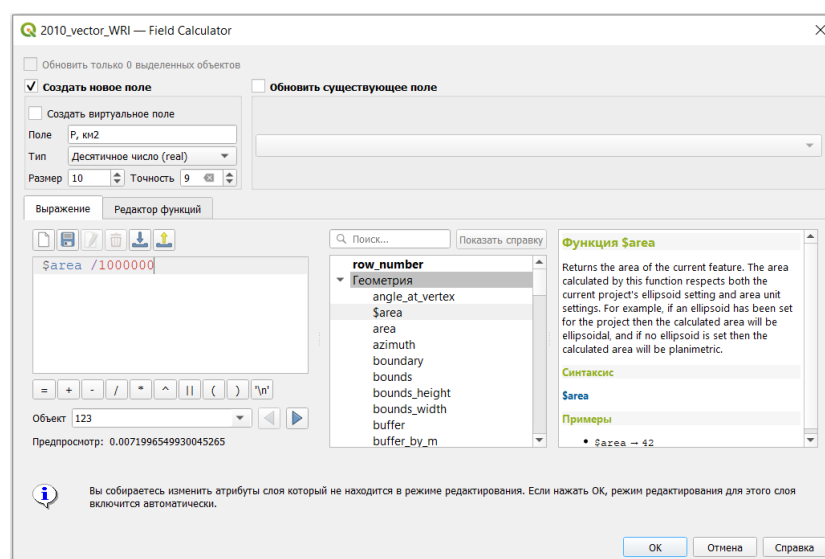


Рисунок 25 – Калькулятор растров (расчет площади реки)

После данных действий, в таблице атрибутов, в созданном поле получена информация о площади каждого отдельного полигона в квадратных километрах. Для получения общей площади использовался векторный анализ. Произведен переход по команде: Вектор – Анализ – Базовая статистика для полей. В открывшемся окне исходным слоем выбран слой с рассчитанной площадью, полем для расчета статистики выбрано поле, созданное в калькуляторе растров. Далее нажата кнопка Выполнить. После данных действий в открывшемся окне в пункте SUM получено значение площади. После данных действий получен результат расчета площади.

3.9 Результат анализа

Результаты анализа приведены в таблице 1, где представлены изменения ширины реки Сырдарьи на выбранных участках по с 2000 по 2020 годы, с периодом 5 лет. В данной таблице сравниваются значения ширины реки, полученные с использованием водного индекса WRI и модифицированного стандартизованного индекса различий воды MNDWI

Таблица 1 – Измерение ширины реки Сырдарьи (м)

Год	2000		2005		2010		2015		2020	
Индекс №	WR I	MNDW I	WR I	MNDW I	WR I	MNDW I	WR I	MNDW I	WR I	MNDW I
1	120	120	120	120	120	120	90	90	90	90
2	180	120	240	210	180	180	120	120	150	150
3	120	90	180	210	210	270	180	210	150	150
4	210	210	210	240	150	150	150	150	150	180
5	90	120	150	150	120	120	120	120	120	120

На рисунке 26 проиллюстрированы данные из таблицы 1 в виде диаграммы. На данной диаграмме показана не только динамика изменения ширины реки, но также производится сравнение значений ширины, полученных с использованием двух индексов MNDWI и WRI, на 5 разных участках реки.

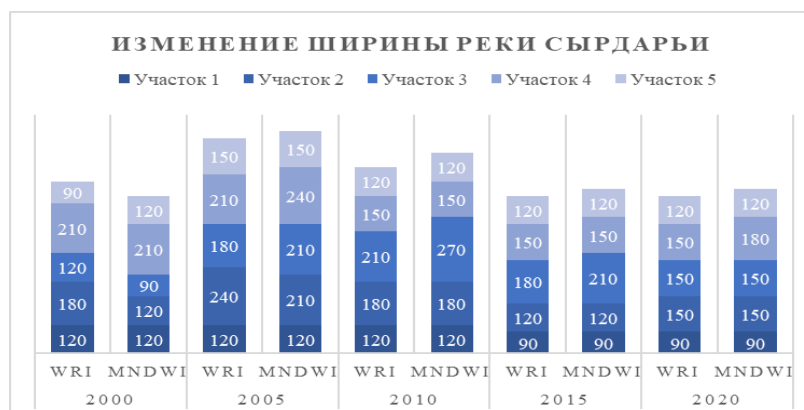


Рисунок 26 – Изменение ширины реки Сырдарьи на разных участках за 20 лет (Диаграмма)

На первом участке, можно отметить, что значения, полученные с помощью двух индексов, не отличаются. Первые 10 лет ширина реки была стабильна и составляла 120 метров. Однако дальше уменьшилась в размерах на 30 метров, и в дальнейшем ширина на данном участке составляла 90 метров.

На втором участке значения ширины в 2000 и 2005 годах отличаются. В 2000 году данные, полученные с использованием WRI, превышают MNDWI на 60 метров. В 2005 году также значение WRI больше MNDWI, но на 30 метров. С 2010 по 2020 годы на втором участке значения индексов не отличаются. Тенденция изменения ширины реки в случае обоих индексов остается неизменной. В период с 2000 по 2005 годы ширина реки на данном участке увеличилось, однако в 2010 стала меньше. Далее до 2015 года сократилась в размерах на 60 метров, но в 2020 увеличилась на 30 метров.

На третьем участке значения индексов отличаются в 2000 году, водный индекс WRI на 30 метров больше индекса MNDWI. В 2005 и 2015 годах значение индекса MNDWI больше значения WRI на 30 метров. В 2010 году ширина реки, рассчитанная с помощью индекса MNDWI больше на 60 метров, чем ширина реки, рассчитанная с помощью индекса WRI. Тенденция изменения ширины Сырдарьи неизменна в обоих случаях. С 2000 года по 2010 год ширина реки увеличивается, далее до 2020 года сокращается.

На четвертом участке значения индексов отличаются в 2005 и 2020 годах. В 2005 и 2020 годах ширина реки, рассчитанная с использованием индекса MNDWI, больше на 30 метров, чем ширина, рассчитанная с помощью водного индекса WRI. Тенденция изменения ширины реки также отличается. Если рассматривать данные, полученные при использовании индекса WRI, можно отметить, что в 2000 и 2005 годах ширина реки остается неизменной и составляет 210 метров, далее идет на спад в 2010 году. В 2010, 2015 и 2020 годах остается неизменной: 150 метров. В случае, где данные получены с использованием индекса MNDWI, тенденция изменения Сырдарьи немного меняется. В 2005 году, по сравнению с 2000 годом ширина реки увеличилась на 30 метров, далее в 2010 году резко сократилась на 90 метров. Далее ширина реки на данном участке стабильна и до 2020 года составляет 150 метров.

На пятом участке отличие между значениями индексов есть только в 2000 году, разница составляет 30 метров. Тенденция изменения ширины реки на данном участке остается неизменной. В 2005 году ширина реки увеличивается, далее в 2010 году идет на спад и остается стабильной до 2020 года.

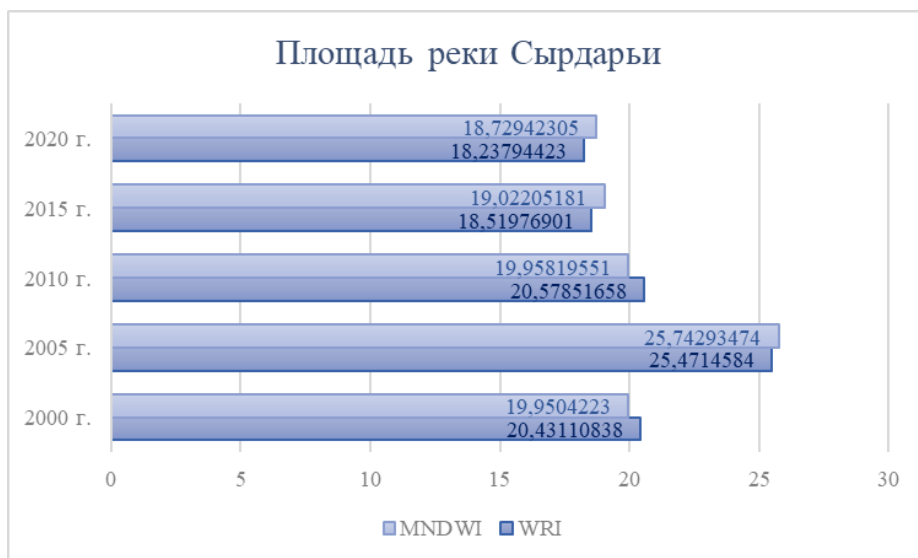
В Приложении Е показана динамика изменения реки Сырдарьи на пяти участках в масштабе 1:100000. В Приложении Ж показана динамика изменения реки Сырдарьи в масштабе 1:350000.

В таблице 2 приведены результаты расчета площади, полученные с использованием индексов WRI, MNDWI, также среднее арифметическое двух значений площади, полученных при помощи данных индексов.

Таблица 2 – Площадь исследуемого участка реки Сырдарьи (км²)

Индекс Год	WRI	MNDWI	Среднее значение площади
2000 г.	20,431108	19,950422	20,190765
2005 г.	25,471458	25,742935	25,607196
2010 г.	20,578517	19,958196	20,268356
2015 г.	18,519769	19,022052	18,77091
2020 г.	18,237944	18,729423	18,483684

На рисунке 27 проиллюстрирована диаграмма с данными из таблицы 2. На которой можно обнаружить, что значения площади, полученные с использованием индексов WRI и MNDWI несколько отличаются. В 2000 и 2010 годах площадь реки Сырдарьи, рассчитанная с использованием водного индекса больше, площади, рассчитанной с использованием индекса MNDWI. Тем не менее в 2005, 2015 и 2020 годах значения площади реки, полученные с использованием индекса MNDWI, больше.

