

Научная статья

Original article

УДК 528.88: 911.3

doi: 10.55186/2413046X_2024_9_10_406

**АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ И СОСТОЯНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС И
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ПРОВИНЦИИ
ДОНГНАЙ, ВЬЕТНАМА**

**ANALYSIS OF NATURAL FACTORS AND AGRICULTURAL LAND
CONDITIONS USING GIS AND MULTISPECTRAL DATA: A CASE STUDY
OF DONG NAI PROVINCE, VIETNAM**



Нго Суан Хиен, аспирант, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, Москва, E-mail: ngoxuanhien97@gmail.com

Лепехин Павел Павлович, доцент кафедры геоэкологии и природопользования, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, Moscow, E-mail: Shampolamo@gmail.com

Ngo Suan Khien, Postgraduate student, State University of Land Management, Moscow, E-mail: ngoxuanhien97@gmail.com

Lepekhn Pavel Pavlovich, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Management, State University of Land Management, Moscow, E-mail: Shampolamo@gmail.com

Аннотация. В статье представлен анализ влияния природных факторов на развитие растительного покрова сельскохозяйственных земель провинции

Донгнай на основе мультиспектральных данных Landsat 8 и радиолокационных данных SRTM. Исследование включает выбор территории, обработку спутниковых снимков и статистический анализ основных показателей. Особое внимание уделено корреляциям между индексами NDVI, NDMI, температурой поверхности (LST), а также характеристиками рельефа, такими как высота, уклон и экспозиция. Установлено, что факторы влажности и температуры поверхности играют наибольшую роль в поддержании и развитии растительного покрова в исследуемой области, тогда как рельефные факторы, такие как высота, уклон и экспозиция, оказывают незначительное или малозначительное влияние. Полученные результаты позволяют определить оптимальные диапазоны природных факторов для улучшения состояния сельскохозяйственных земель и формулировать рекомендации по их устойчивому использованию и развитию.

Abstract. This article presents an analysis of the impact of natural factors on the development of vegetation cover on agricultural lands in Dong Nai Province, based on multispectral Landsat 8 data and SRTM radar data. The study includes site selection, satellite image processing, and statistical analysis of key indicators. Special attention is given to correlations between NDVI, NDMI, land surface temperature (LST), and terrain characteristics such as elevation, slope, and aspect. It was found that moisture and surface temperature play the most significant role in maintaining and developing vegetation cover in the study area, while terrain factors such as elevation, slope, and aspect have little or no influence. The results allow for the identification of optimal ranges of natural factors to improve the condition of agricultural lands and offer recommendations for their sustainable use and development.

Ключевые слова: сельскохозяйственные земли, NDVI, NDMI, экспозиция, температура поверхности (LST), эвклидовы расстояния, дистанционное зондирование

Keywords: agricultural lands, NDVI, NDMI, aspect, land surface temperature (LST), Euclidean distances, remote sensing

Введение

Изменения в землепользовании и состоянии растительного покрова имеют ключевое значение для оценки сельскохозяйственных угодий, становясь основой для анализа экологических процессов и обеспечения устойчивого развития территорий[3]. Преобразования ландшафта как комплексной системы землепользования в различных масштабах и формах составляют важный компонент изменений земной поверхности. Взаимодействие между ландшафтом, способом использования земель и растительным покровом привлекает всё большее внимание в исследованиях, связанных с изменениями окружающей среды[4]. Оценка экологической безопасности становится необходимым элементом управления и снижения негативных воздействий на региональную экологию, играя важную роль в устойчивом развитии сельскохозяйственных территорий. Этот процесс включает анализ экологических рисков и уязвимостей на природном, экономическом и социальном уровнях, а также позволяет определить целостность и устойчивость экосистемы.

В последние годы особое внимание уделяется анализу изменений, уязвимостей, чувствительности и неоднородности ландшафтов. Методы, такие как индексы структуры ландшафта, эффект размера частиц и алгоритмы пространственного анализа, основанные на данных дистанционного зондирования, получают всё более широкое применение[7].

Цели и задачи исследования

Мультиспектральная спутниковая съемка представляет собой эффективный инструмент для наблюдения за состоянием земель, используемых в сельском хозяйстве. Она позволяет решать широкий спектр задач, включая:

1. Оценка состояния почвы: Мультиспектральные данные помогают анализировать физико-химические свойства почвы, такие как уровень влажности, плодородие, кислотность (рН) и другие параметры. Это позволяет улучшить процессы внесения удобрений и полива, а также повысить общее качество почвы.

