

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Саганаевой Аиды Жаслановны

6B07304 Геопространственная цифровая инженерия

На тему: Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияние на состояние сельскохозяйственных угодий

Выполнено:

- а) графическая часть на 14 листах
- б) пояснительная записка на 33 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Данная дипломная работа посвящена актуальной теме исследованию изменения русла реки Есиль и ее влиянию на сельское хозяйство, с применением данных дистанционного зондирования Земли.

Работа содержит результаты анализа многолетних спутниковых данных, что позволило проследить пространственно-временные изменения русла реки Есиль и их воздействие на прилегающие сельскохозяйственные угодья. Студенту удалось выделить участки с повышенным риском затопления, а также обосновать возможные направления адаптации аграрной деятельности к меняющимся гидрологическим условиям. Полученные выводы подтверждают гипотезу о существенном влиянии паводков и динамики водной системы Есиль на состояние и продуктивность сельскохозяйственных угодий Астраханского района.

В результате обработки и анализа космических снимков были определены количественные характеристики изменения русла рассматриваемой реки, зоны с повышенным риском затопления. Кроме того, был рассчитан вегетационный индекс, на основе которого прослежена связь между водной нагрузкой и состоянием растительности, отражающим потенциальную урожайность сельскохозяйственных угодий.

Актуальность проведенного исследования не вызывает сомнений, поскольку колебания уровня реки напрямую сказываются на эффективности аграрного производства в регионе. В этой связи остро стоит задача разработки и внедрения надежных подходов к мониторингу изменений русла и их последствий для сельского хозяйства.

Оценка работы

Дипломная работа представляет собой логически завершенную и хорошо иллюстрированную выпускную работу, отвечающую всем требованиям.

Выпускная работа заслуживает оценки 93 и рекомендуется к защите, а студент присвоению академической степени бакалавра.

Рецензент

к.т.н., ассоц. профессор

МОК

Омиржанова Ж.Т.
«19» 06 2025 г



ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Саганаевой Аиды Жаслановны

6B07304 «Геопространственная цифровая инженерия»

На тему: «Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияния на состояние
сельскохозяйственных угодий»

Дипломная работа посвящена актуальной проблеме изменения русла реки и его последствия, отражающиеся на плодородии почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Данная тема имеет важное значение для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственного сектора региона, которая зависит от уровня орошения различных культур, выращиваемых на полях Астраханского района Акмолинской области. Исследование носит высокую степень актуальности, поскольку изменение уровня реки Есиль значительно влияет на успешное ведение сельского хозяйства.

Применение данных дистанционного зондирования Земли и их анализ с использованием индексов NDWI и SAVI позволяет оперативно и точно оценивать последствия изменения русла реки, что может способствовать более эффективному управлению сельскохозяйственными ресурсами.

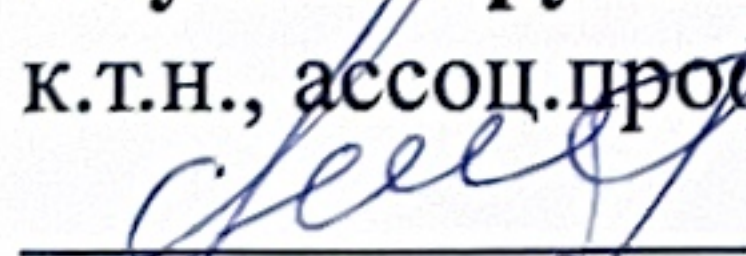
В исследовании представлены результаты анализа данных ДЗЗ за несколько лет. Студентом установлена взаимосвязь между паводковыми периодами и вегетационным состоянием сельскохозяйственных угодий. Определены зоны наибольшего риска затопления, совпадающие с пойменными сенокосами и орошаемыми полями. Студент демонстрирует высокий уровень владения методами анализа данных ДЗЗ и умение интерпретировать полученные результаты.

Работа студента является весьма актуальной, учитывая сегодняшнюю обстановку с изменением водного баланса в Казахстане и по всему миру.

Исходя из вышеизложенного, дипломная работа оценена на 95% (отлично) и заслуживает рекомендации к защите. Саганаева Аида достойна присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе «6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия».

Научный руководитель

к.т.н., ассоц. профессор

 Мадимарова Г.С.

«10» 06 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Саганаева Аида Жаслановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияния на состояние сельскохозяйственных земель

Научный руководитель: Гульмира Мадимарова

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

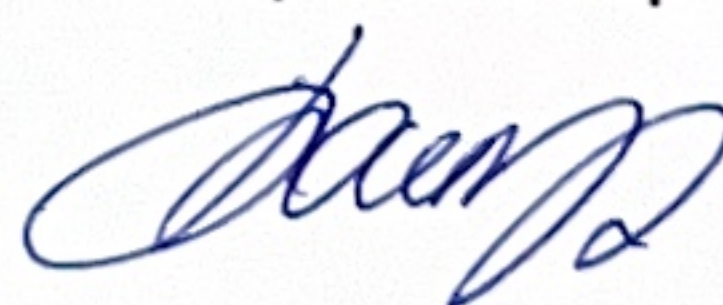
☐ Обоснование:

участие работы в НИРМ

2025-06-12

Дата

Орынбасар Байтурбай



проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Саганаева Аида Жаслановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияния на состояние сельскохозяйственных земель

Научный руководитель: Гульмира Мадимарова

Коэффициент Подобия 1: 2.1

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

участие работы в НИРМ

2025-06-12

Дата



Заведующий кафедрой

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»

Саганаева Аида Жаслановна

Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияния на состояние
сельскохозяйственных земель

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

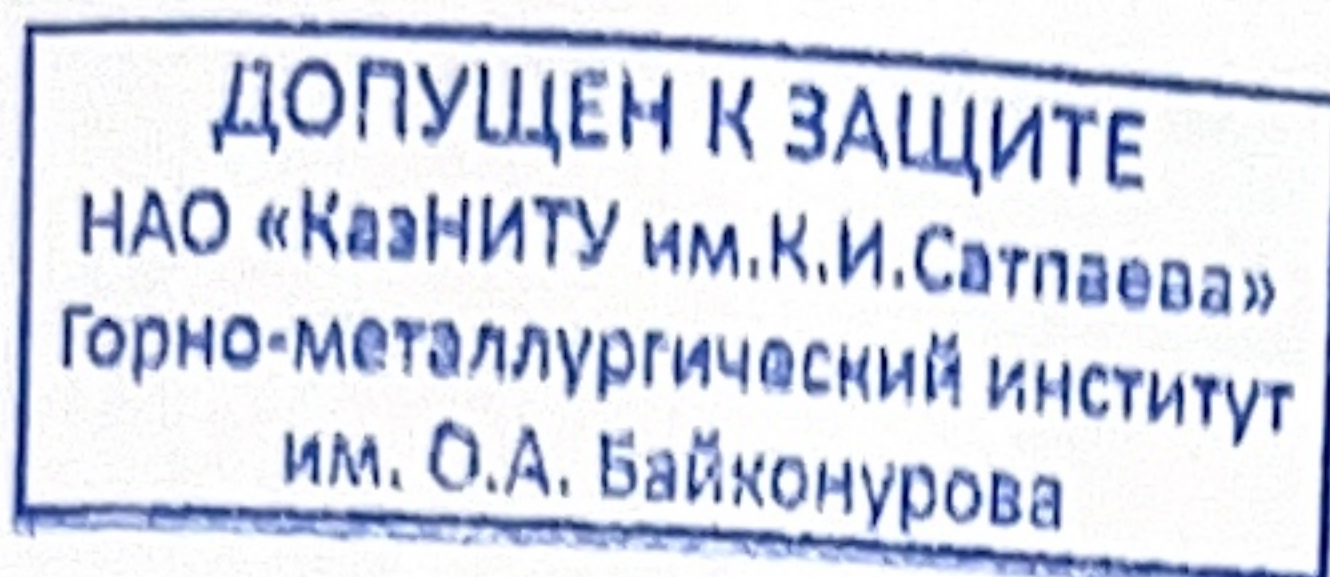
Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени А.О. Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Маркшейдерское дело и геодезия»,
к.т.н., ассоц. профессор
Г. Мейрамбек
« 26 июня » 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияния на состояние
сельскохозяйственных земель»

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

Выполнила

Саганаева А.Ж.

Рецензент

МОК

к.т.н., ассоц. профессор

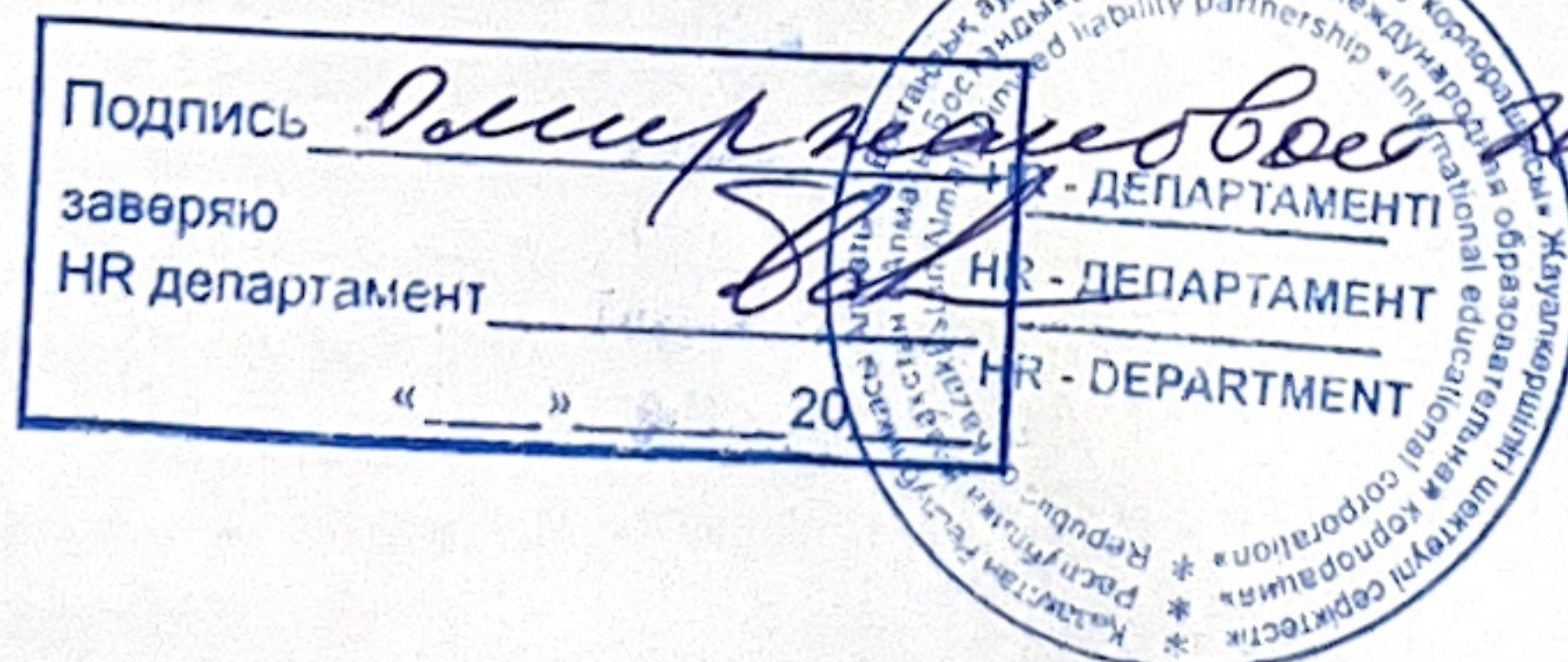
Научный руководитель

КазНТУ им. К.И. Сатпаева

к.т.н., ассоц. профессор

Омиржанова Ж.Т.
« 19 » 06 2025 г.