Рисунок 27 – Площадь реки Сырдарьи, км² (Диаграмма)

Однако, тенденция изменения сохраняет стабильность. В первом временном промежутке 2000–2005 годы, площадь увеличилась и достигла максимальной отметки. Далее площадь реки пошла на спад, минимального значения достигла в 2020 году. Так как тенденция осталась неизменной, дальнейший анализ произведен по среднему значению площади.

В промежутке с 2000 по 2005 годы площадь реки увеличилась на 5,416431 км². В 2005 году площадь Сырдарьи достигла максимального значения 25,607196 км². Однако, далее пошла на спад и к 2020 году сократилась на 7,123513 км², что составляет 27,818% от максимального значения.

На рисунке 28 можно наглядно проследить динамику изменения русла реки Сырдарьи за 20 лет. В 2010 году русло реки Сырдарьи начало деформироваться, причиной этому может служить обмеление данной реки.

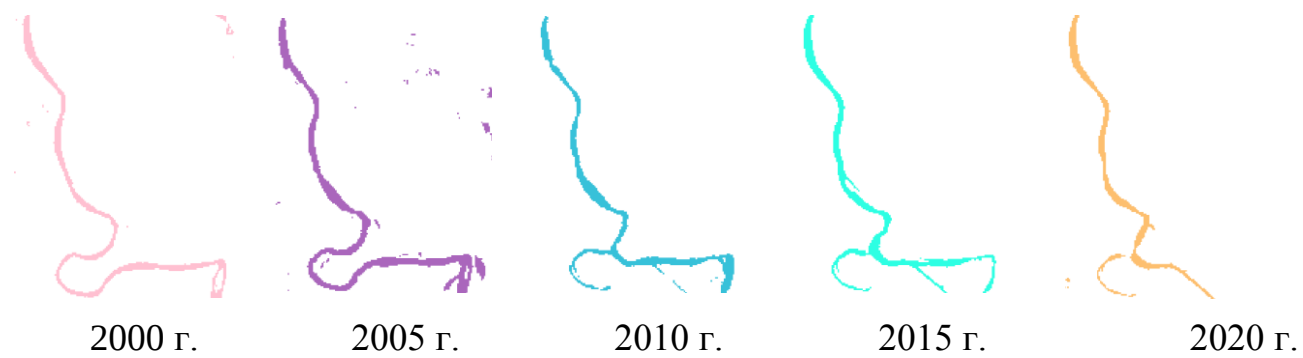


Рисунок 28 – Динамика изменения русла реки Сырдарьи (NMDWI)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение площади реки Сырдарьи в 2020 году меньше максимального значения площади на 7,123513 квадратных километра, что составляет 27,818%. При сохранении данной тенденции обмеления, исследуемый участок реки Сырдарьи иссохнет через 38 лет и 11 месяцев, что говорит о наличии экологической проблемы. Чтобы избежать подобного негативного последствия необходимо принять меры по сохранению полноводного потока реки Сырдарья. В частности, рекомендуется найти более экологичные способы орошения рисовых полей и добывать песок и щебень на Карадарье более щадящим и экологически безопасным методом.

Цель данной работы была достигнута, посредством решения следующих задач. Во-первых, была разработана технология выделения водных объектов на космических снимках в программном обеспечении QGIS. Также были определены количественные характеристики русла реки Сырдарьи. В соответствии с полученными количественными характеристиками реки, дана оценка будущему исследуемой реки, с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В процессе выполнения данной дипломной работы были Улучшены навыки владения программным обеспечением QGIS.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сырдарья (река) // Планета Земля историческая география [Электронный ресурс] // URL: <https://geosfera.org/aziya/1591-syrdarya.html>
- 2 Жанбеков Х.Н., Мукатаева Ж.С., Байсеитова Ж.Н. Экологические проблемы в низовьях реки Сырдарьи // Электронная версия на сайте http://nbllib.library.kz/elib/library.kz/Jurnal/v_2007_3/Janbekov0703.pdf
- 3 Бурлибаев М.Ж., Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Арало–Сырдарьинский бассейн (гидроэкологические проблемы, вопросы вододеления). Алматы, 2001. –180 с
- 4 Дистанционное зондирование из космоса // Paititi Research [Электронный ресурс] // URL: <https://paititi.info/ru/tehnologija-poiskov/distancionnoe-zondirovanie-iz-kosmosa/>
- 5 Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1. Москва: Техносфера, 2010. –560 с
- 6 Панасюк М.В., Сафиоллин Ф.Н., Логинов Н.А., Пудовик Е.М. Картография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Учебное пособие. Казань: Казанский федеральный университет, 2018. // Электронная версия на сайте https://kpfu.ru/portal/docs/F564721785/Panasyuk.M.V..Safiollin.F.N..Loginov.N.A..Pudovik.E.M..Uchebnoe.posobie.Kartografiya_.fotogrammetriya.i.DZZ_konvertirovan.pdf
- 7 Пьянков С.В., Бузмаков С.А., Калинин Н.А., Назаров Н.Н., Копытов С.В. Цифровая география. Том 1. Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии. Пермь, 2020. –477 с // Электронная версия на сайте https://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2020/09/04/chervyakov_2020_perm.pdf
- 8 Методы дистанционного зондирования Земли // Лекции.Ком [Электронный ресурс] // URL: <https://lektsii.com/1-58988.html>
- 9 Измestьев А.Г. Дистанционные методы зондирования Земли. Кемерово: КузГТУ, 2016. –58 с // Электронная версия на сайте <https://portal.kuzstu.ru/file/view/49485.pdf>
- 10 Лаврова Н.П. Космическая фотосъемка. Москва: «Недра», 1983. 288 с // Электронная версия на сайте https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/lavrova/kosmicheskaya/lavrova_kosmicheskaya_1983.pdf
- 11 Космическая съемка // Пространственные данные [Электронный ресурс] // URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/#optic-details>
- 12 Михайлов А.П., Эдгар Рубен Монтель Андраде Фотограмметрический метод мониторинга состояния морских и океанских побережий по материалам аэрофотосъемки. Москва, 2012 // Электронная версия на сайте

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24170625_95250832.pdf

13 Берлянт А.М. Картографический метод исследования. Москва: МГУ, 1970. –251 с

14 Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия. Москва: «Недра», 1993. –596 с

15. Ащеулов В.А. Применение спутниковых навигационных систем в геодезии. Учебное пособие. Новосибирск: НИИГАиК, 1993. –82 с

16 Ознамец В.В., Дегбенъон Овивоссу Пьеретт Аурель Геодезическое обеспечение мониторинга береговой линии. Москва: МГУГиК, 2018 // Электронная версия на сайте <http://www.miiigaik.ru/upload/iblock/6eb/6ebfd5cd7e82661c6f4596e2edcf20e0.pdf>

17 Михайлов А.П. Фотограмметрическая обработка стереопар снимков, полученных съемочными камерами со шторно–щелевыми затворами. Москва, 1990 // Электронная версия на сайте https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27314943_95991036.pdf

18 Морозова В.А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования // Электронная версия на сайте <https://terjournal.ru/2019/id85/>

19 QGIS Desktop testing User Guide. <https://docs.qgis.org/testing/pdf/en/QGIS-testing-DesktopUserGuide-en.pdf>

20 Гурьянова Л.В. Введение в ГИС. Минск: БГУ, 2008. –135 с // Электронная версия на сайте <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/15309/1/Введение%20в%20ГИС.pdf>

21 Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ // GIS LAB Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс] // URL:<https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>

22 Использование данных ДЗЗ из космоса для мониторинга водных объектов // Геопрофи 5'2009 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.geoprofi.ru/default.aspx?mode=binary&id=1126>

23 Усачев В.Ф. Рекомендации по использованию аэрокосмической информации при изучении руслового процесса. Ленинград, 1985. –88 с // Электронная версия на сайте <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/41/41546/index.htm>

24 Коберниченко В.Г., Иванов О.Ю., Зраенко С.М., Сосновский А.В., Тренихин В.А. Обработка данных дистанционного зондирования Земли: Практические аспекты. Учебное пособие. Екатеринбург: Уральский университет, 2013. –168 с // Электронная версия на сайте https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/46986/1/978-5-7996-0867-5_2013.pdf

25 Токарева О.С. Обработка и интерполяция данных дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие. Томск: Тоский политехнический университет, 2010. –148 с // Электронная версия на сайте <https://zzapomni.com/tokareva-obrabotka-i-interpretaciya-2010-14610/1>

26 Волынец Е.И., Волынец А.В., Паниди Е.А. Обнаружение береговой линии по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения. Санкт–Петербург: СПбГУ, 2020. // Электронная версия на сайте https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44103778_15873238.pdf

27 Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям. Томск, 2017. // Электронная версия на сайте <https://journal.tusur.ru/storage/97950/22-Катаев-Бекеров.pdf?1516335216>

28 Калимуллина Г.И. Применение разновременных космических снимков Landsat для установления береговых линий (границ) водных объектов. Казань: КФУ, 2019. // Электронная версия на сайте <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-raznovremennyh-kosmicheskikh-snimkov-landsat-dlya-ustanovleniya-beregovyh-linij-granits-vodnyh-obektov/viewer>