2. Мониторинг растительности: Спектральные данные позволяют оценивать здоровье и рост растений, обнаруживать стрессовые состояния, вызванные засухой, болезнями или вредителями. Это помогает фермерам и агропредприятиям принимать оперативные меры для повышения урожайности.

3. Анализ урожайности: Мультиспектральные данные дают возможность оценивать площадь посевов, прогнозировать продуктивность и выявлять проблемные зоны. Это позволяет более эффективно планировать сбор урожая и оптимизировать процессы.

4. Наблюдение за агротехническими процессами: Спутниковые снимки позволяют отслеживать фазы развития культур, определять оптимальные сроки для внесения удобрений, обработки почвы и других агротехнических мероприятий.

5. Контроль использования земельных ресурсов: Мультиспектральные данные помогают отслеживать соблюдение правил землепользования, выявлять случаи незаконного использования участков и фиксировать изменения в распределении сельскохозяйственных земель.

6. Оптимизация полевых работ: С помощью анализа мультиспектральных снимков можно выявлять наиболее подходящие зоны для посевов, а также

оценивать потребности в поливе и удобрениях, что позволяет лучше организовать полевые работы.

Материалы и методы

Основой исследования являются мультиспектральные снимки спутника Landsat 8, полученные для территории провинции Донгнай . В статье применены различные методы обработки данных, включая интерполяцию рельефа, расчет индексов вегетации (NDVI) и влажности почвы (NDMI), а также температурные модели поверхности (LST). Снимки были проанализированы в программном обеспечении ArcGIS, где были применены алгоритмы классификации и кластеризации для выделения территорий с наиболее продуктивной растительностью.

Мониторинг и оценка состояния земель с использованием мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) осуществляется поэтапно, в следующей последовательности:

1. Выбор территории исследования.
2. Разработка алгоритма проведения работ.
3. Сбор исходной информации из современных источников.
4. Анализ радиолокационных снимков:
 - 4.1) Создание математической модели рельефа.
 - 4.2) Определение экспозиции территории.
 - 4.3) Анализ уклонов рельефа.
 - 4.4) Формирование изолиний.
 - 4.5) Оценка гидрографических характеристик.
 - 4.6) Расчет эвклидовых расстояний.
5. Индексный анализ мультиспектральных данных.
6. Анализ комбинаций спектральных каналов многоканального раstra.
7. Кластеризация многоканальных данных.

8. Расчет температуры поверхности (LST).
9. Экстракция данных для сети точек.
10. Статистический анализ полученных данных.

В целом алгоритм оценки экологического состояния и пригодности земель для ведения сельского хозяйства с использованием данных ДЗЗ можно представить в виде следующей блок-схемы (Рис. 1).

На данной схеме можно увидеть, что в методике используются данные ДЗЗ, включая мультиспектральную съемку и радиолокационную съемку для математического и географического анализа территории средствами ГИС-системы.