Мадимарова Г.С.
« 16 » 06 2025 г.



Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»

6B07304 – Геопространственная цифровая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Маркшейдерское дело и
геодезия» и т.н., ассоц.профессор
Мейрамбек Г.

« 23 » июня 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Саганаевой А. Ж.

Тема: «Оценка динамики русла реки Есиль и ее влияние на состояние сельскохозяйственных земель»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам № 26-П/Ө от «29»01 2025г

Срок сдачи законченной работы « 23 » июня 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: картографические данные, таблицы, схемы

Краткое содержание дипломной работы:

а) Сбор и анализ теоретических данных о русловых процессах, сельхозугодьях и методах дистанционного мониторинга

б) Исследование динамики русла реки Есиль и зон затопления на основе спутниковых снимков

в) Расчет индексов NDWI и SAVI для оценки увлажнения и состояния растительности на сельскохозяйственных землях

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
представлены 16 слайдов презентаций работы.

Рекомендуемая основная литература:

1. Тусупбекова А. О. Влияние антропогенных факторов на состояние реки Есиль на территории Республики Казахстан. – Астана, Казахстан – 2016.

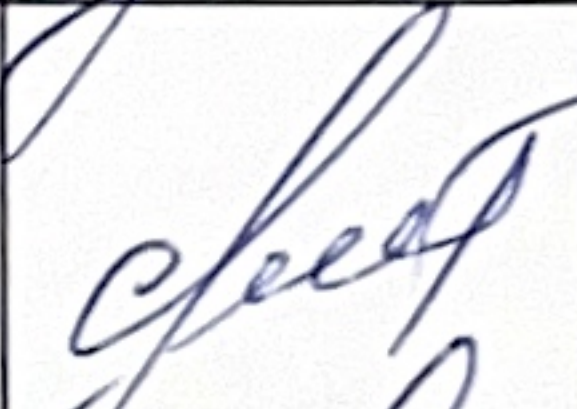
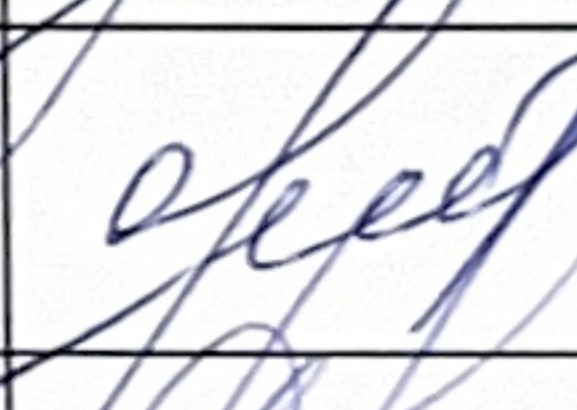
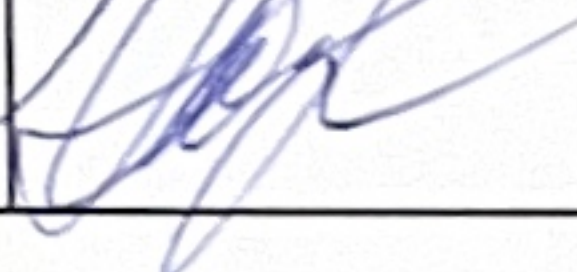
2. Шуткараев А. В., Барина Г. К., Асылбекова А. С. Современное состояние гидрологического и гидрохимического режима реки Есиль – Астана, Казахстан // География и природные ресурсы. – 2021.

3. Волынец Е. И., Волынец А. В., Паниди Е. А. Обнаружение береговой линии по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2020.

ГРАФИК подготовки дипломной работы (проекта)

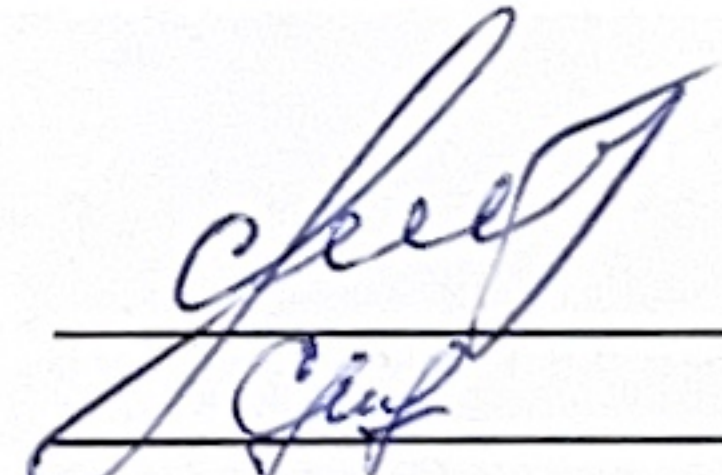
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Сбор и анализ теоретических данных	01.03.2025	Подбор и изучение источников по русловым процессам, методам ГИС анализа и спутниковому мониторингу
Расчет индексов NDWI и SAVI	25.03.2025	Подготовка и сбор спутниковых снимков, Расчет индексов, выявление влажных зон и состояния сельхозземель.
Исследование динамики русла и зон затопления	15.04.2025	Построение полигонов водного зеркала на основе NDWI, анализ русловых изменений и затопляемости
Выводы, оформление работы, разработка рекомендаций	10.05.2025	Формулировка итогов исследования, подготовка рекомендаций, составление карт и графиков для презентации

Подписи
консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект)
с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Сбор и изучение данных об объекте исследования	Г.С. Мадимарова к.т.н., ассоц. проф.	2.06	
Анализ физико-географических изменений и экологического состояния водохранилища	Г.С. Мадимарова к.т.н., ассоц. проф.	9.06	
Разработка предложений по эффективному землепользованию	Г.С. Мадимарова к.т.н., ассоц. проф.	9.06	
Норм контролер	Д.М. Киргизбаева PhD доктор. ассоц.проф.	10.06.25	

Научный руководитель
Задание принял к исполнению обучающийся

Дата



Мадимарова Г.С.
Саганаева А.Ж.

« 3 » марта 2025г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмысы Ақмола облысының Астрахан ауданы шегіндегі Есіл өзенінің арналық динамикасын және оның ауыл шаруашылығы жерлерінің жай-күйіне әсерін зерттеуге арналған. 2016-2024 жылдар аралығындағы Landsat спутниктік деректері негізінде SAVI (топырақпен түзетілген вегетациялық индексі) және NDWI (нормаланған су индексі) есептелді. Өзен арнасының көпжылдық өзгерістері талданып, су басуға бейім аймақтар мен деградацияға ұшыраған жерлер анықталды. Зерттеу нәтижелері топырақ ылғалдылығы мен өсімдіктер өнімділігі арасындағы өзара байланысты көрсетті. Жұмыс қашықтықтан зондтау және ГАЗ технологияларының табиғи үдерістерді бақылауда және агроэкологиялық тұрақтылықты бағалауда тиімділігін айқындайды.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается динамика русла реки Есиль в пределах Астраханского района Ақмолинской области и её влияние на состояние сельскохозяйственных угодий. На основе спутниковых данных Landsat за 2016-2024 годы были рассчитаны вегетационный индекс SAVI и водный индекс NDWI. Проведён анализ многолетних изменений русла, выявлены зоны затопления и деградации сельскохозяйственных земель. Полученные результаты позволили установить взаимосвязь между уровнем увлажнённости почв и продуктивностью растительного покрова. Работа демонстрирует возможности дистанционного зондирования и ГИС-технологий для мониторинга природных процессов и оценки агроэкологической устойчивости территорий.

ANNOTATION

This thesis examines the channel dynamics of the Esil River within the Astrakhan district of Akmola Region and its impact on agricultural land conditions. Based on Landsat satellite imagery from 2016 to 2024, the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI) were calculated. A multi-year analysis of riverbed changes was conducted, flood-prone zones and degraded agricultural areas were identified. The results revealed a correlation between soil moisture and vegetation productivity. The study highlights the application of remote sensing and GIS technologies for environmental monitoring and the assessment of agroecological sustainability.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Общая характеристика объекта исследования	9
1.1 Объект исследования	9
1.2 Описание проблемы	11
2 Методы исследования	13
2.1 Методы мониторинга береговой линии по космическим снимкам	13
2.2 Методы мониторинга сельскохозяйственных земель	14
2.3 Взаимосвязь индексов SAVI и NDWI в оценке состояния сельскохозяйственных угодий	15
3 Анализ изменения русла реки Есиль	16
3.1 Получение мультиспектральных снимков	16
3.2 Нормализованный индекс разницы воды (NDWI)	17
3.3 Расчет индекса NDWI	17
3.4 Оценка пространственных характеристик русла	20
3.5 Зоны затопления	22
4 Анализ состояния сельскохозяйственных угодий на основе вегетационных индексов	25
4.1 Вегетационный индекс с коррекцией по почве	25
4.2 Расчет SAVI	26
4.3 Рекомендации по адаптации землепользования к гидрологической изменчивости	30
Заключение	32
Список использованной литературы	33

ВВЕДЕНИЕ

Казахстан относится к числу государств с высоким уровнем природной уязвимости в сфере агропроизводства, поскольку значительная часть его территории расположена в зоне рискованного земледелия и характеризуется засушливым климатом. Водные ресурсы страны в значительной степени зависят от внешнего притока: по различным оценкам, до 40 % водного потенциала формируется за счёт трансграничных источников . Из восьми водохозяйственных бассейнов Казахстана семь имеют трансграничный характер, что обуславливает высокую зависимость национальной водохозяйственной политики от решений сопредельных государств. Согласно данным Центра стратегических инициатив, порядка 46 % объёма речного стока, поступающего в пределах страны, образуется на территориях соседних стран — России, Китая, Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана.

Сельскохозяйственное использование земель сухостепных районов Центрального Казахстана, включая Акмолинскую область, имеет стратегическое значение для аграрной отрасли страны. Эти территории характеризуются относительно плодородными почвами, но при этом подвержены засухам, дефициту влаги и эрозионным процессам. Особенно уязвимыми оказываются земли вблизи водных объектов, таких как река Есиль, динамика русла которой способна оказывать значительное влияние на состояние сельскохозяйственных угодий.

Изучение русловых процессов имеет большое значение для решения задач, выдвигаемых многочисленными запросами практики. Любая отрасль народного хозяйства, предприятия которой расположены в речных долинах или использующая водные ресурсы, в той или иной мере должна учитывать деятельность реки. Процессы, протекающие в естественных условиях в масштабах геологического и исторического времени, а также крупные изменения природных условий, вызванные сооружением водохранилищ, водозаборов, преобразованием русел рек, переброской стока, сведением лесов и распашкой земель, привели к существенным изменениям руслоформирующей деятельности рек [1].