29 Вегетационные индексы // GIS LAB Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс] // URL: <https://gis-lab.info/qa/vi.html>

30 Карабаева А.Ж. Изменение береговой линии реки Иртыш по данным космической съемки. Санкт–Петербург: СПбГУ, 2018. // Электронная версия на сайте https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36834379_49190652.pdf

Приложение А

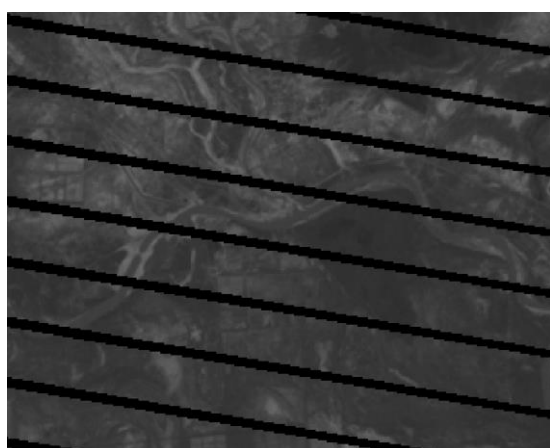
Таблица А.1 – Каналы космоснимков Landsat 7 ETM+

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя)
Диапазоны OLI (Operational Land Imager)		
Канал 1 – Синий (Blue)	0.441 – 0.514	30 м
Канал 2 – Зелёный (Green)	0.519 – 0.601	30 м
Канал 3 – Красный (Red)	0.631 – 0.692	30 м
Канал 4 – Ближний инфракрасный (NIR)	0.772 – 0.898	30 м
Канал 5 – Ближний инфракрасный (SWIR-1)	1.547 – 1.749	30 м
Канал 7 – Ближний инфракрасный (SWIR-2)	2.064 – 2.345	30 м
Канал 8 – Панхроматический (PAN)	0.515 – 0.896	15 м
Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 6 – Дальний инфракрасный (TIR)	10.31 – 12.36	60 м

Таблица А.2 – Каналы космоснимков Landsat 8 OLI/TIRS

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя)
Диапазоны OLI (Operational Land Imager)		
Канал 1 Побережья и аэрозоли (New Deep Blue)	0.433 – 0.453	30 м
Канал 2 – Синий (Blue)	0.450 – 0.515	30 м
Канал 3 – Зелёный (Green)	0.525 – 0.600	30 м
Канал 4 – Красный (Red)	0.630 – 0.680	30 м
Канал 5 – Ближний инфракрасный (NIR)	0.845 – 0.885	30 м
Канал 6 – Ближний инфракрасный (SWIR-1)	1.560 – 1.660	30 м
Канал 7 – Ближний инфракрасный (SWIR-2)	2.100 – 2.300	30 м
Канал 8 – Панхроматический (PAN)	0.500 – 0.680	15 м
Канал 9 – Перистые облака (SWIR)	1.360 – 1.390	30 м
Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 10 – Дальний инфракрасный (TIR1)	10.30 – 11.30	100 м
Канал 11 – Дальний инфракрасный (TIR2)	11.50 – 12.50	100 м

Приложение Б

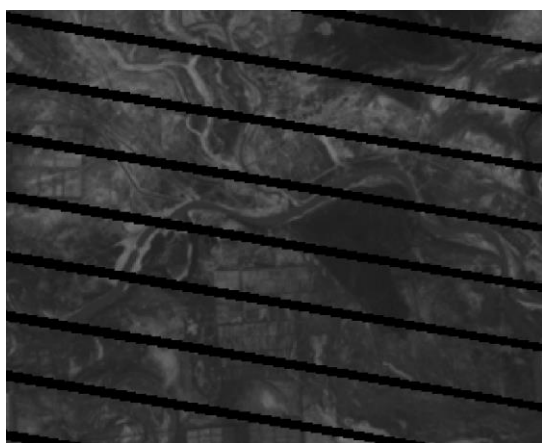


а)



б)

Рисунок Б.1 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 2 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот

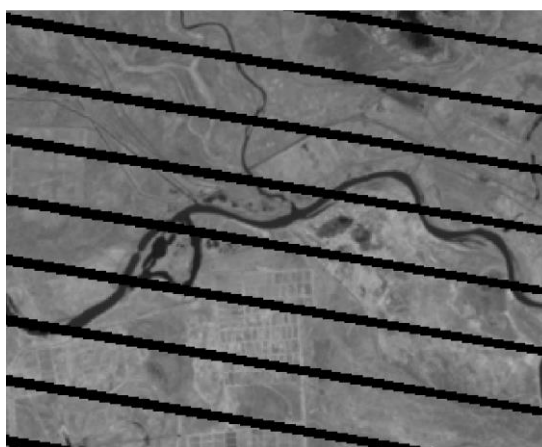


а)



б)

Рисунок Б.2 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 3 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот



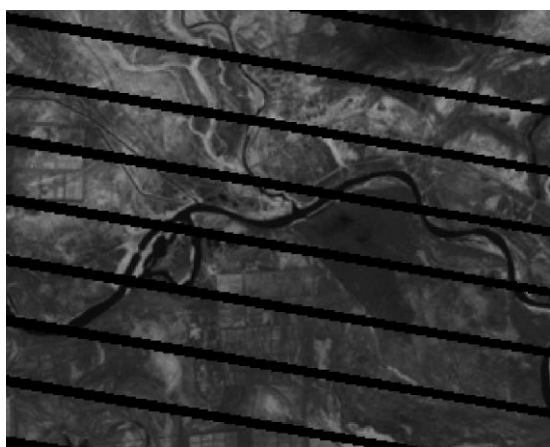
а)



б)

Рисунок Б.3 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 4 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот

Продолжение приложения Б

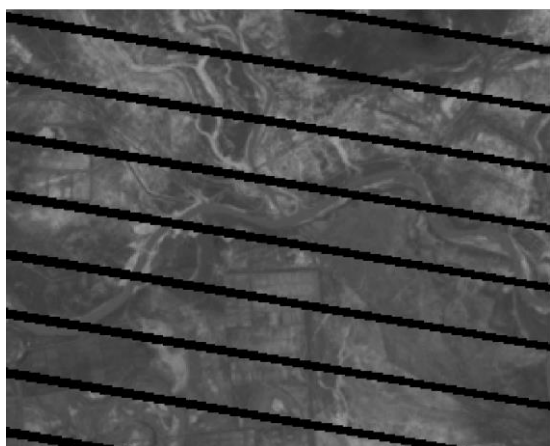


а)



б)

Рисунок Б.4 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 7 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот

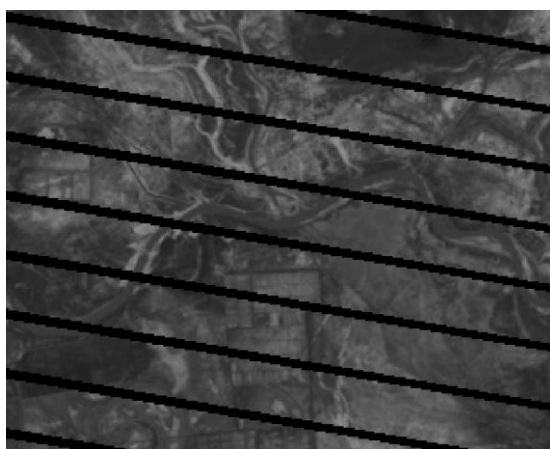


а)



б)

Рисунок Б.5 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 2 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот



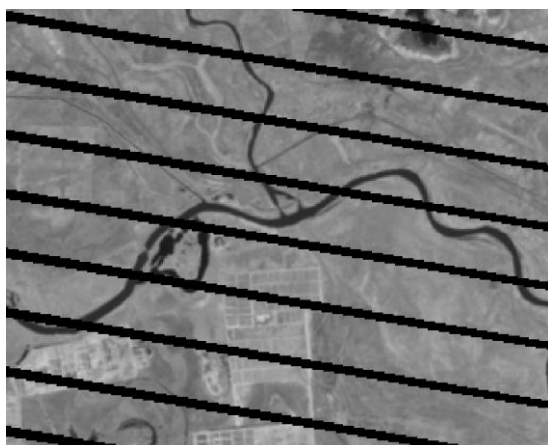
а)



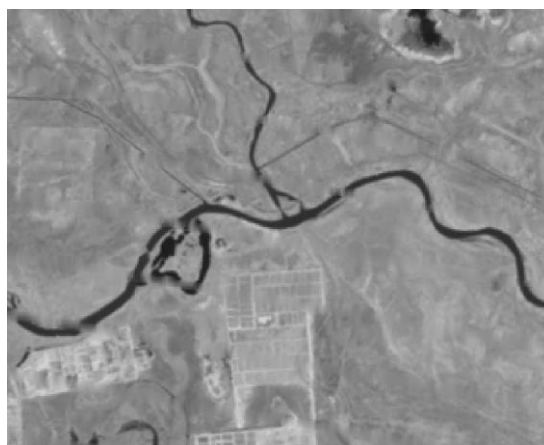
б)

Рисунок Б.6 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 3 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот