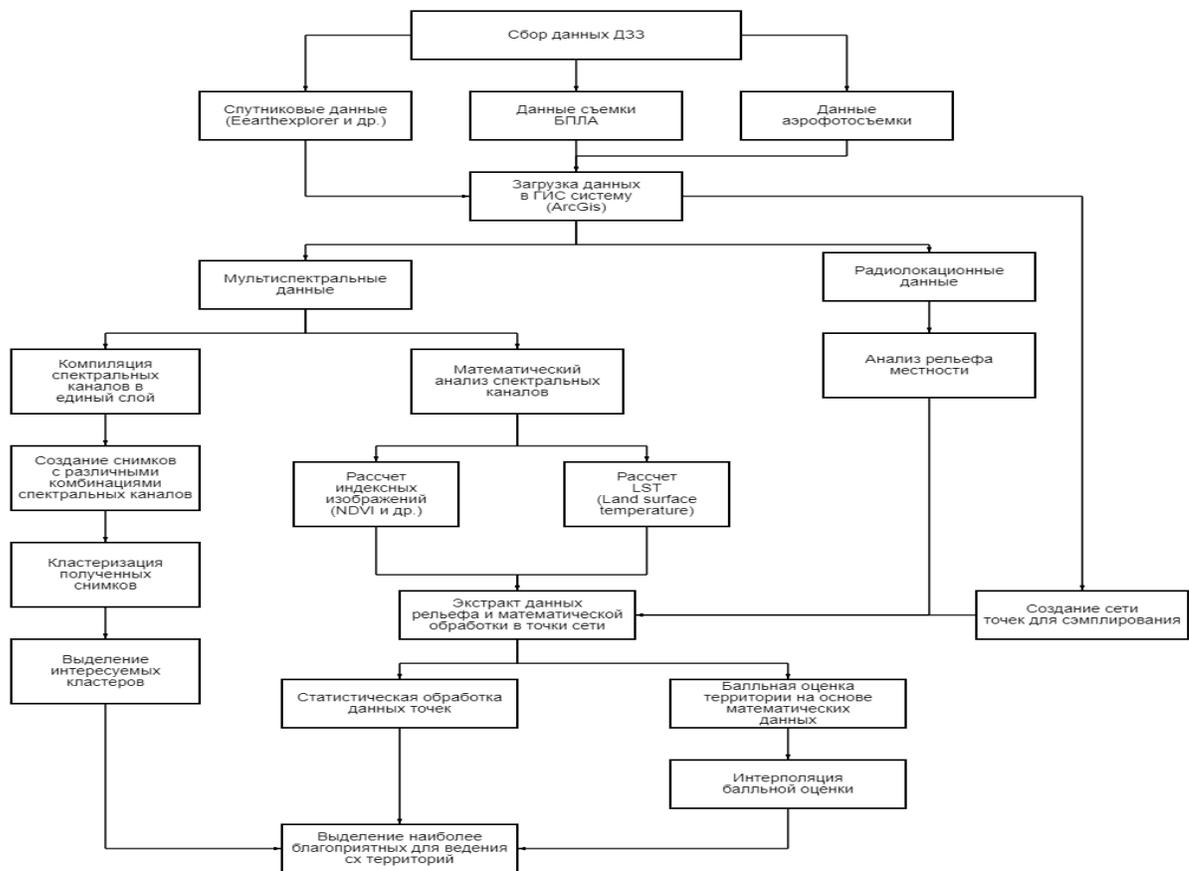


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма анализа территории с использованием данных ДЗЗ

Территория исследования

Донгнай — провинция, расположенная в юго-восточном регионе Вьетнама, земля, соединяющая юг, самый южный центральный регион и южную часть Центрального нагорья, занимающая важное положение в южном ключевом водном регионе экономического развития страны. Провинция Донгнай расположена к северо-востоку от Хошимина, с географическими координатами: от 10°31'17" до 11°34'49" северной широты, от 106°44'45" до 107°34'50" восточной долготы[1](Рис. 2):



Рисунок 2. Географическое положение района Донгнай

В целом рельеф провинции относительно равнинный, с уклоном с севера на юг; 78% территории провинции имеет уклон менее 3° , 16% территории имеет уклон $3-8^{\circ}$. Около 6% территории имеет уклон более 8° . Рельеф провинции можно разделить на три региона: невысокие горы, холмы и равнины. . В Донгнае тропический муссонный климат, разделенный на два сезона: сезон дождей и сухой сезон. Сезон дождей длится с мая по октябрь, сухой сезон – с ноября по апрель следующего года[2].

Результаты и обсуждение

После получения мультиспектральных данных Landsat 8 и радиолокационных данных SRTM, необходимых для анализа рельефа и пространственных индексов, данные были загружены с открытых платформ, таких как USGS Earth Explorer, и подготовлены для дальнейшей обработки в ГИС-системах. На их основе была создана комплексная карта, включающая индексы вегетации (NDVI) и увлажнённости почвы (NDMI) (Рис. 3), уклоны рельефа (SLOPE) и температуру поверхности (LST) (Рис. 4), высотные отметки (DEM), экспозиции (Aspect) (Рис. 5), евклидовы расстояния и точечной сети (Рис. 6).