Ключевыми факторами, способствующими нарастающему дефициту водных ресурсов, являются климатические изменения, увеличение численности населения, урбанизация, а также связанные с ними демографические процессы. Ситуацию усугубляют неравномерное территориальное распределение водных ресурсов, низкая эффективность применяемых методов орошения, высокий уровень износа водохозяйственной инфраструктуры, отсутствие полноценной дренажной системы и рост загрязнения водоёмов.

Изменение направления потока, расширение или заиливание русла, затопления и процесс деградации земель в пойменных и прибрежных зонах напрямую отражаются на продуктивности полей и устойчивости агроландшафтов.

В связи с этим актуальной задачей является комплексная оценка изменений русла реки Есиль и ее воздействия на сельскохозяйственное землепользование.

Цель данного исследования заключается в изучении динамики русла реки Есиль на территории Астраханского района, с определением изменений площади русла и его ширины на отдельных участках, а также в оценке влияния этих процессов на прилегающие сельскохозяйственные угодья. Для этого предполагается использование расчетов индексов, характеризующих состояние урожайности и водообеспеченности земель.

Методы исследования

В работе использованы методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая анализ разновременных спутниковых снимков Landsat 8 и 9, полученных через портал USGS за апрель и июль 2016, 2018, 2020, 2022 и 2024 годов.

Геоинформационный анализ выполнялся с использованием программного обеспечения ArcGIS, с применением инструментов пространственного анализа, обработки цифровой модели рельефа (ЦМР) и построения тематических карт. Дополнительно проведён анализ гидрологических и климатических данных для комплексной оценки изменений русла реки Есиль и их влияния на прилегающие сельскохозяйственные угодья.

Новизна работы заключается в том, что в исследовании впервые был проведён комплексный анализ изменений русла реки Есиль и состояния прилегающих сельскохозяйственных угодий с использованием спутниковых данных и инструментов ГИС.

Впервые совместно использованы индексы NDWI и SAVI для изучения влияния паводков на растительность и урожайность полей. Это позволило показать, как изменяется состояние сельхозугодий в зависимости от водного режима реки.

Разработан и применён метод подсчёта частотности затоплений, благодаря чему удалось выделить участки с наибольшим риском для сельского хозяйства.

Установлена связь между паводками и биомассой растений: в годы с высоким уровнем воды растительность в пойме становится более активной, а на полях с дефицитом влаги показатели остаются низкими.

С помощью зональной статистики была проведена оценка состояния конкретных сельскохозяйственных полей, что позволило выявить участки, подверженные деградации.

Проведён поэтапный анализ за 2016–2024 годы, что даёт целостную картину природных изменений в регионе.

Таким образом, работа сочетает современные методы анализа и даёт полезные практические результаты, которые можно использовать для планирования землепользования и защиты аграрных территорий от рисков, связанных с изменением климата и паводками.

1 Общая характеристика объекта исследования

1.1 Объект исследования

Объектом исследования является река Есиль в пределах Астраханского района Акмолинской области (рисунок - 1.1), протяжённостью около 104,7 км, а также прилегающие к ней сельскохозяйственные угодья.



Рисунок - 1.1 – Астраханский район

Астраханский район расположен в центральной части Акмолинской области и занимает территорию площадью 7 379 км², что составляет около 5 % от площади всей области. В состав района входят 34 села, где проживает 23,6 тыс. человек, или 3,2 % населения области. Административным центром является село Астраханка. Район имеет развитое транспортное сообщение с ближайшими городами – Атбасаром и столицей Астаной – посредством железнодорожных линий и автомобильных дорог международного и республиканского значения.

Большая часть района представляет собой равнинную местность, пересечённую рекой Есиль, протекающей с юго-востока на северо-запад. Правобережная часть района характеризуется денудационными и денудационно-пролювиальными равнинами, дренируемыми правыми притоками Есиля, среди которых крупнейший – река Колутон. Как и Есиль, Колутон формирует широкую пойму, покрытую кустарниковыми и тростниковыми зарослями, а также галофитными лугами.

Почвенный покров района отличается значительным разнообразием. На севере и северо-востоке преобладают наиболее плодородные южные карбонатные чернозёмы, в междуречье Есиля и Колутона — тёмно-каштановые почвы. Также широко распространены комплексы южных чернозёмов, солонцеватых тёмно-каштановых и луговых почв с солонцами, а в поймах — специфические пойменные почвы. Именно в этой части района сосредоточены основные населённые пункты, включая административный центр, а также проходят важные транспортные маршруты [2].

Левобережье района представлено сухостепной озёрно-аллювиальной равниной с многочисленными бессточными озёрами, а также крупными массивами тёмно-каштановых карбонатных почв и мелкосопочником, покрытым типчаково-ковыльной растительностью на солонцеватых тёмно-каштановых почвах с солонцами на западе района [2].

Астраханский район, как и вся Акмолинская область, расположен в зоне резко континентального климата с выраженной засушливостью. Среднегодовая температура воздуха (таблица 1) составляет около +2,5 °С, при этом зимы продолжительные и морозные (до -30 °С), а лето жаркое и сухое, с температурами свыше +30 °С. По данным Казгидромета, среднегодовое количество осадков не превышает 300–350 мм, что делает район уязвимым к засухам.

Таблица 1 – Среднемесячная температура и осадки (среднее за 2016–2024 гг.)

Месяц	Температура, °С	Осадки, мм
Январь	-16,4	16
Апрель	+5,2	22
Июль	+22,8	28
Октябрь	+4,0	18

Низкое количество осадков в сочетании с высокой испаряемостью приводит к выраженному влагообеспечению только в период весеннего снеготаяния. Это определяет сезонную нестабильность аграрного производства и обуславливает ключевую роль рек, в том числе реки Есиль, как источника поверхностного увлажнения сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, Астраханский район представляет собой типичный пример аграрного района сухостепной зоны Центрального Казахстана. По данным Комитета по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, доля сельскохозяйственных угодий в районе составляет 95,2 % общей площади, что превышает средние областные и республиканские показатели. Пашня занимает 55,6 % территории, сенокосы – 5,0 %, а пастбища – 32,1 %, (рисунок - 1.2), что указывает на преимущественное развитие растениеводства.



Рисунок - 1.2 – Доля сельскохозяйственных угодий

В структуре валовой продукции сельского хозяйства района доминирует зерновое производство, составляющее 57 % общего объёма. Основной культурой является яровая пшеница, занимающая 87 % посевных площадей.

Анализ изменения береговой линии реки Есиль произведен с использованием снимков со спутников Landsat 8 (2016 г., 2018 г., 2020 г., 2022 г.), Landsat 9 (2024 г.)

1.2 Описание проблемы

Изменение береговой линии и русла реки Есиль представляет собой серьёзную проблему для аграрного сектора Астраханского района. Эти изменения связаны с совокупностью природных и антропогенных факторов, оказывающих влияние как на гидрологический режим реки, так и на устойчивость землепользования. Ниже приведены ключевые причины, вызывающие трансформации береговой зоны:

Эрозия берегов: Повышенная эрозионная активность ведёт к постепенному разрушению береговой линии, что вызывает смещение русла реки и потерю прилегающих участков. Особенно уязвимыми оказываются сельскохозяйственные земли, расположенные вблизи активных участков руслоизменения, где может происходить вымывание плодородного слоя и снижение качества почв.

Изменение гидрологического режима: Строительство плотин, регулирование стока, изменение режима водообеспечения и перераспределение водных ресурсов существенно влияют на динамику уровня воды в реке Есиль. Это приводит к временному или постоянному затоплению низинных сельхозугодий, что, в свою очередь, вызывает снижение урожайности,

выщелачивание питательных веществ из почвы, а в отдельных случаях — полную деградацию полей.

Рост антропогенной нагрузки: Расширение населённых пунктов, застройка прибрежной зоны, а также несанкционированная хозяйственная деятельность ведут к нарушению природного равновесия берегов. Отсутствие инженерных решений по водоотведению и стабилизации береговой линии способствует усилению разрушительных процессов, которые затрагивают как пастбища, так и пашни, особенно расположенные вдоль поймы.

Климатические изменения: Усиление климатической нестабильности, выражающееся в учащении экстремальных погодных явлений (засух, паводков), приводит к изменению водного баланса реки. В годы с резким таянием снега возникает риск масштабных затоплений, охватывающих сельхозугодья, а в засушливые сезоны наблюдается дефицит влаги, снижая значения вегетационных индексов (например, SAVI). Эти колебания затрудняют устойчивое ведение сельского хозяйства.

Нерациональное использование водных ресурсов: Неконтролируемый водозабор для нужд сельского хозяйства и промышленности может усугубить дефицит влаги в русле реки, особенно в летние месяцы. Это не только снижает водообеспеченность сельхозземель, но и увеличивает риск опустынивания и деградации пашни в условиях степной зоны.

Данные факторы могут проявляться в комплексе, усиливая негативные эффекты друг друга. Особенно остро эта проблема стоит для орошаемых полей и заливных сенокосов, которые наиболее чувствительны к колебаниям гидрологического режима. Без постоянного мониторинга водных индексов (таких как NDWI) и состояния растительности (например, по SAVI) невозможно обеспечить стабильную урожайность и долгосрочную продуктивность агроландшафтов.

Таким образом, для эффективного управления аграрными ресурсами вдоль реки Есиль необходимо учитывать русловые процессы и связанные с ними риски. Мониторинг, картографирование и геоинформационный анализ затоплений, деградации почв и состояния растительности позволяют своевременно выявлять уязвимые участки, планировать мероприятия по защите и адаптировать стратегии землепользования к изменяющимся условиям.

2 Методы исследования

2.1 Методы мониторинга береговой линии по космическим снимкам

Мониторинг береговой линии с использованием данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) (рисунок - 2.1) представляет собой один из наиболее перспективных и широко применяемых подходов к изучению динамики водных объектов. Космические снимки предоставляют объективную, масштабную и регулярно обновляемую информацию, что особенно важно в условиях труднодоступных территорий и быстро меняющихся природных процессов, таких как русловые изменения, эрозия берегов и паводки.

Наиболее часто используются спутниковые системы среднего пространственного разрешения, такие как Landsat 7, 8, 9 (разрешение 30 м), Sentinel-2 (10–20 м), а также коммерческие платформы высокого разрешения (WorldView, PlanetScope, GeoEye и др.). Работа с этими изображениями начинается с этапа предобработки, включающего геометрическую и атмосферную коррекцию, устранение облачности и приведение к единой координатной системе. При необходимости применяется паншарпенинг для повышения резкости изображения.

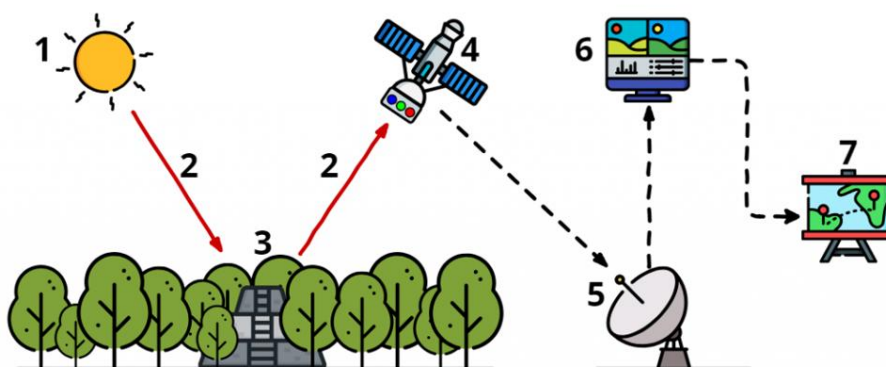


Рисунок - 2.1 – Дистанционное зондирование земли

Для извлечения информации о водной поверхности используются спектральные индексы, в первую очередь NDWI (Normalized Difference Water Index), а также его модификации – MNDWI и AWEI, которые повышают точность выделения воды в условиях городской застройки или при облачной погоде. Классификация данных по этим индексам позволяет построить маски водных объектов, которые в дальнейшем векторизуются и сравниваются по разным годам для оценки смещения береговой линии.