Продолжение приложения Б

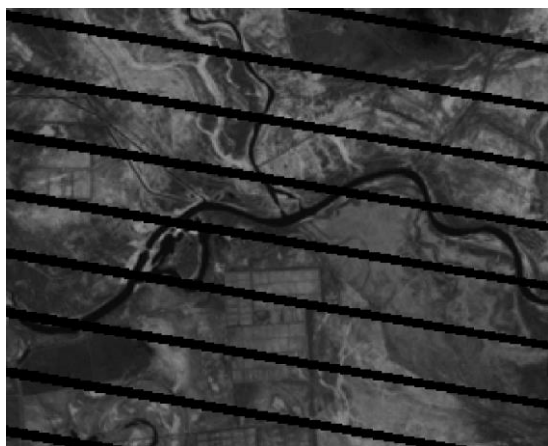


а)



б)

Рисунок Б.7 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 4 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот



а)



б)

Рисунок Б.8 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 7 спектральный канал:
а) оригинал б) после заполнения пустот

Приложение В



а)



б)

Рисунок В.1 – Космический снимок Landsat 7 2000 года 2 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.2 – Космический снимок Landsat 7 2000 года 3 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.3 – Космический снимок Landsat 7 2000 года 4 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)



б)

Рисунок В.4 – Космический снимок Landsat 7 2000 года 7 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.5 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 2 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.6 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 3 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)



б)

Рисунок В.7 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 4 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)

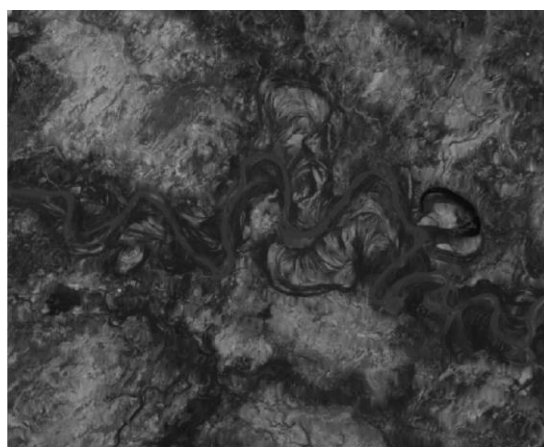


б)

Рисунок В.8 – Космический снимок Landsat 7 2005 года 7 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



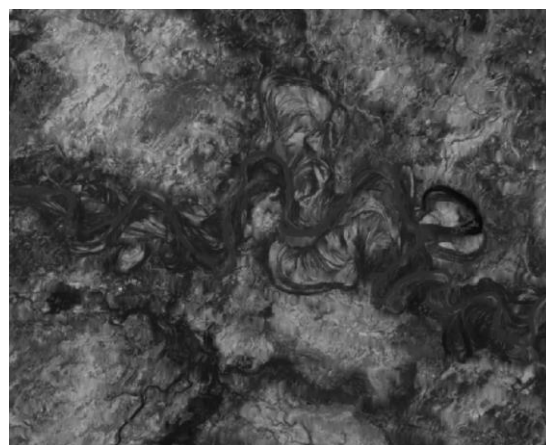
б)

Рисунок В.9 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 2 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)



б)

Рисунок В.10 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 3 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.11 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 4 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



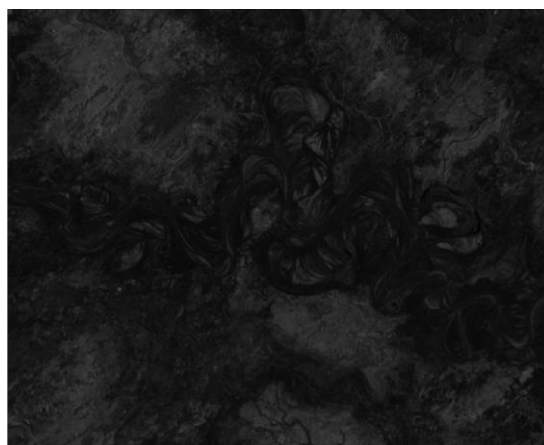
б)

Рисунок В.12 – Космический снимок Landsat 7 2010 года 7 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)



б)

Рисунок В.13 – Космический снимок Landsat 8 2015 года 3 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.14 – Космический снимок Landsat 8 2015 года 4 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



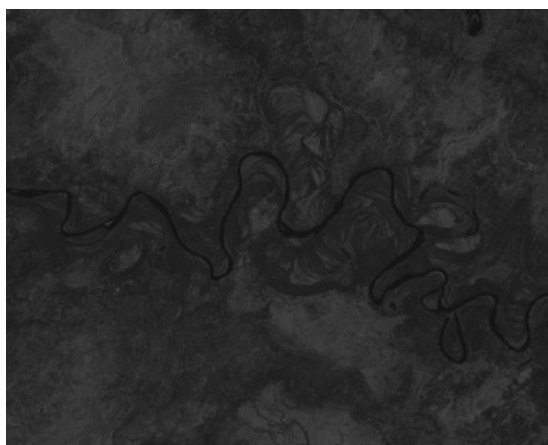
а)



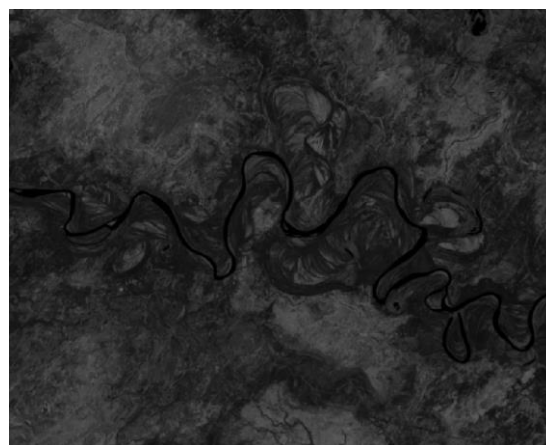
б)

Рисунок В.15 – Космический снимок Landsat 8 2015 года 5 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)



б)

Рисунок В.16 – Космический снимок Landsat 8 2015 года 7 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.17 – Космический снимок Landsat 8 2020 года 3 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.18 – Космический снимок Landsat 8 2020 года 4 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Продолжение приложения В



а)

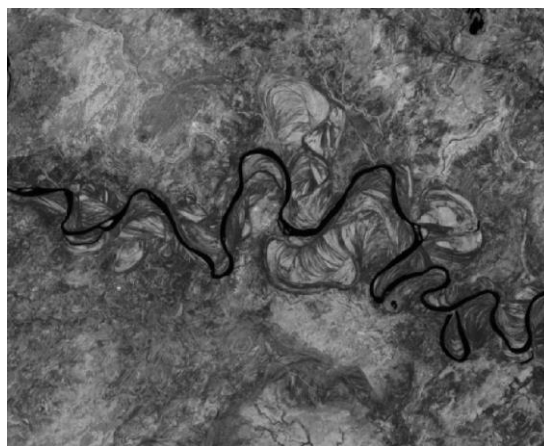


б)

Рисунок В.19 – Космический снимок Landsat 8 2020 года 5 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки



а)



б)

Рисунок В.20 – Космический снимок Landsat 8 2020 года 7 спектральный канал:
а) до предобработки б) после предобработки