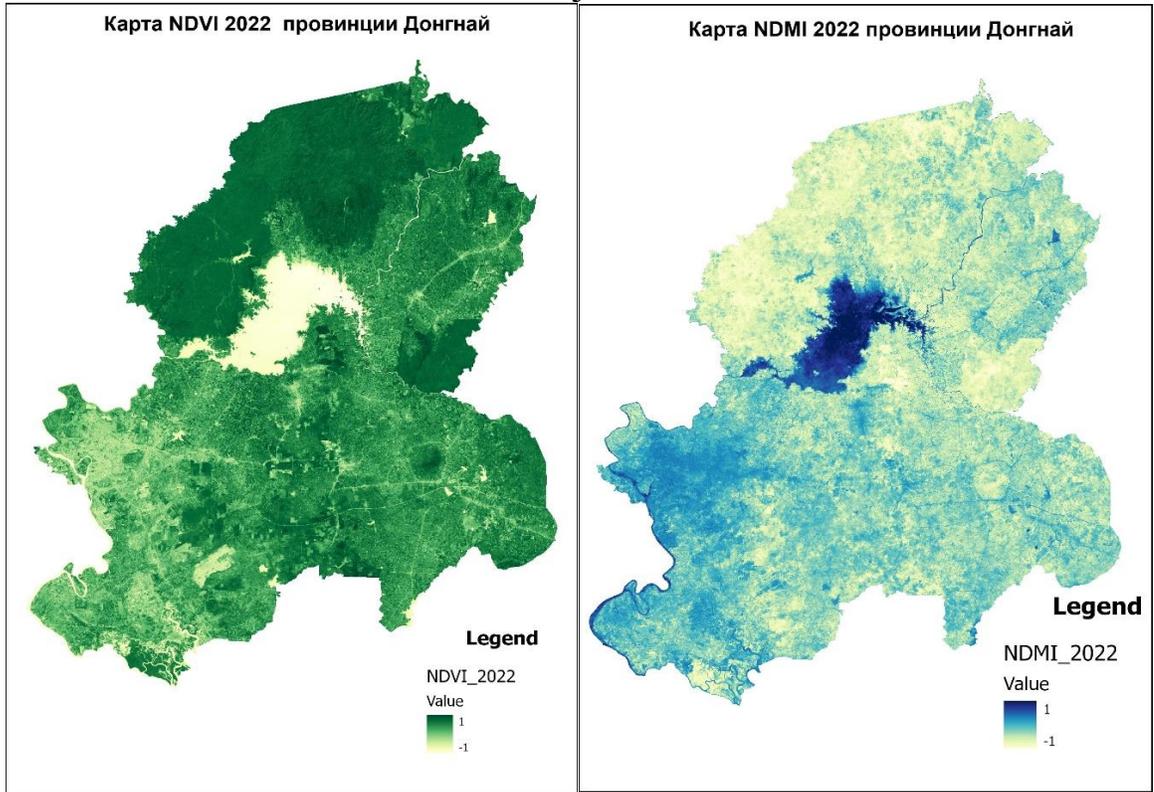


Рисунок 3. Карты NDVI и NDMI 2022 провинции Донгнай

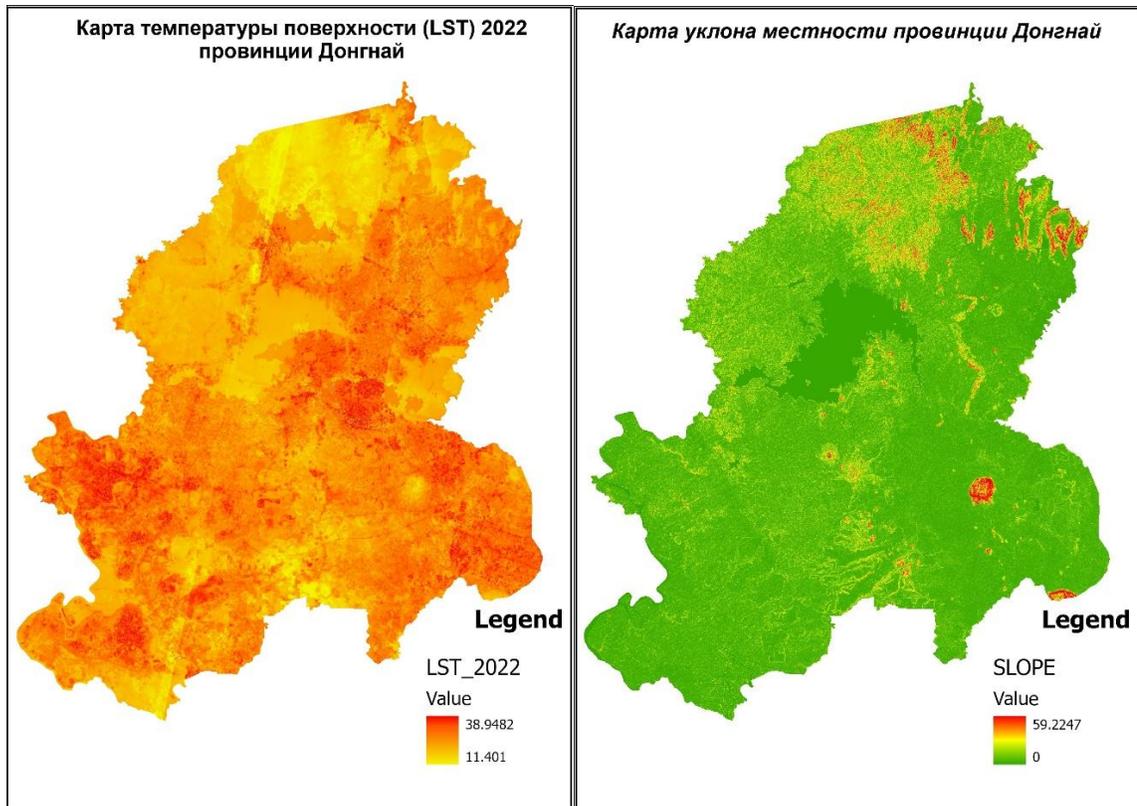


Рисунок 4. Карты температуры поверхности (LST) и уклона местности

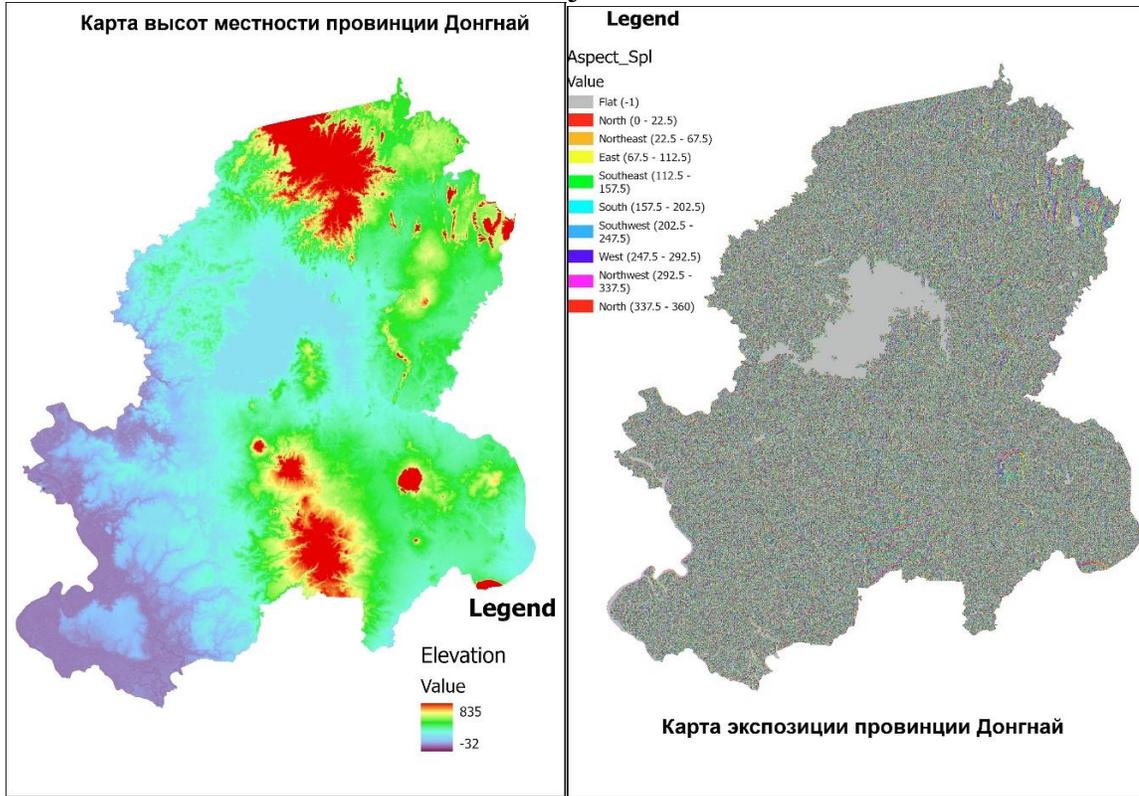


Рисунок 5. Карты высот местности и экспозиции провинции Донгай

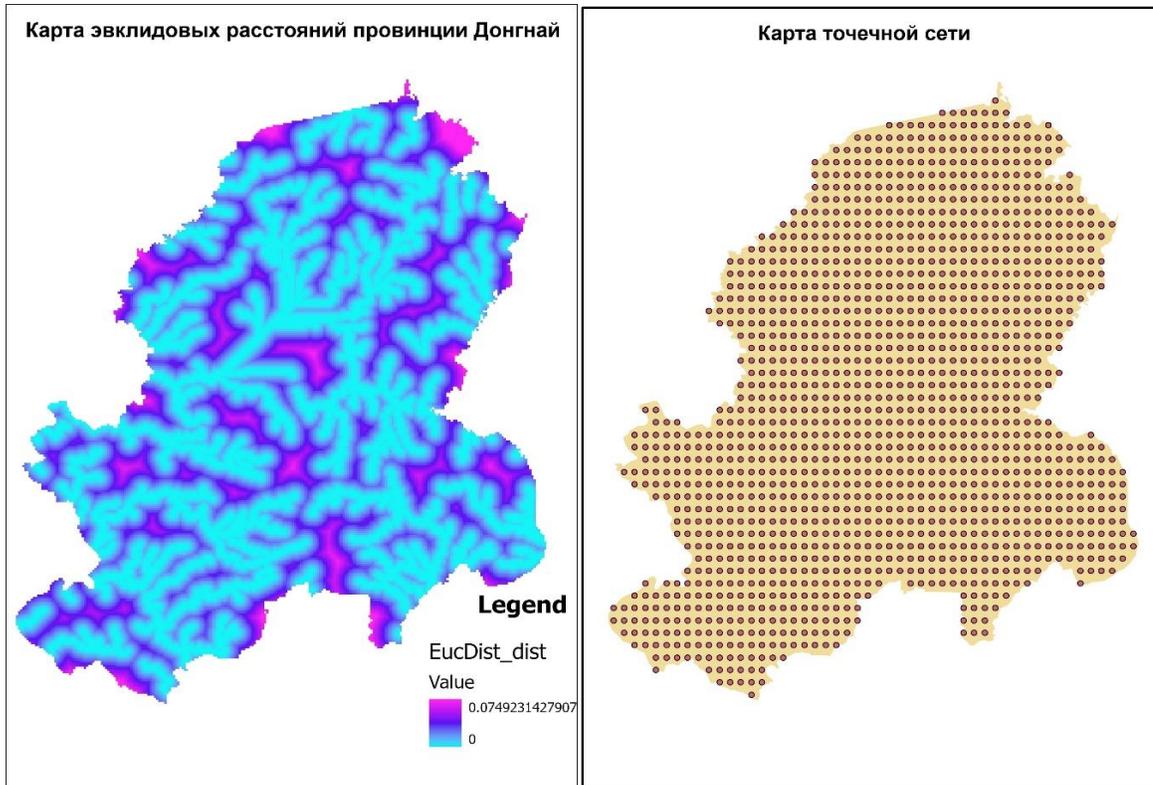


Рисунок 6. Карты эвклидовых расстояний и точечной сети провинции

Далее выполняется экстракция данных о высоте, значениях NDVI, NDMI, температуре поверхности земли, кластеризованной экспозиции, экспозиции в градусах и процентах уклона местности в точки сетки (Таблица 1).

Таблица 1: Точки с данными экстракции (фрагмент)