Сравнительный анализ многолетней динамики выполняется с использованием программных платформ ArcGIS, QGIS или Google Earth Engine, где возможна автоматизация всего процесса. Преимуществами метода являются высокая регулярность съёмки, доступность архивов и масштабное покрытие территорий, что особенно актуально для мониторинга в труднодоступных

регионах. Однако при всех преимуществах существуют ограничения, такие как облачность, трудности идентификации берегов при высокой влажности или растительности и необходимость валидации результатов на местности.

Помимо спутниковых данных, важную роль играют традиционные инструментальные и полевые методы, обеспечивающие высокоточное измерение и инженерную интерпретацию береговых процессов. Геодезические наблюдения, проводимые с использованием тахеометров, нивелиров и ГНСС-приёмников, позволяют определять координаты береговой черты с точностью до сантиметров. Лазерное сканирование (LiDAR), установленное на воздушных носителях или со спутника, даёт возможность создавать цифровые модели рельефа с высокой детализацией, что особенно полезно для анализа обрушений и эрозии.

Одним из наиболее оперативных способов наблюдения за берегами являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), обеспечивающие высокодетализированную аэросъёмку. Их данные применяются в фотограмметрической обработке для построения трёхмерных моделей берегов и выявления локальных изменений. Инженерно-гидрологические методы, такие как измерение уровня воды, дебита и скорости течения, дополняют картину динамики русла и необходимы для комплексной оценки русловых процессов.

Преимуществом инструментальных подходов является высокая точность, возможность изучения подводной части берегов и привязка к инженерным параметрам. Однако они требуют значительных ресурсов, технического обеспечения и проведения работ в натуре, что ограничивает их массовое применение.

2.2 Методы мониторинга сельскохозяйственных земель

Современный мониторинг сельскохозяйственных земель основан на сочетании дистанционного зондирования, геоинформационного анализа и наземных обследований. Главной задачей является оценка продуктивности и состояния агроландшафтов, определение зон деградации, выявление стрессов растительности и анализ водообеспеченности. Наиболее широко используются вегетационные индексы, такие как NDVI (определяющий плотность зелёной массы), SAVI (корректирующий влияние почвенного фона) и EVI (повышающий чувствительность к плотной растительности и устойчивый к шуму).

Полученные с помощью спутников (например, Landsat, Sentinel-2) изображения обрабатываются в ArcGIS, QGIS и Google Earth Engine для создания карт продуктивности и выявления зон риска. Такие методы позволяют отслеживать сезонные и многолетние изменения.

Дополнительную информацию предоставляют дроны и сенсорные системы, фиксирующие микроклиматические параметры и влажность почвы. Эти данные интегрируются в модели прогнозирования урожайности (например, DSSAT, AquaCrop), которые учитывают климат, тип почвы и агротехнику. Таким

образом, мониторинг становится не только диагностическим, но и прогностическим инструментом.

2.3 Взаимосвязь индексов SAVI и NDWI в оценке состояния сельскохозяйственных угодий

Одним из ключевых этапов анализа в настоящем исследовании является сопоставление значений индекса SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) и нормализованного разностного водного индекса NDWI (Normalized Difference Water Index). Такое сравнение позволяет не только выявить особенности пространственно-временного распределения влаги и растительного покрова, но и установить причинно-следственные связи между увлажнением территории и продуктивностью сельскохозяйственных культур.

Индекс NDWI отражает наличие поверхностной влаги и водных тел, демонстрируя степень насыщенности почвы влагой, а также затопление пойменных участков. В то же время индекс SAVI оценивает плотность и физиологическое состояние растительного покрова, учитывая влияние яркости почвенного фона, что особенно важно в условиях полупустынь и степей, где растительность разрежена и фон сильно влияет на спектральный отклик.

Анализ динамики NDWI и SAVI в разные годы позволяет выделить зоны риска деградации, где наблюдается недостаток влаги и одновременное снижение продуктивности биомассы. Кроме того, можно определить участки, где увеличение NDWI (например, вследствие весеннего паводка) приводит к росту значений SAVI, что свидетельствует об улучшении условий роста сельхозкультур и временном восстановлении угодий.

Такая корреляция между индексами подтверждается в ряде исследований. Например, по данным Т. Ghulam и соавт. (2007), анализ сочетания NDWI и SAVI позволяет эффективно оценивать стресс растительности, вызванный водным дефицитом. Аналогично, в работах Chowdhury & Hassan (2015) отмечается, что в условиях сезонной увлажненности NDWI является прогностическим индикатором состояния агроценозов, особенно на засоленных и затопляемых почвах.

Таким образом, сопоставление индексов NDWI и SAVI позволяет комплексно оценить гидрологическое и агробиологическое состояние сельскохозяйственных ландшафтов, выявить уязвимые зоны и дать количественную основу для принятия решений в области землепользования, орошения и охраны аграрных экосистем.

3 Анализ изменения русла реки Есиль

3.1 Получение мультиспектральных снимков

Для проведения исследования первым шагом были получены интересные снимки через сервис Earth Explorer (рисунок - 3.1) это сервис USGS, через который осуществляется получение самих данных.

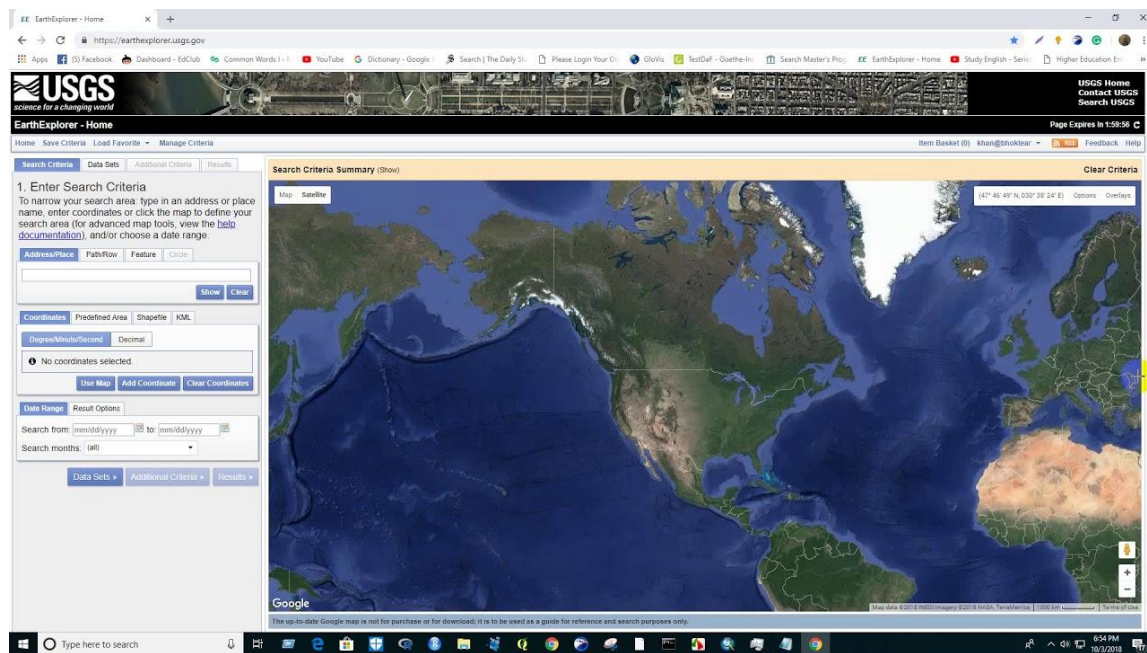


Рисунок - 3.1 – USGS Earth Explorer

Во вкладке "Критерии поиска" были заданы параметры запроса: соответствующие даты съёмки, координаты интересующей территории и допустимый уровень облачности. Во вкладке "Результаты" отобразились спутниковые снимки, соответствующие установленным условиям поиска.

Таким образом были выбраны спутниковые снимки:

LC08_L2SP_156024_20160425_20200907_02_T1
LC08_L2SP_156024_20180415_20200901_02_T1
LC08_L2SP_156024_20200506_20200820_02_T1
LC08_L2SP_156024_20220512_20220519_02_T1
LC09_L2SP_156024_20240423_20240424_02_T1
LC08_L2SP_156024_20160712_20200908_02_T1
LC08_L2SP_156024_20180704_20200831_02_T1
LC08_L2SP_156024_20200707_20200827_02_T1
LC08_L2SP_156024_20220715_20220726_02_T1
LC09_L2SP_156024_20240712_20240713_02_T1

После получения исходных данных следующим этапом стало их предварительное преобразование и анализ для выделения характеристик русла реки.

3.2 Нормализованный индекс разницы воды (NDWI)

Нормализованный водный индекс (NDWI) является одним из индексов дистанционного зондирования, который используется для количественной оценки наличия и распределения водных объектов. Его расчет основан на сравнении отражательной способности в ближнем инфракрасном (NIR) и зеленом (Green) спектральных диапазонах, полученных со спутниковых или аэрофотоснимков. Значения NDWI колеблются от -1 до +1, при этом более высокие значения указывают на значительное наличие водных поверхностей. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

где: NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра,
Green — отражение в зеленом диапазоне.

Диапазоны значений NDWI интерпретируются следующим образом:

- 0,2–1,0 наличие поверхностных вод,
- 0,0–0,2 участки с затоплением или повышенной влажностью,
- 0,3–0,0 умеренно засушливые зоны или неводные поверхности,
- 1,0–0,3 выраженная засуха и отсутствие воды [6].

Результаты анализа NDWI визуализируются в виде тематических карт и графиков. На картах области с высокими значениями индекса (ближе к +1) окрашиваются в синие оттенки, указывая на водные поверхности или зоны с высоким содержанием влаги. Напротив, более низкие значения (до -1) сигнализируют о засушливых условиях, позволяя выявлять территории с дефицитом влаги и принимать меры для адаптивного управления водными ресурсами.

Таким образом, применение NDWI является эффективным инструментом для мониторинга водных объектов, оценки рисков затопления и засухи. Основным преимуществом NDWI является его способность надежно идентифицировать водные объекты на спутниковых снимках. Однако недостатком является высокая чувствительность индекса к искусственным объектам (например, зданиям), что может приводить к ошибкам в интерпретации данных.