Приложение Г

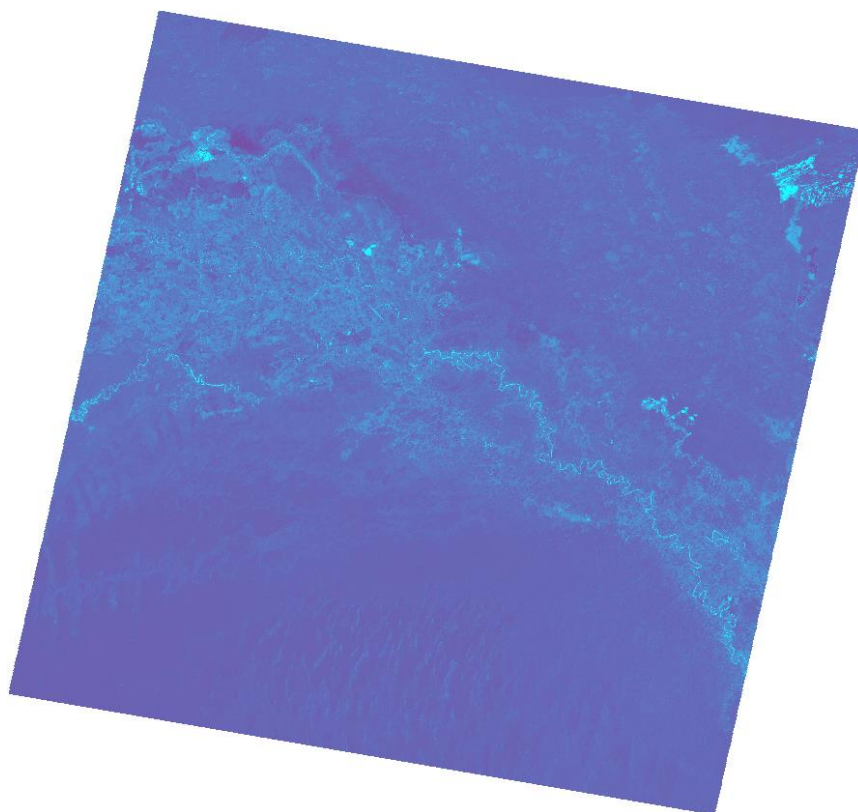


Рисунок Г.1 – Результат вычисления MNDWI 2000 год

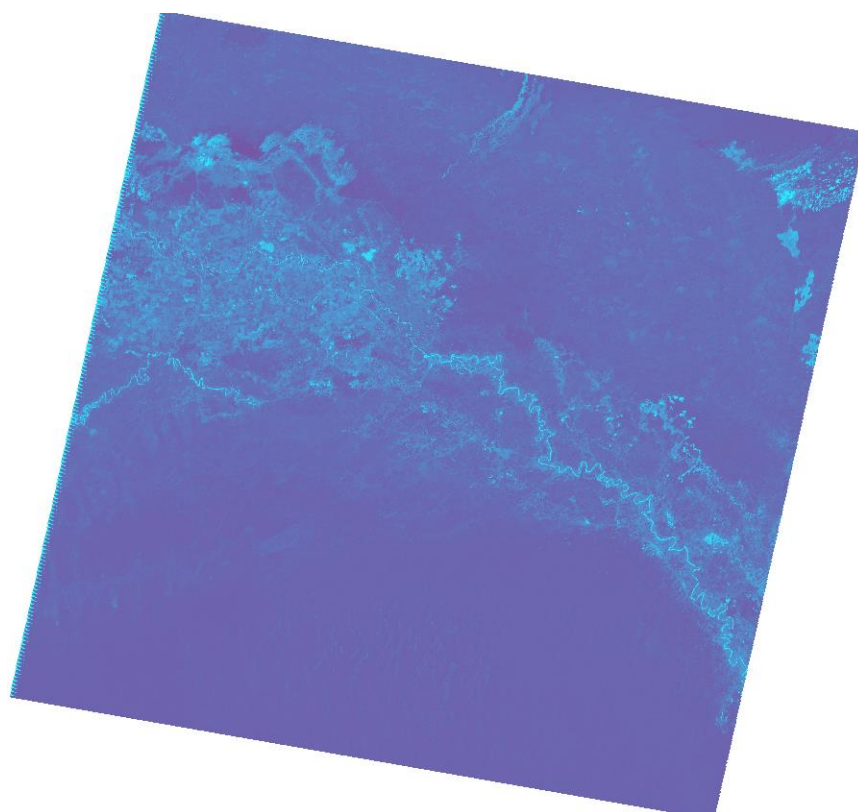


Рисунок Г.2 – Результат вычисления MNDWI 2005 год

Продолжение приложения Г

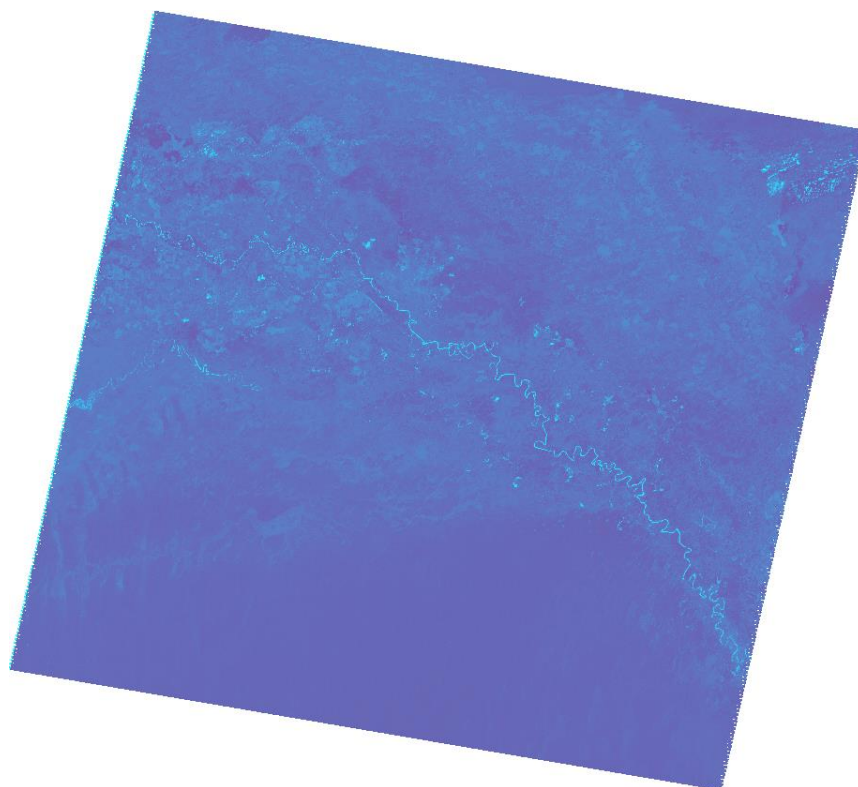


Рисунок Г.3 – Результат вычисления MNDWI 2010 год

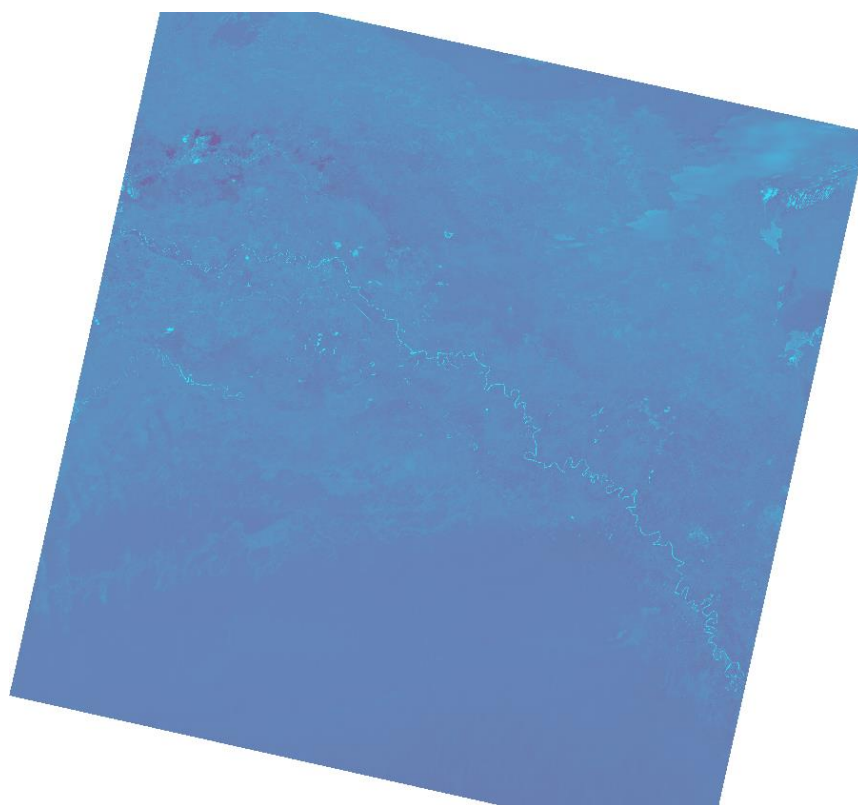


Рисунок Г.4 – Результат вычисления MNDWI 2015 год