OID	Shape	NDVI_2022	NDMI_2022	LST_2022	SLOPE	Elevation	Aspect_Spl	EucDist_dist	Aspect
1	Point	0.364894	-0.10264	21.4755	3.88	1	118.7191	0.014021	1
2	Point	0.115444	-0.15021	23.87504	3.96	5	10.95277	0.039794	3
3	Point	0.374983	-0.32683	22.97735	2.10	10	56.53553	0.029558	2
4	Point	0.357964	-0.19399	24.0484	2.10	6	222.6734	0.023368	1
5	Point	0.355564	-0.18537	21.3442	0.93	1	322.1211	0.00739	3
6	Point	0.254643	-0.09194	24.80209	2.10	2	83.44147	0.003305	2
8	Point	0.376666	-0.23537	23.64468	1.85	2	342.4155	0.030468	3
9	Point	0.38223	-0.24249	24.46395	0	3	295.8051	0.029558	2
10	Point	0.356873	-0.27195	22.12924	1.89	1	13.92757	0.014779	3

С помощью программного обеспечения ArcGIS Pro были созданы карты Scatter Plot, которые отображают взаимосвязь между различными показателями. В частности, были проанализированы следующие корреляции:

Связь между NDVI и NDMI. На основе представленного графика (Рис.7) можно наблюдать выраженную положительную корреляцию между NDVI и NDMI, что свидетельствует о том, что при увеличении значения NDMI индекс NDVI также имеет тенденцию к повышению. Линия тренда демонстрирует прямую зависимость между этими двумя показателями, указывая на то, что влажность почвы (NDMI) оказывает положительное влияние на состояние и развитие растительности (NDVI).