3.3 Расчет индекса NDWI

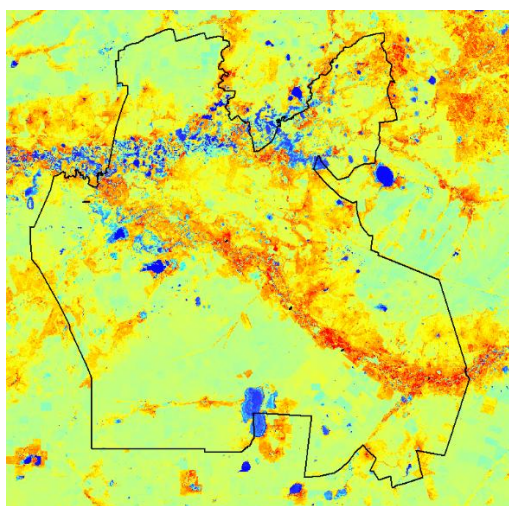
После изучения теоретических основ и выбора индекса NDWI как ключевого инструмента для выявления водных объектов, на следующем этапе были выполнены практические расчёты по спутниковым снимкам Landsat за выбранные годы в программном обеспечении ArcGIS Pro по формуле 1.

Река Есиль относится к водотокам с преобладанием снегового питания, на которое приходится более 80% годового стока. Основное поступление воды в

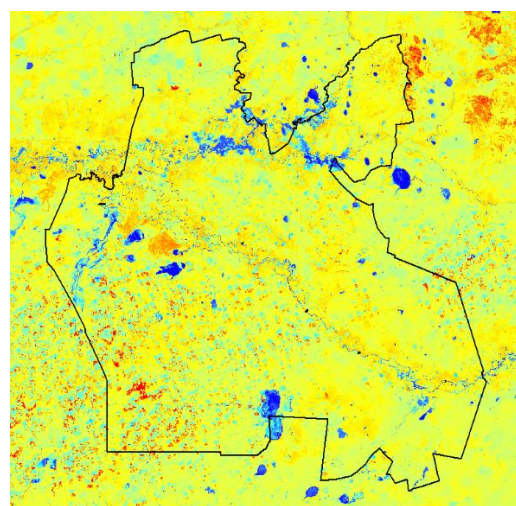
реку обеспечивается за счёт таяния снега весной, а также атмосферных осадков. Доля подземного стока и подпитки за счёт поймы остаётся минимальной, однако именно она играет ключевую роль в поддержании минимального уровня воды в меженьный период – летом, осенью и зимой [3].

Решением вопросов по формированию и использованию водных ресурсов в Центральной Азии, в том числе Казахстане, занимаются ученые-водники Казахского национального аграрного исследовательского университета (КазНАИУ), в котором создан Международный исследовательский центр «Водный хаб», инициатором его в 2017г. на базе КазНАИУ стал Азиатский банк развития. Эта инициатива была поддержана Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан и Комитетом по водным ресурсам МСХ РК. Данная программа направлена на решение актуальных задач, стоящих перед сельским хозяйством страны, такие как: увеличение площади водообеспеченных земель регулярного орошения для роста объемов и улучшения качества растениеводческой продукции; широкое внедрение перспективных ресурсосберегающих технологий и технических средств орошения; увеличение продуктивности оросительной воды и производительности труда; обеспечение качественного планирования водопользования и водораспределения; сохранение плодородия орошаемых земель [4].

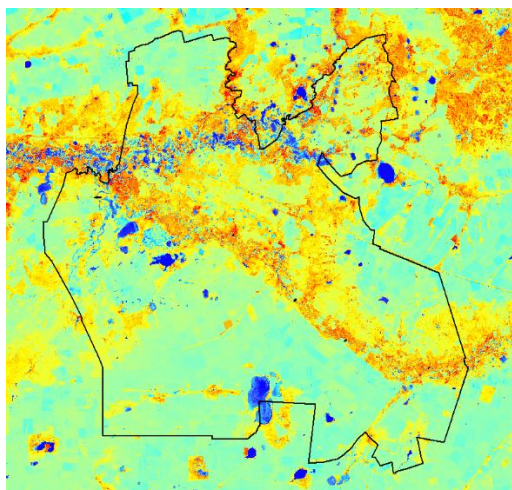
По результатам анализа, выполненного на основе нормализованного водного индекса (NDWI) (рисунок - 3.2), можно чётко проследить изменчивость площади и протяжённости водной поверхности реки Есиль в разные годы. Особенно заметна сезонная и межгодовая динамика, что подтверждает сильную зависимость водного режима от объёма весеннего таяния снега.



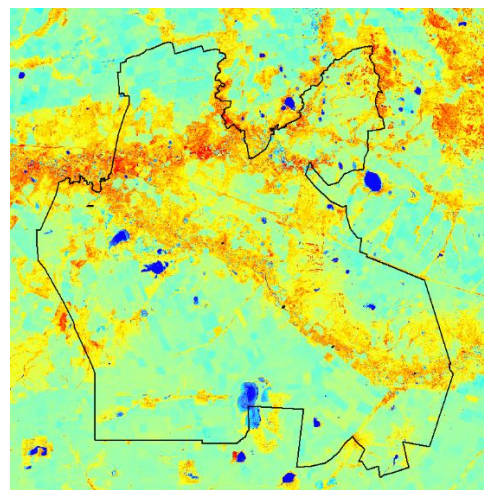
а)



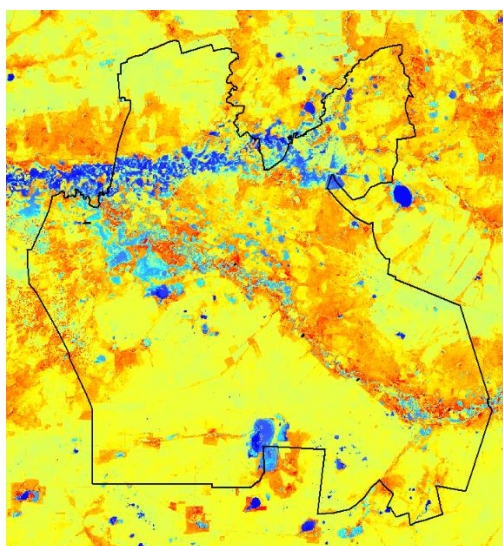
б)



б)



г)



д)

Рисунок - 3.2 – Результаты вычисления водного индекса
а) 2016 год; б) 2018 год; в) 2020 год; г) 2022 год; д) 2024 год.

В периоды маловодья, например в 2022 году, NDWI фиксирует значительное сокращение водной поверхности (значения колеблются от -0,99 до 0,26), особенно на пойменных участках, где уровень воды минимален. В противоположность этому, в паводкоопасные годы (2024), индекс NDWI демонстрирует резкий рост значений, указывая на обширное разливание реки и затопление прибрежных территорий. Это явление особенно ярко проявляется на заливных сенокосах и пастбищах, временно превращающихся в водоёмы.

3.4 Оценка пространственных характеристик русла реки

Для более точной оценки пространственных характеристик русла реки Есиль в программной среде ArcGIS Pro были применены специализированные инструменты пространственного анализа, такие как переклассификация растров по значениям NDWI и последующая полигонизация растровых данных [7]. Были выделены участки с выраженными признаками водной поверхности, что позволило сформировать векторные слои, отображающие фактическое русло реки для каждого анализируемого года (рисунок - 3.3).

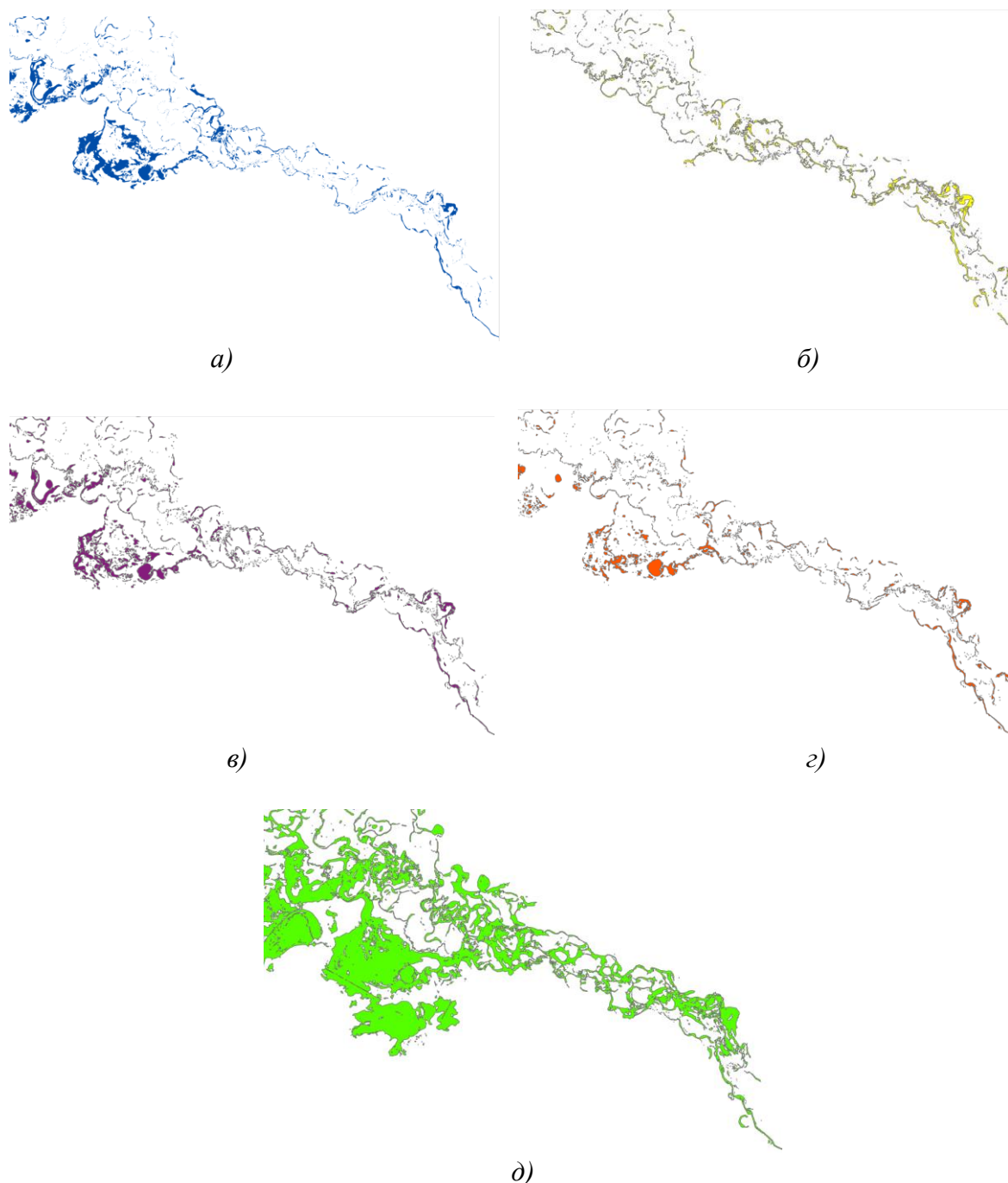


Рисунок - 3.3 – Результат векторизации реки Есиль
а) 2016 год; б) 2018 год; в) 2020 год; з) 2022 год; д) 2024 год.

На основе полученных векторных слоев были проведены расчёты площади водного зеркала Есиля в динамике по годам, а также определена ширина русла на отдельных контрольных участках (таблица 2, 3, график 1).