Продолжение приложения Г

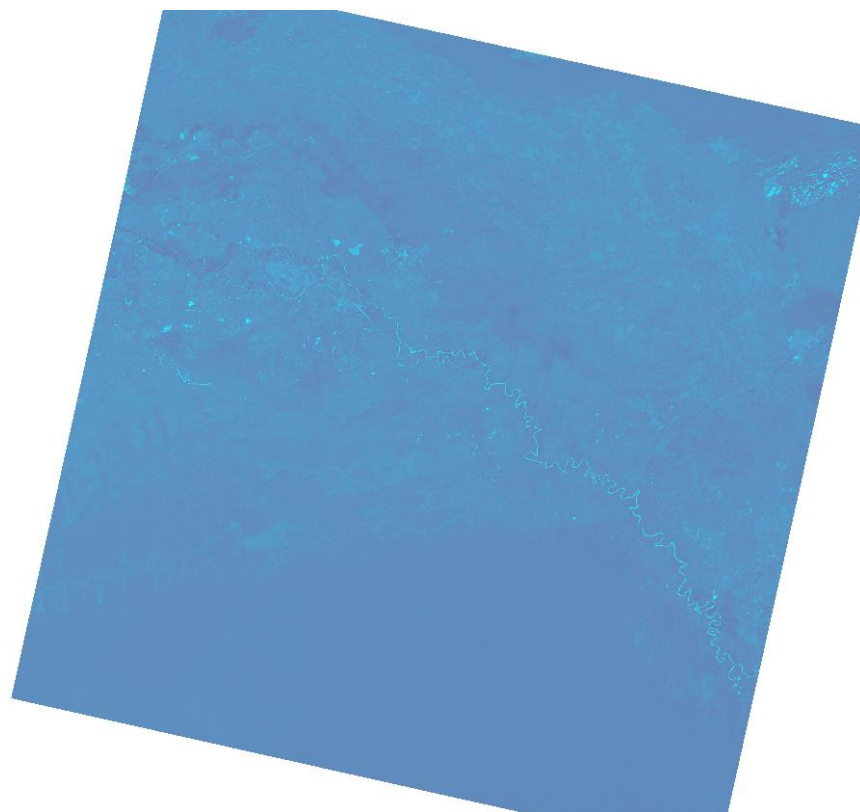


Рисунок Г.5 – Результат вычисления MNDWI 2020 год

Приложение Д

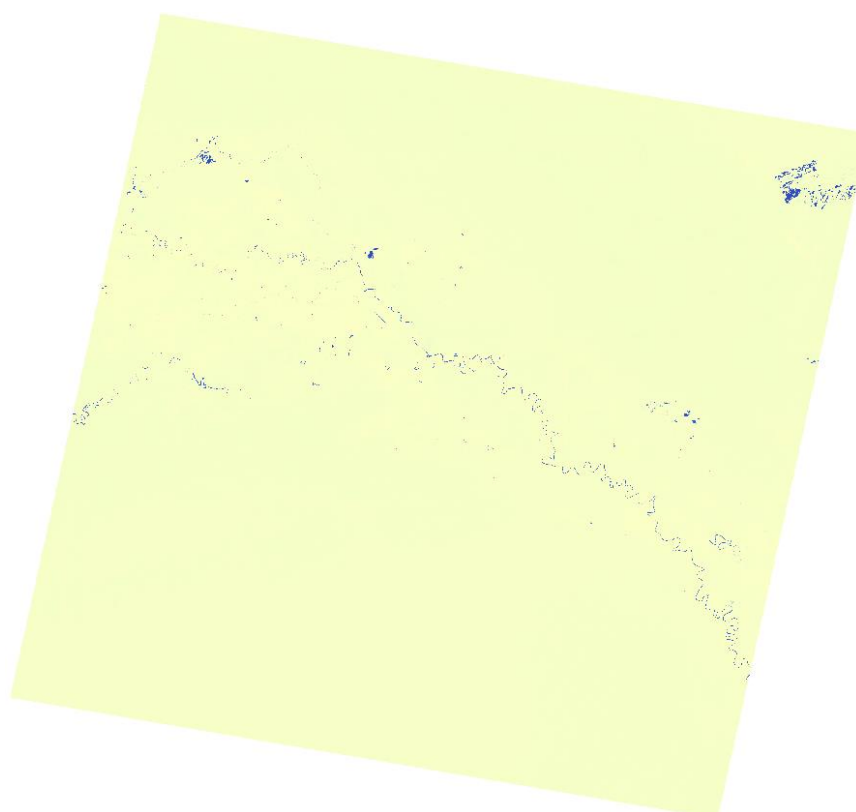


Рисунок Д.1 – Результат вычисления WRI 2000 год

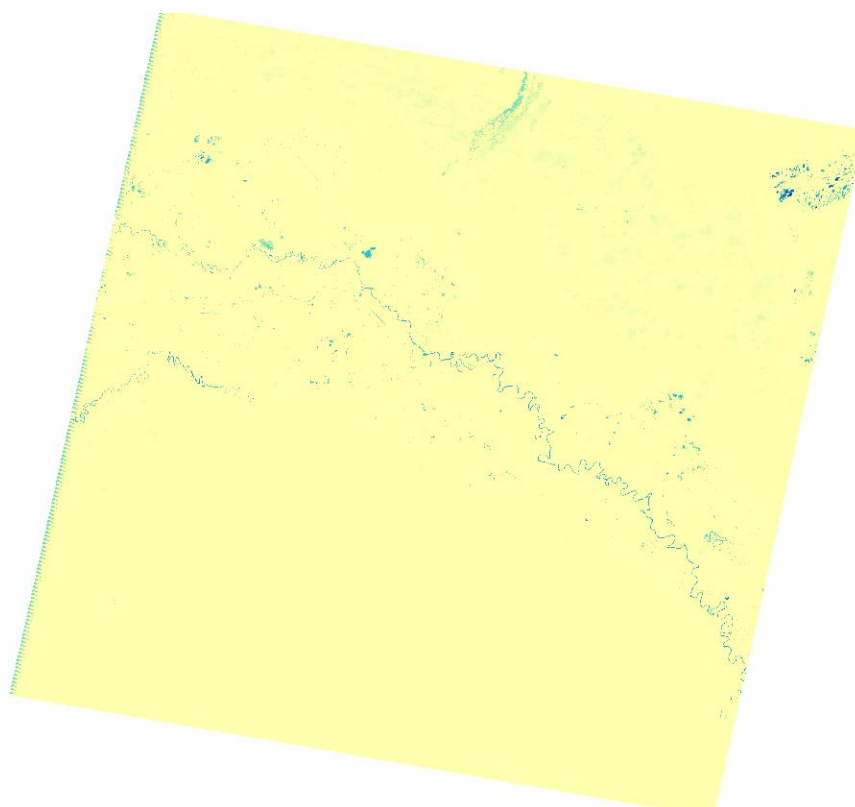


Рисунок Д.2 – Результат вычисления WRI 2005 год

Продолжение приложения Д

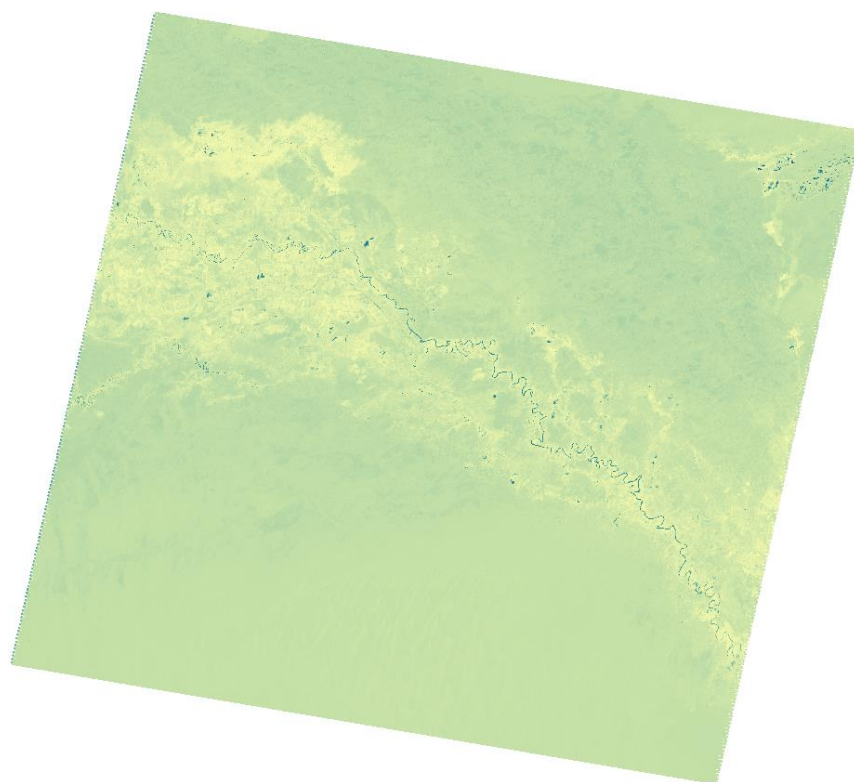


Рисунок Д.3 – Результат вычисления WRI 2010 год