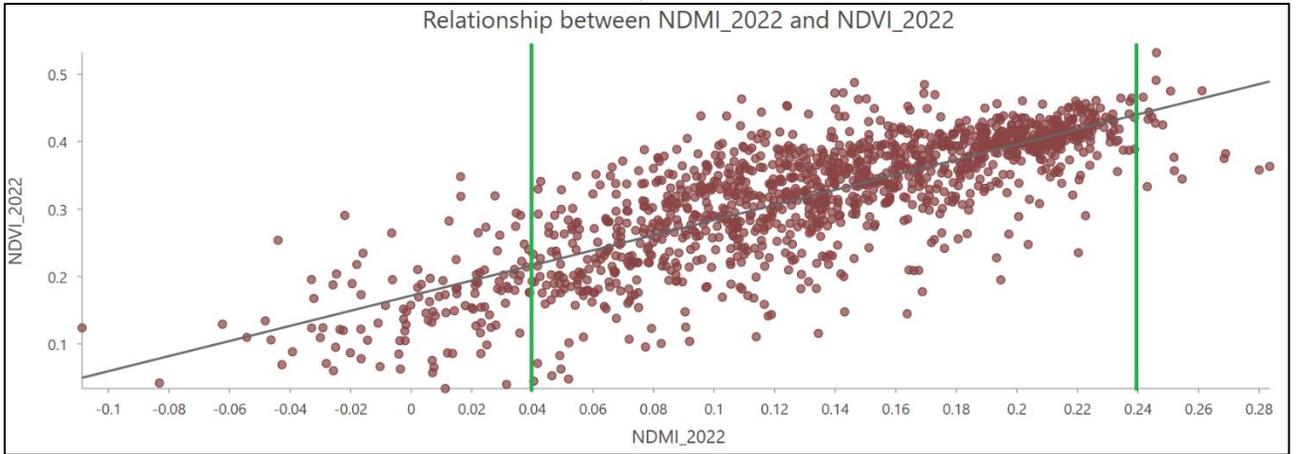


Рисунок 7. Скаттерплот NDVI и NDMI

Наиболее высокая концентрация значений NDVI наблюдается в диапазоне NDMI от 0.04 до 0.24, что указывает на стабильное и интенсивное развитие растительного покрова при данных значениях влажности. Таким образом, диапазон NDMI от 0.04 до 0.24 можно считать оптимальным для роста и развития растительности на исследуемой территории.

Связь между NDVI и высотой местности. На основании графика (Рис.8) можно наблюдать слабую положительную корреляцию между NDVI и высотой: с увеличением высоты индекс NDVI также имеет тенденцию к незначительному увеличению, хотя данная зависимость не является сильной. Линия тренда указывает на постепенное возрастание NDVI с увеличением высоты, однако влияние высоты на NDVI нельзя считать значительным.