Таблица 2 – Площадь водного зеркала

Годы	2016	2018	2020	2022	2024
Площадь, га	22759	20041	19920	6521	53865

Динамика площади водной поверхности реки Есиль свидетельствует о высоких колебаниях водного режима. В 2016, 2018 и 2020 гг. площадь водного зеркала оставалась относительно стабильной. В 2022 году зафиксировано резко сокращение, что может быть связано с низким уровнем снежного покрова. В 2024 площадь резко увеличилась, это обусловлено масштабными паводками, охватившими значительную часть территории Казахстана

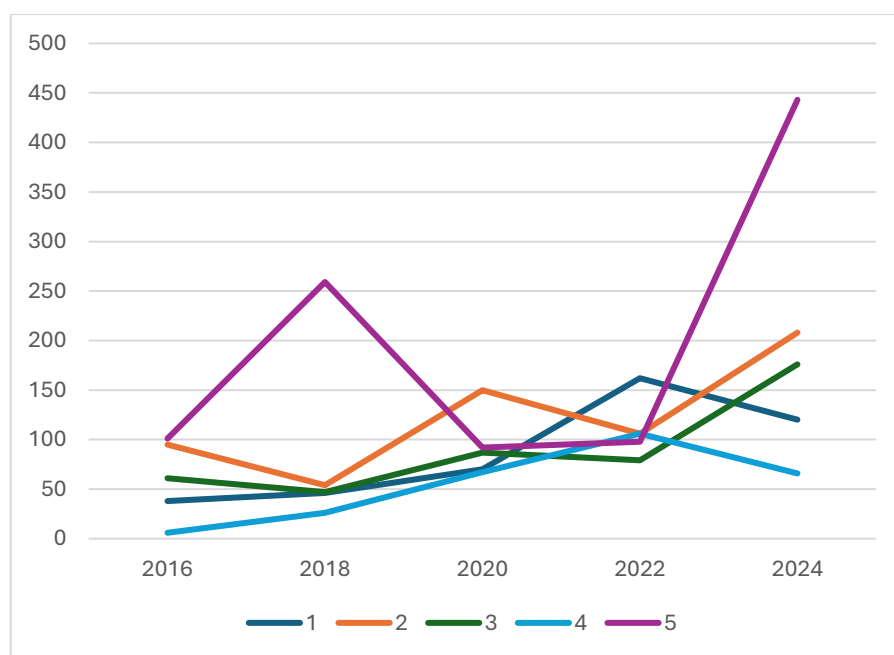


График 1 – Ширина русла на отдельных контрольных участках, м

Таблица 3 – Ширина русла на отдельных контрольных участках

Годы	2016	2018	2020	2022	2024
Участок 1	38	95	61	6	101
Участок 2	46	54	47	26	259
Участок 3	70	150	87	67	92
Участок 4	162	106	79	106	98
Участок 5	120	208	176	66	443

Таким образом, пространственно-временной анализ индекса NDWI не только подтверждает природные особенности речного питания Есиля, но и позволяет наглядно оценить масштабы паводков и участки сельскохозяйственных угодий, подверженных наибольшему воздействию воды.

3.5 Зоны затопления

Для более детальной оценки воздействия паводков была выполнена сводная карта "зон затопления" (рисунок - 3.4), построенная на основе многолетнего анализа значений NDWI (рисунок - 3.2). Суть метода заключалась в послойном наложении и суммировании растровых данных, полученных за каждый год наблюдений.

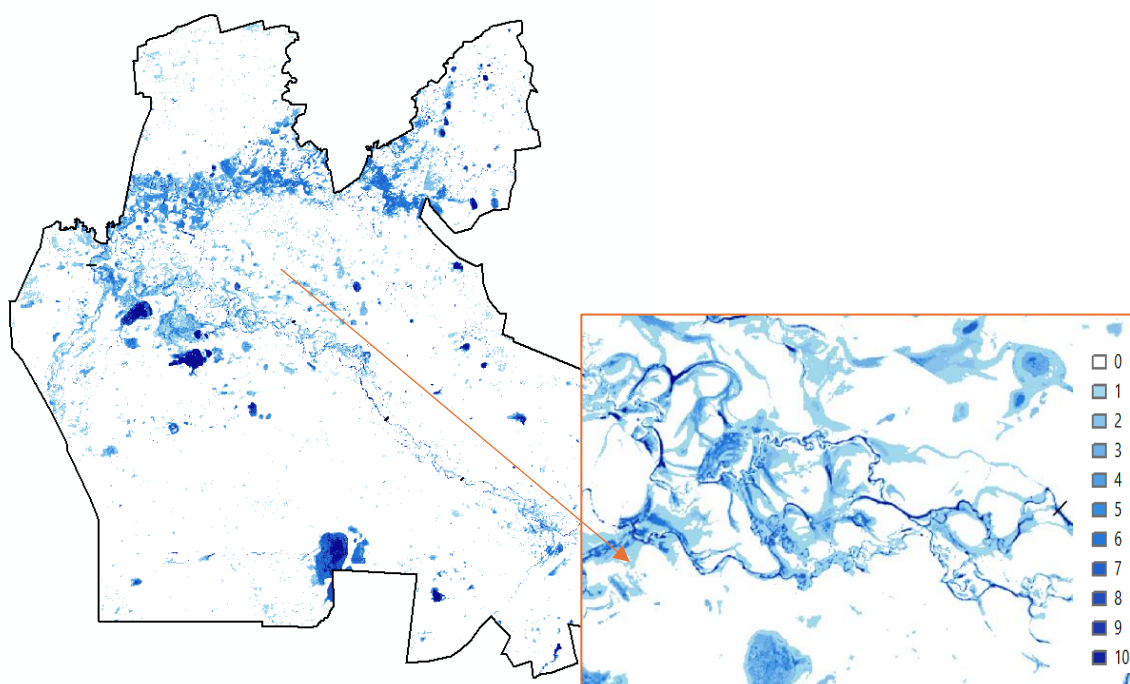


Рисунок - 3.4 – Зоны затопления

Цветовая шкала отражает частотность затоплений (от 0 до 10 раз). Участки, затопленные 3 и более раз, можно отнести к зонам высокой вероятности риска.

Для определения конкретных сельскохозяйственных угодий, находящихся в зоне риска, был использован инструмент "Зональная статистика". Путём наложения векторных границ сельхозучастков на слой суммарного водного индекса были выявлены поля, подвергавшиеся затоплениям в течение анализируемого периода (рисунок - 3.5).

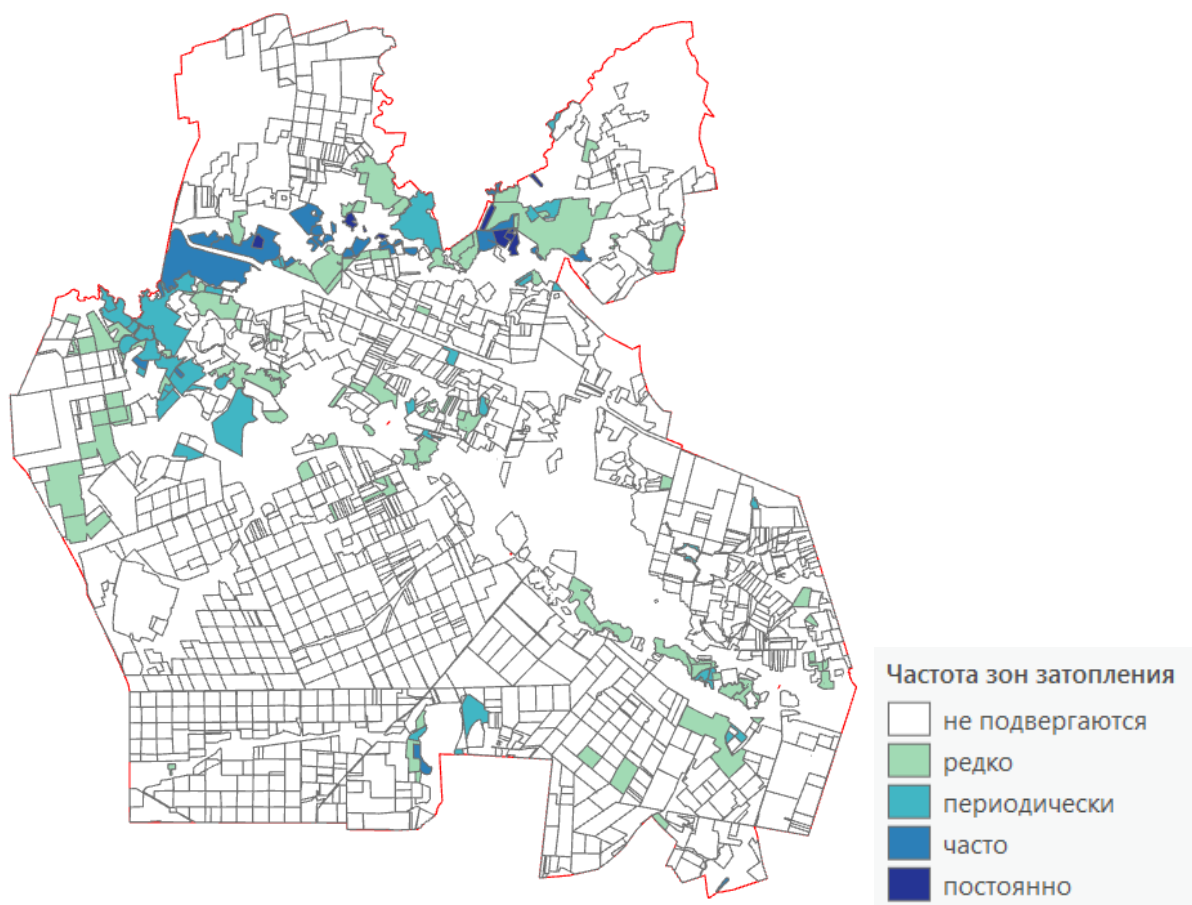


Рисунок - 3.5 – Сельскохозяйственные земли, подвергающиеся затоплению

Большинство таких участков сконцентрированы в западной и северо-западной части района, вдоль основного русла реки Есиль и её правого притока — реки Колутон. Это подтверждает не только пространственную зависимость между залеганием угодий и руслом, но и необходимость учёта паводковой активности при планировании землепользования. Выделенные зоны важны для оценки угрозы сельхозугодьям. Полученные данные могут использоваться для управления землепользованием и планирования посевов. Для комплексной оценки последствий паводков, а также определения уровня продуктивности и деградации земель, в исследовании дополнительно был рассчитан вегетационный индекс.

При повторяющемся и длительном затоплении происходят негативные изменения в почвенной среде, что приводит к деградации как структуры почвы, так и её агрохимических свойств. К числу наиболее значимых процессов относятся:

- Выщелачивание гумуса и питательных элементов, особенно на легких механических почвах. Вода, проходя через верхние горизонты, вымывает азот, калий и фосфор, нарушая питательный баланс и снижая потенциальную урожайность;
- Переувлажнение и анаэробные условия, при которых нарушается аэробный микробиологический режим почвы. Это приводит к разложению органического вещества без доступа кислорода и образованию токсичных соединений (метан, сероводород), что угнетает рост корневых систем;
- Увеличение солонцеватости почв, особенно на участках с высоким уровнем грунтовых вод. Повторное подтопление способствует капиллярному подъёму солей из нижних горизонтов, что ухудшает водно-физические свойства почв и снижает их плодородие;
- Распространение галофитной (солеустойчивой) и нежелательной растительности, вытесняющей ценные кормовые виды. На засоленных участках появляются типичные индикаторы деградации — солеросы, свёда, сарсазан, что свидетельствует о неблагоприятных агроэкологических условиях.