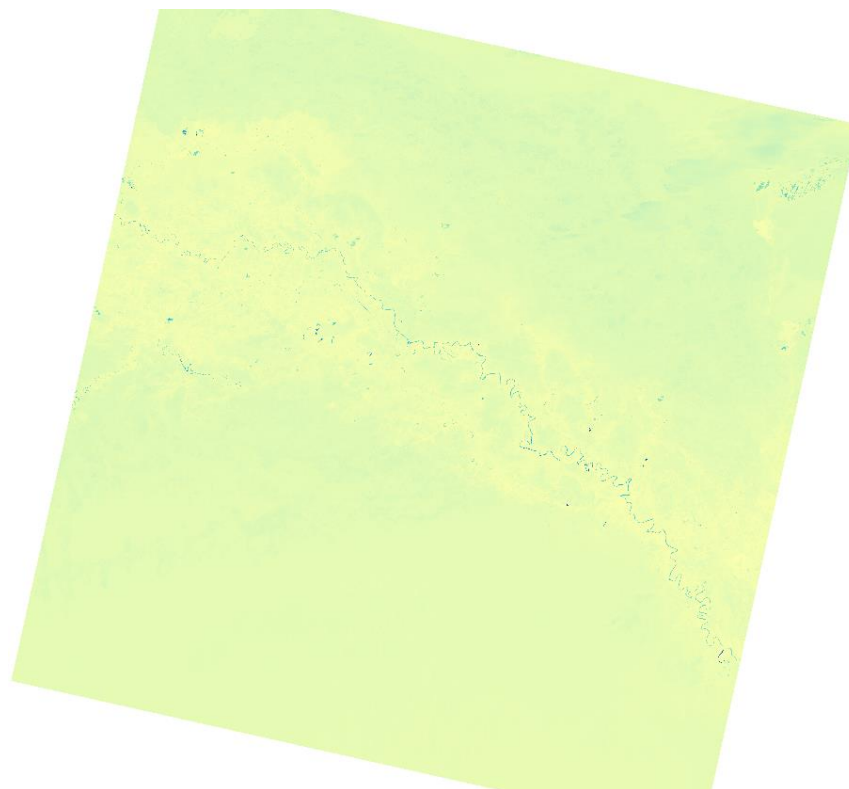


Рисунок Д.4 – Результат вычисления WRI 2015 год

Продолжение приложения Д



Рисунок Д.5 – Результат вычисления WRI 2020 год

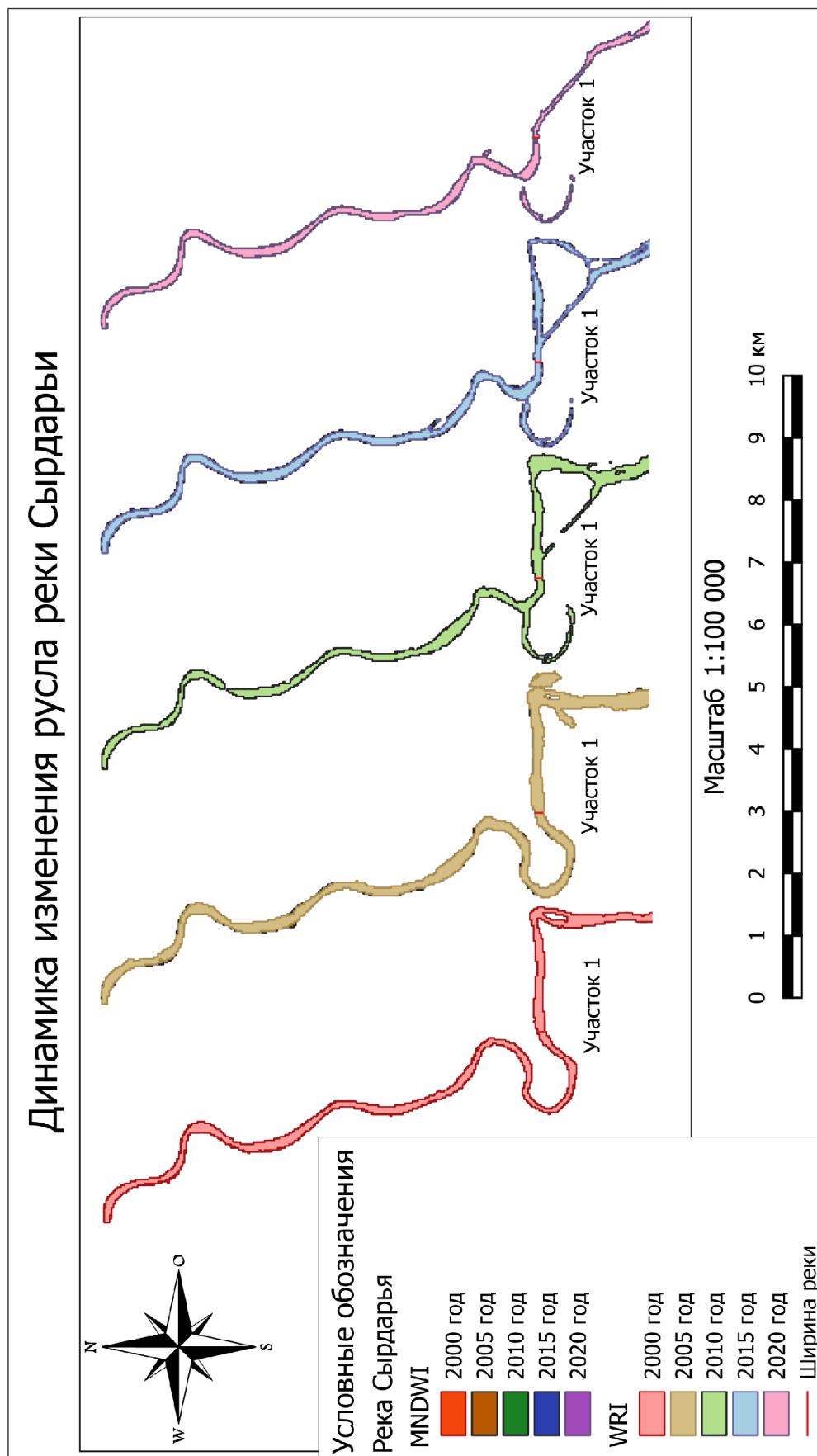


Рисунок Е.1 – Динамика изменения русла реки Сырдарьи (1 участок)

Динамика изменения русла реки Сырдарьи

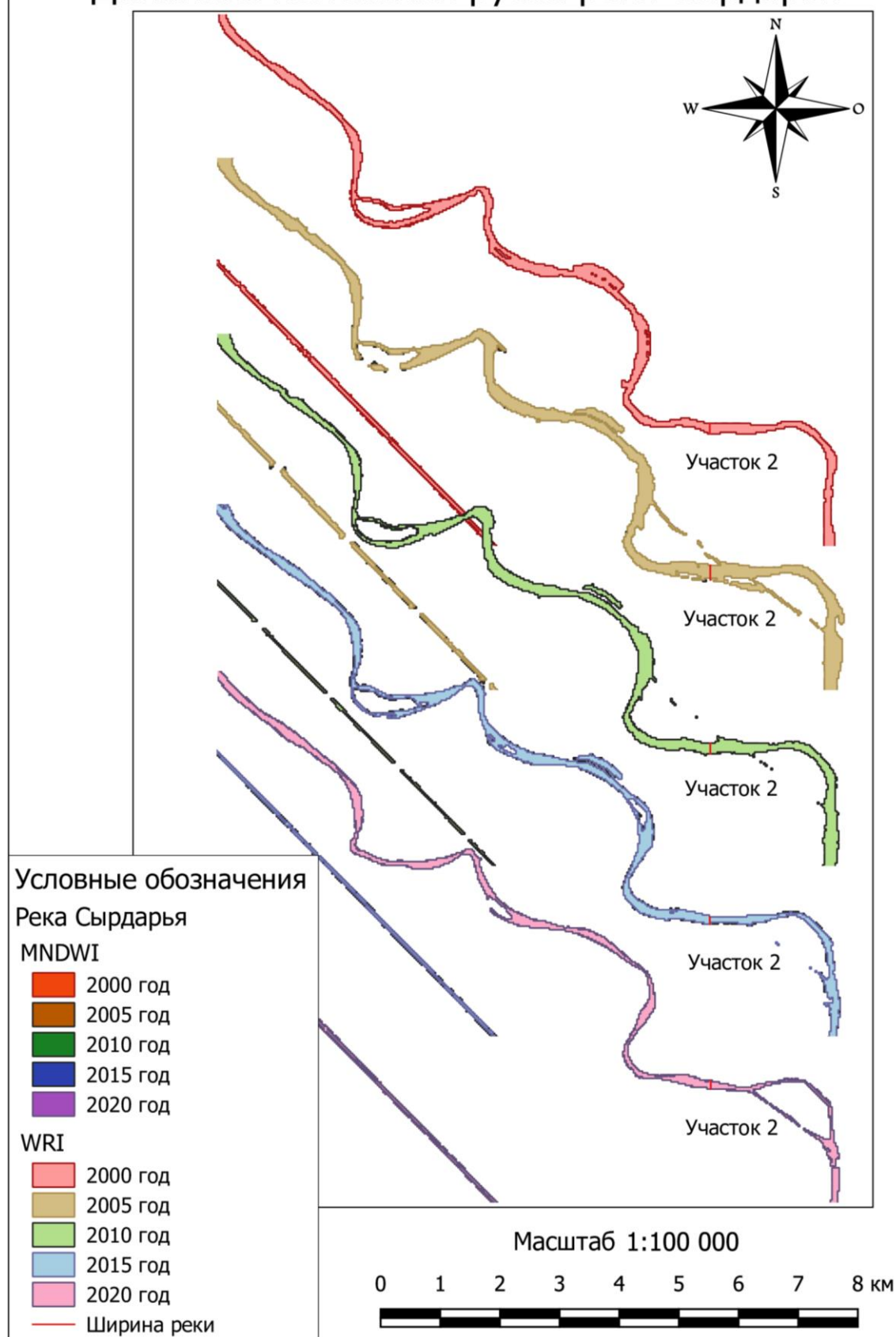


Рисунок Е.2 – Динамика изменения русла реки Сырдарьи (2 участок)