Особенно остро эти процессы проявляются в зонах, где затопление происходит чаще 5 раз за 9 лет — то есть с частотой более 55 %. В таких условиях использование пойменных земель под пашню становится экономически и экологически нецелесообразным. Применение традиционного земледелия здесь связано с высокими затратами на дренаж, мелиорацию и агрохимическое восстановление почв, при этом остаётся высокий риск потерь урожая из-за непредсказуемой водной нагрузки.

В связи с этим рекомендуется перевод таких участков из пашенного фонда в альтернативные формы использования, в первую очередь:

- как естественные сенокосы и пастбища, обеспечивающие кормовую базу при минимальных вложениях;
- для фитомелиорации — посадки устойчивых многолетних трав и кустарников (например, люцерны, костреца безостого, шиповника), которые укрепляют почву, улучшают её структуру и препятствуют развитию эрозионных и засолительных процессов;
- в отдельных случаях — как экологические буферные зоны, выполняющие функции фильтрации паводковых вод и защиты от загрязнения поверхностных стоков.

Такой подход соответствует принципам адаптивного землепользования и устойчивого управления водными ландшафтами в условиях изменчивого климата. Переориентация хозяйственного использования этих территорий снижает риски, связанные с урожайностью, и способствует восстановлению естественного ландшафтно-гидрологического баланса пойменной экосистемы.

4 Анализ состояния сельскохозяйственных угодий на основе вегетационных индексов

4.1 Вегетационный индекс с коррекцией по почве

Индекс растительности, скорректированный по яркости почвы (SAVI — Soil-Adjusted Vegetation Index), представляет собой модифицированный вегетационный индекс, предназначенный для количественной оценки растительного покрова с учетом влияния отражательной способности почвы. SAVI особенно эффективен в условиях редкой растительности, где вклад яркости почвы может существенно искажать результаты стандартных индексов, таких как NDVI.

Расчет индекса SAVI основан на значениях отражения в красном (RED) и ближнем инфракрасном (NIR) диапазонах спектра и включает специальный поправочный коэффициент L, который компенсирует влияние почвы. Формула индекса SAVI выглядит следующим образом:

$$SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) \times (1 + L) \quad (2)$$

где: NIR — отражение в ближнем инфракрасном диапазоне,

RED — отражение в красном диапазоне,

L — поправочный коэффициент, учитывающий влияние почвы (обычно принимается равным 0,5 для среднеплотной растительности).

Значения SAVI варьируются от -1 до +1 и интерпретируются следующим образом:

от 0,5 до 1,0 — высокая продуктивность растительности,

от 0,2 до 0,5 — средняя плотность растительного покрова,

от 0,0 до 0,2 — слабое озеленение, угнетённая или редкая растительность,

менее 0 — отсутствие растительности, застройка, водные объекты или сильно деградированные территории.

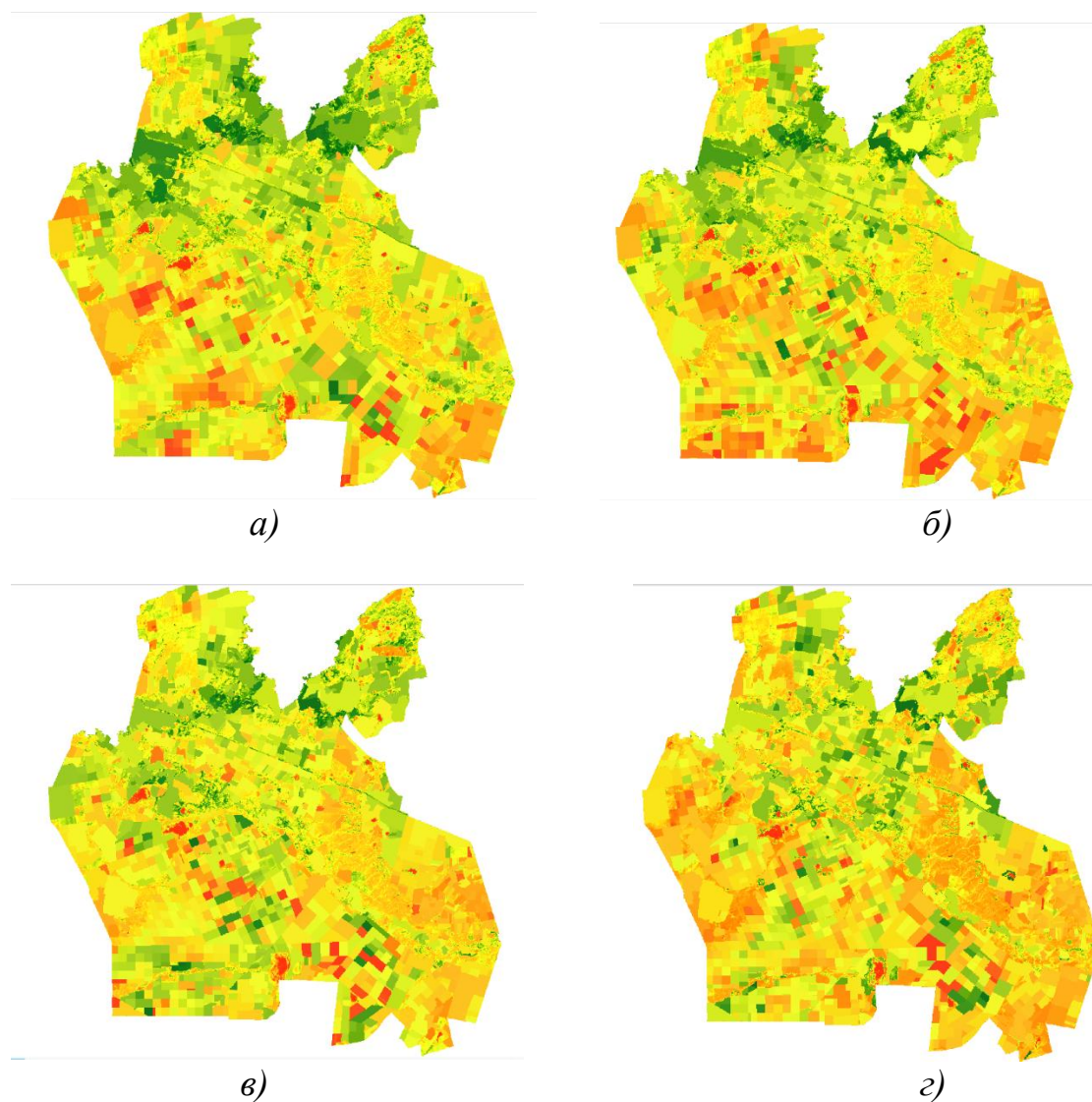
Визуализация результатов SAVI представляется в виде карт с градацией оттенков от красного (низкие значения) до зелёного (высокие значения), что позволяет наглядно оценить состояние растительности. Также используется графический анализ динамики значений по годам, в зависимости от климатических условий и антропогенного воздействия.

Применение индекса SAVI особенно важно для оценки качества сельскохозяйственных угодий, выявления деградированных земель, а также мониторинга эффективности ирригации и восстановления растительности после паводков или засух. Одним из ключевых преимуществ SAVI является его устойчивость к фоновому шуму от почвы, что делает его более надёжным в условиях смешанных или слабозаселённых растительностью территорий. В то же время применение SAVI требует точной настройки коэффициента L, что может ограничивать его универсальность без дополнительного анализа.

Таким образом, SAVI представляет собой мощный инструмент для экологического и аграрного мониторинга, особенно в регионах с переменным растительным покровом и сложными почвенными условиями.

4.2 Расчет SAVI

На основе изученных теоретических положений индекс SAVI был выбран в качестве одного из ключевых инструментов для анализа состояния сельскохозяйственных угодий. Для реализации поставленной задачи был проведён расчет индекса SAVI с использованием спутниковых данных Landsat за ряд лет, где индекс вычислялся согласно формуле (2), что позволило учесть влияние яркости почвы и получить более точную картину распределения растительности (рисунок - 4.1).



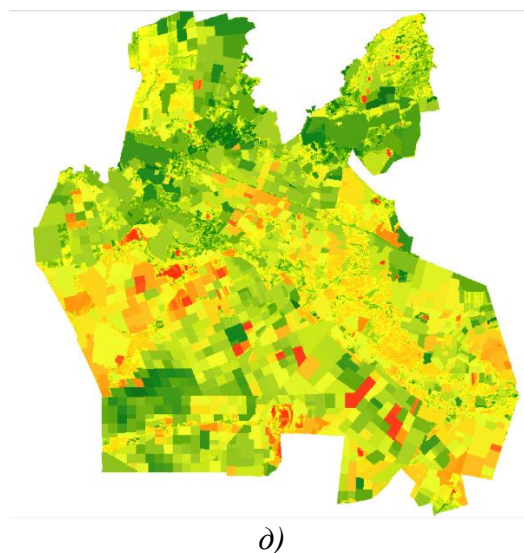


Рисунок - 4.1 – Результат вычисления SAVI
а) 2016 год; б) 2018 год; в) 2020 год; г) 2022 год; д) 2024 год.

Для более детального анализа состояния растительности на конкретных сельскохозяйственных участках были использованы векторные границы полей, по которым с помощью инструмента Зональная статистика в ArcGIS Pro было определено среднее значение SAVI для каждого участка в каждый из анализируемых годов.

Полученные результаты позволили выявить пространственно-временные изменения в показателях растительности и проследить взаимосвязь между изменениями в русле реки Есиль и состоянием прилегающих сельскохозяйственных угодий. В ряде участков наблюдалось снижение значений SAVI в периоды, когда фиксировались отклонения в гидрологическом режиме реки (например, резкое падение уровня воды в 2022 году), что может свидетельствовать о деградации почв или недостаточной влажности. Напротив, в 2024 году, на фоне масштабных паводков, отмечено повышение значений SAVI на заливных сенокосах и участках, прилегающих к пойме, что указывает на положительное влияние временного увлажнения на вегетацию.

- В годы повышенной водности наблюдается рост значений SAVI на заливных лугах и сенокосах, что подтверждает положительное влияние паводков на развитие травяной растительности.

- В засушливые и маловодные годы (2015–2019) преобладали умеренные значения, особенно на орошаемых полях, где водоснабжение обеспечивалось искусственно.

- В 2022 году, на фоне резкого снижения площади водного зеркала, индекс SAVI указывает на стагнацию или снижение растительности, особенно в прибрежной зоне.

Выявленные типы участков:

- Поля со стабильно низким значением SAVI – возможно, деградированные или малопродуктивные участки (значения <0.2).

- Орошаемые поля показывают средние значения индекса на протяжении всего периода (0.3–0.5).
- Заливные сенокосы в 2024 году – высокие значения SAVI (>0.5), свидетельствуют об активной биомассе после весеннего паводка.