Динамика изменения русла реки Сырдарья

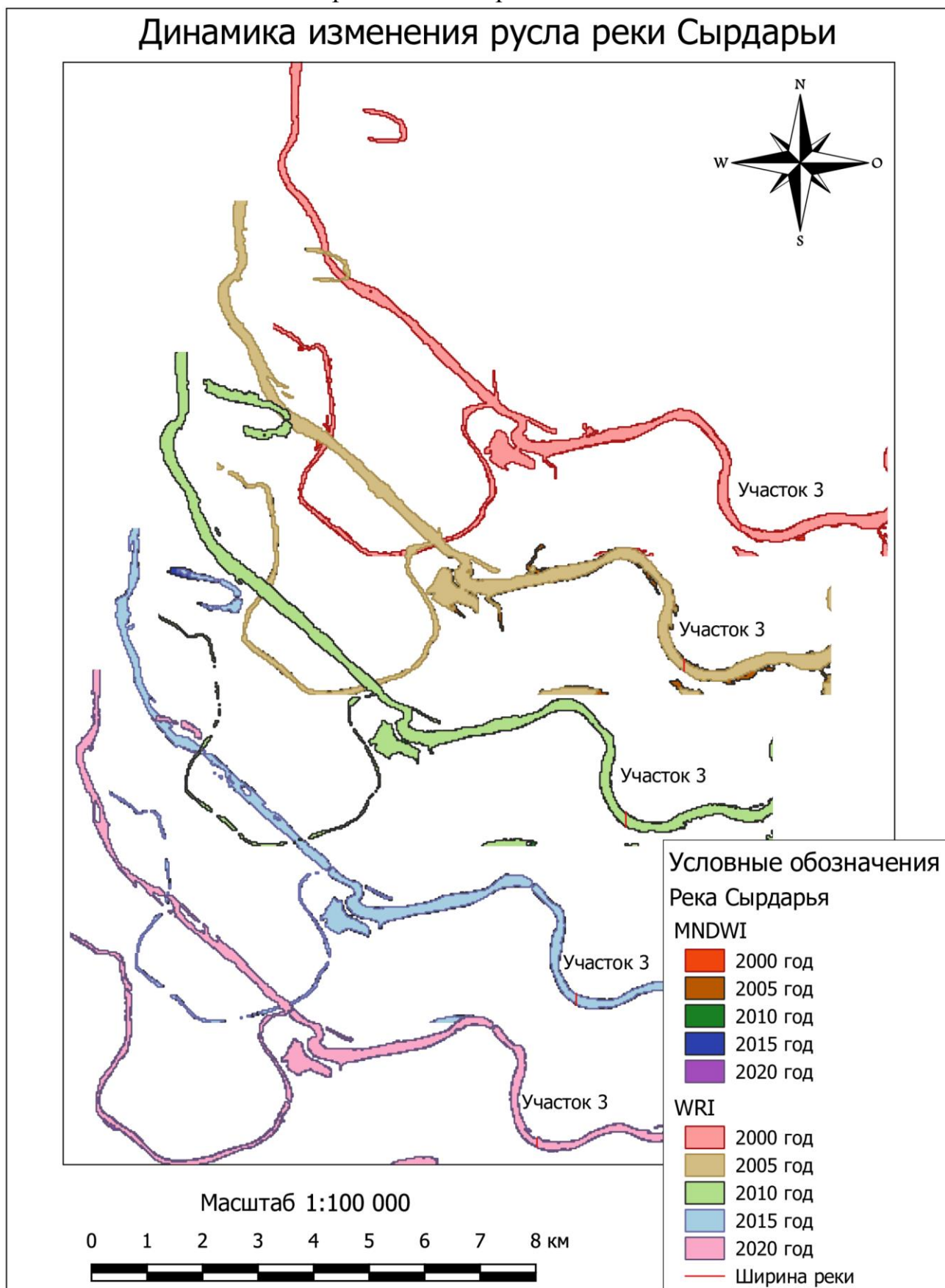


Рисунок Е.3 – Динамика изменения русла реки Сырдарья (3 участок)

64

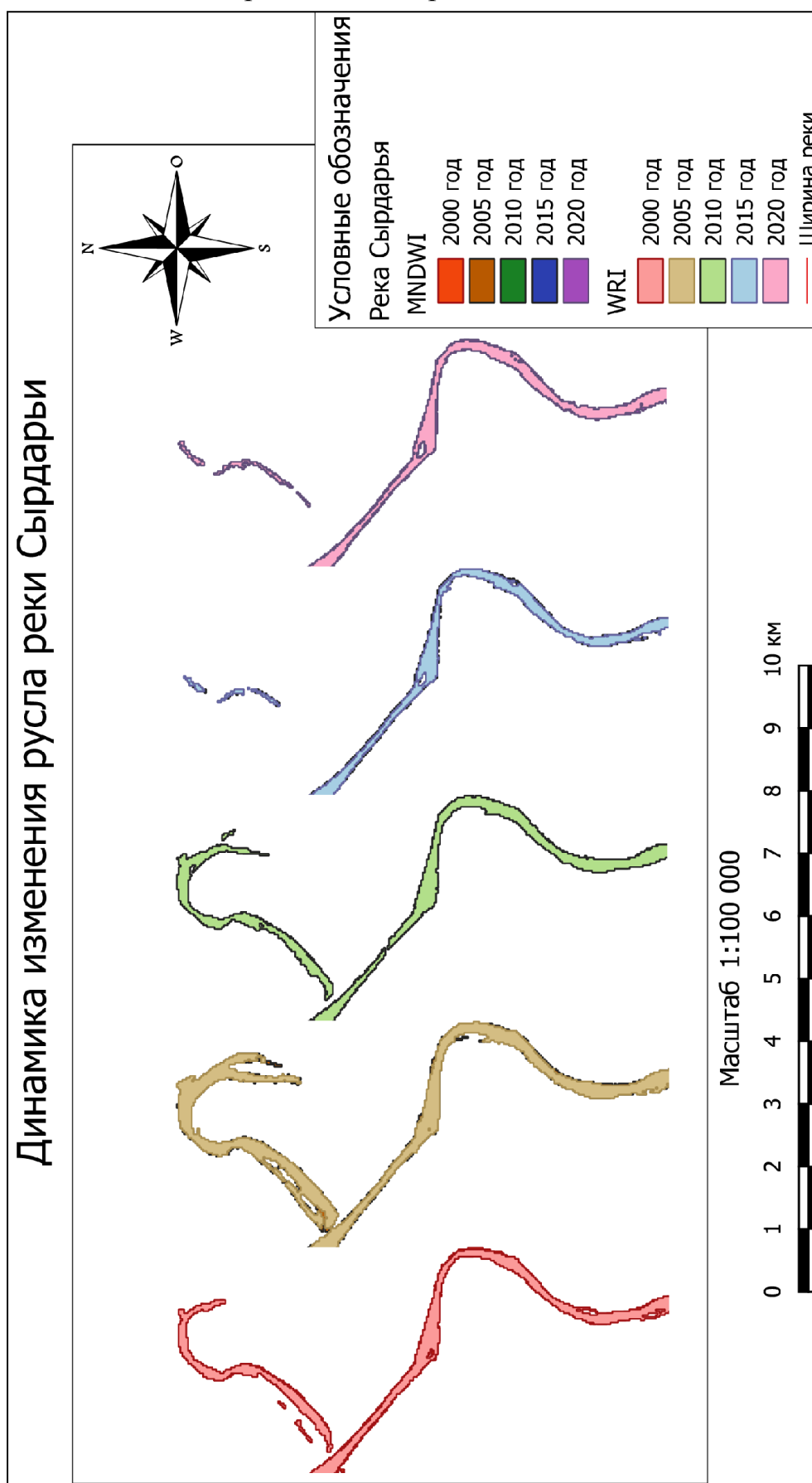


Рисунок Е.5 – Динамика изменения русла реки Сырдарьи

66

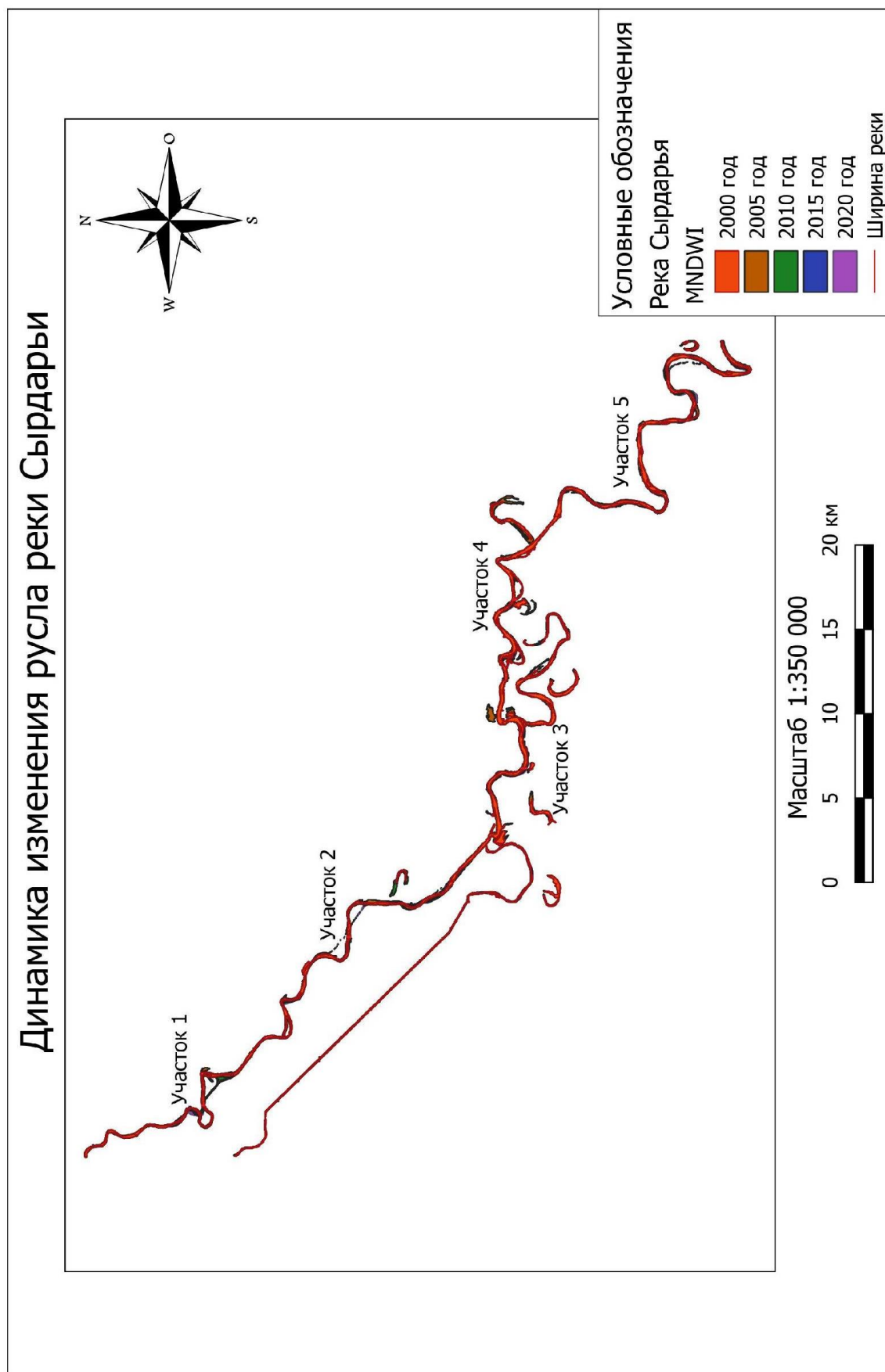


Рисунок Ж.1 – Динамика изменения русла реки Сырдарьи (MNDWI)