Таблица 4 – Индекс SAVI для некоторых орошаемых полей

Годы	2016	2018	2020	2022	2024
Поле 1	0.366	0.322	0.327	0.339	0.390
Поле 2	0.384	0.358	0.279	0.375	0.411
Поле 3	0.497	0.355	0.503	0.532	0.304
Поле 4	0.399	0.375	0.367	0.313	0.400
Поле 5	0.367	0.393	0.268	0.262	0.322

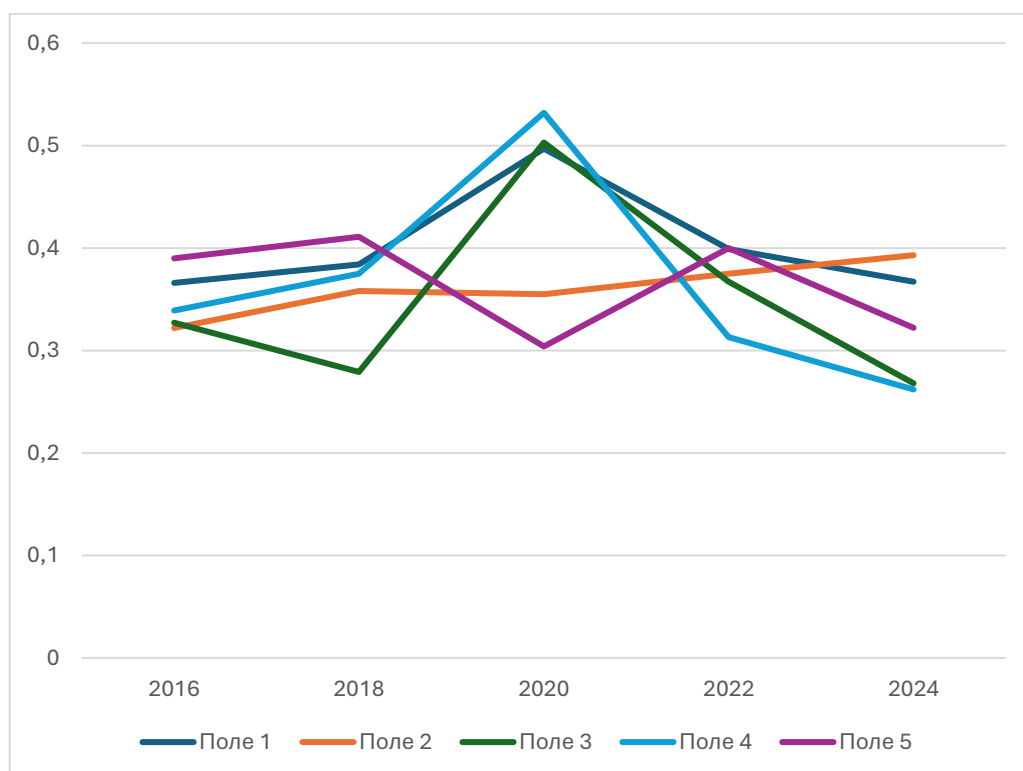


График 2 – Значения SAVI для некоторых орошаемых полей

Для оценки состояния растительности на орошаемых сельскохозяйственных полях были рассчитаны средние значения индекса SAVI по данным спутниковых снимков за выбранные годы. В таблице 4 и графике 2 приведены значения для пяти типичных полей, на которых в течение исследуемого периода прослеживаются характерные изменения.

Общие наблюдения:

– Поле 1 демонстрирует стабильные показатели с умеренным ростом в 2024 году, что может быть связано с улучшением условий увлажнения после паводков.

– Поле 2 показывает спад в 2019 году, однако затем значение индекса стабилизируется и достигает максимума в 2024 году (0.411), что свидетельствует о положительной реакции растительности на переувлажнение.

– Поле 3, наоборот, демонстрирует высокий уровень SAVI в 2015, 2019 и 2022 годах, но в 2024 году происходит заметное снижение до 0.304. Это может свидетельствовать о переувлажнении или повреждении культур вследствие затопления.

– Поле 4 показывает наиболее ровные значения, без резких скачков, что может свидетельствовать о стабильных агротехнических условиях.

– Поле 5 имеет наиболее низкие показатели в 2019 и 2022 годах (0.268 и 0.262 соответственно), вероятно, в связи с недостатком влаги или деградацией почв. В 2024 году наблюдается восстановление до 0.322.

Представленные данные демонстрируют разную степень зависимости сельскохозяйственных полей от условий увлажнения. Особенно показательным является 2024 год — период обильных паводков, который оказал как положительное, так и отрицательное влияние на растительность в зависимости от характеристик участка. Таким образом, анализ SAVI позволяет не только количественно оценить состояние сельхозугодий, но и выявить рискованные зоны, подверженные деградации из-за экстремальных гидрологических условий.

Для оценки зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от изменений увлажнения и состояния растительности был проанализирован объём валового сбора и уточнённая посевная площадь зерновых и бобовых культур в Астраханском районе за 2016, 2018, 2020, 2022 и 2024 гг. [9].

Таблица 5 – Посевная площадь сельскохозяйственных культур

Уточненная посевная площадь зерновых (включая рис) и бобовых культур					
<i>в гектарах</i>					
	2016	2018	2020	2022	2024
Астраханский	322 449,0	341 800,2	357 584,3	350 401,9	355 475,5
из них пшеницы					
Астраханский	290 433,0	302 329,2	313 846,3	319 269,4	322 018,6

Валовой сбор зерновых (включая рис) и бобовых культур					
<i>центнеров</i>					
	2016	2018	2020	2022	2024
Астраханский	3 229 914,0	4 163 336,5	3 223 334,2	3 429 159,3	4 527 627,5
из них пшеницы					
Астраханский	2 903 056,0	3 595 249,2	2 787 531,7	3 127 671,8	4 128 462,3

Как видно из таблицы 5, посевные площади в рассматриваемые годы изменялись незначительно — от 322 до 357 тыс. га, что позволяет исключить влияние площади как основного фактора изменения урожая. При этом наблюдаются существенные колебания валового сбора.

Особенно заметен рост урожайности в 2024 году, когда валовой сбор зерновых и бобовых культур достиг 4,5 млн центнеров, что на 32 % выше, чем в засушливом 2020 году. Это коррелирует с результатами анализа NDWI и SAVI, согласно которым в 2024 году зафиксированы высокие значения индексов в пойменных зонах и восстановление растительности на ранее деградированных полях.

Таким образом, можно сделать вывод, что уровень водообеспеченности, связанный как с природными паводками, так и с мелиоративными мероприятиями, оказывает существенное влияние на урожайность, особенно в условиях ограниченной влаги.

4.3 Рекомендации по адаптации землепользования к гидрологической изменчивости

Учитывая выявленную неустойчивость гидрологического режима реки Есиль, важно предложить адаптационные меры, направленные на минимизацию рисков и повышение устойчивости агропроизводства. Первоочередной задачей является зонирование сельскохозяйственных угодий в зависимости от частотности затопления и водной обеспеченности. Участки, находящиеся в зоне регулярного весеннего подтопления, рекомендуется использовать под сенокосы и кормовые культуры, устойчивые к переувлажнению. На полях с высокой продуктивностью и низким риском затопления целесообразно сохранять посевы зерновых культур.



Рисунок - 4.2 – Система орошения

Развитие ирригационной и дренажной инфраструктуры (рисунок - 4.2), особенно в восточной части Астраханского района, может значительно снизить риски деградации сельхозземель. Введение элементов точного земледелия, таких как дистанционный мониторинг вегетационных индексов и автоматизированное управление поливом, повысит адаптивные возможности хозяйств.

Необходимо также разработать систему агрострахования для участков, подверженных паводкам, а также включить регулярный мониторинг водного режима в перечень обязательных агротехнических мероприятий. Повышение осведомлённости фермеров, обучение работе с ГИС и спутниковыми данными и внедрение цифровых платформ являются важными шагами к устойчивому управлению землями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного исследования была проведена пространственно-временная оценка изменений русла реки Есиль и их влияния на прилегающие сельскохозяйственные угодья с использованием дистанционного зондирования и ГИС-анализов. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

Динамика реки Есиль за 2016–2024 годы характеризуется высокой изменчивостью: зафиксированы как периоды маловодности (2022 год), так и экстремально высокие паводки (2024 год), в результате которых площадь водной поверхности увеличилась почти в 9 раз по сравнению с предыдущим минимумом.

Анализ почвенно-растительного индекса SAVI показал, что в годы с высоким уровнем воды (например, 2024) наблюдается значительный рост биомассы на заливных угодьях. В то же время поля с постоянным дефицитом влаги характеризуются стабильно низкими значениями SAVI, что свидетельствует о деградации земель.

Проведенное исследование подтвердило высокую актуальность темы оценки динамики русла реки Есиль и её влияния на прилегающие сельскохозяйственные угодья. Изменчивость природных условий, изменение речной активности и связанных с ней паводков — это факторы, оказывающие прямое влияние на продуктивность агроэкосистем, особенно в зонах с преобладанием сенокосов и орошаемых земель.

Полученные результаты доказывают, что использование методов дистанционного зондирования и инструментов ГИС-анализа даёт возможность выявлять зоны риска, отслеживать деградационные процессы и принимать обоснованные решения в управлении земельными ресурсами. Показано, что даже относительно стабильные участки могут подвергаться регулярным гидрологическим воздействиям, что напрямую отражается на состоянии растительности и, следовательно, на урожайности.

Высокая частотность затоплений в последние годы (особенно экстремальный паводок 2024 года), выявленные по данным NDWI, а также пространственное распределение участков с пониженным индексом SAVI подчеркивают необходимость постоянного мониторинга. Это особенно важно в условиях климатических изменений, вызывающих нестабильность гидрологических процессов.

Таким образом, необходимость изучения подобных процессов обусловлена не только научным интересом, но и прикладной значимостью результатов для сельского хозяйства, охраны окружающей среды и планирования устойчивого землепользования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Макаревич А. А., Яротов А. Е. Речной сток и русловые процессы: пособие. – Минск: БГУ, 2019. – 115 с.
- 2 Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1: Природные условия и ресурсы. – Алматы, 2006. – 125 с.
- 3 Тусупбекова А. О. Влияние антропогенных факторов на состояние реки Есиль на территории Республики Казахстан. – Астана, 2016.
- 4 Есполов Т. И., Тиреуов К. М., Керимова У. К. Водные ресурсы в сельском хозяйстве Республики Казахстан: взгляд ученых на рациональное использование, перспективы и управление // Проблемы агрорынка. – 2022. – № 3. – С. 155–163.
- 5 Шуткараев А. В., Баринаова Г. К., Асылбекова А. С. Современное состояние гидрологического и гидрохимического режима реки Есиль – Астана, Казахстан // География и природные ресурсы. – 2021. – № 3. – С. 45–52.
- 6 Морозова В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования – <https://terjournal.ru/2019/id85/> (дата обращения: 15.02.2025).
- 7 Волынец Е. И., Волынец А. В., Паниди Е. А. Обнаружение береговой линии по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2020. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44103778_15873238.pdf (дата обращения: 20.02.2025).
- 8 Токаев К.-Ж. Глава государства выступил на Саммите ООН по продовольственным системам, 2021. – <https://www.akorda.kz> (дата обращения: 18.03.2025).
- 9 Бюро национальной статистики. Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан – <https://stat.gov.kz> (дата обращения: 05.04.2025).