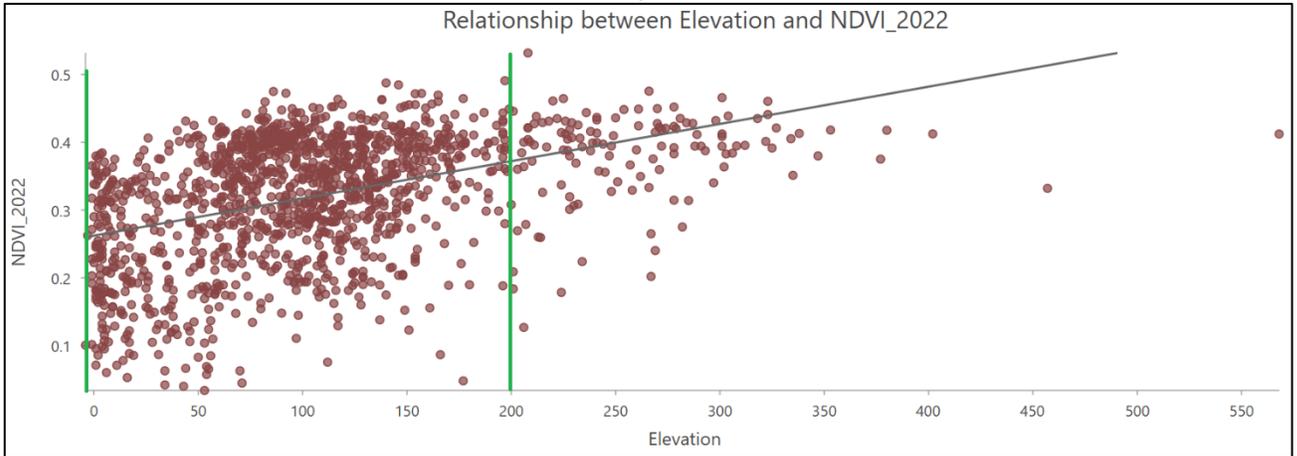


Рисунок 8. Скаттерплот NDVI и высот местности

Наибольшая концентрация значений NDVI отмечается в диапазоне высот от 0 до 200 м, что свидетельствует о преимущественном развитии растительного покрова на данной высоте. Это позволяет предположить, что высота от 0 до 200 м является благоприятной для роста растительности на территории исследования.

Связь между NDVI и LST. На основании графика (Рис.9) можно наблюдать отрицательную корреляцию между NDVI и температурой поверхности (LST): с увеличением значения LST индекс NDVI имеет тенденцию к снижению. Линия тренда четко указывает на уменьшение NDVI с ростом температуры поверхности, что свидетельствует о негативном влиянии высокой температуры на развитие растительности.

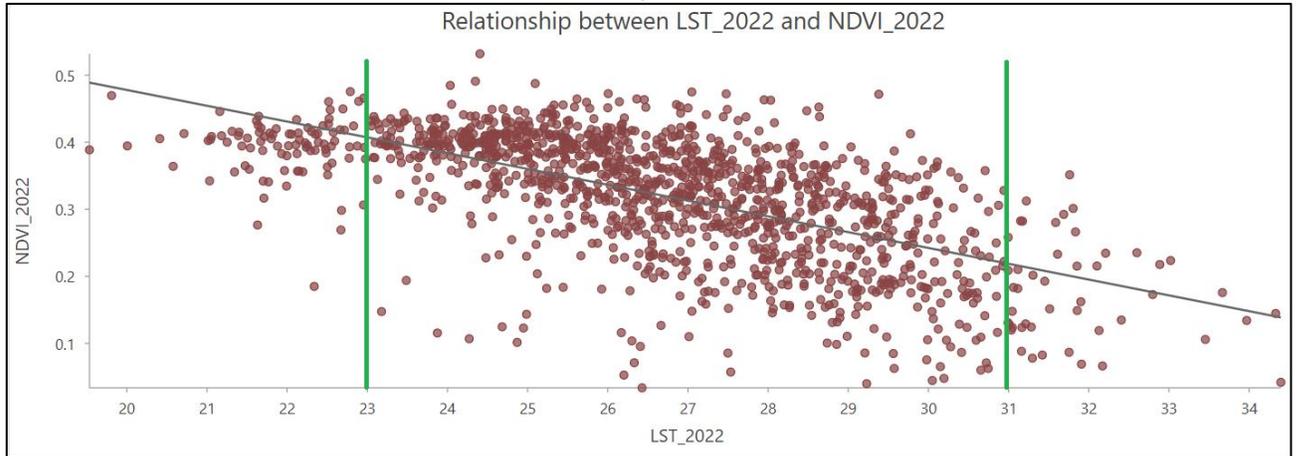


Рисунок 9. Скаттерплот NDVI и данных LST

Наибольшая концентрация значений NDVI отмечается в диапазоне температур от 23°C до 31°C, что указывает на оптимальные условия для роста растительного покрова при данной температуре. Таким образом, температурный диапазон от 23°C до 31°C является благоприятным для развития растительности в исследуемом регионе.

Связь между NDVI и эвклидовы расстояния. На основании графика (Рис.10) можно наблюдать очень слабую положительную корреляцию между NDVI и эвклидовым расстоянием от исследуемых точек до водных источников (EucDist_dist), что означает, что с увеличением расстояния значение NDVI незначительно возрастает. Однако данная корреляция не является выраженной, что указывает на незначительное влияние эвклидова расстояния на индекс NDVI.

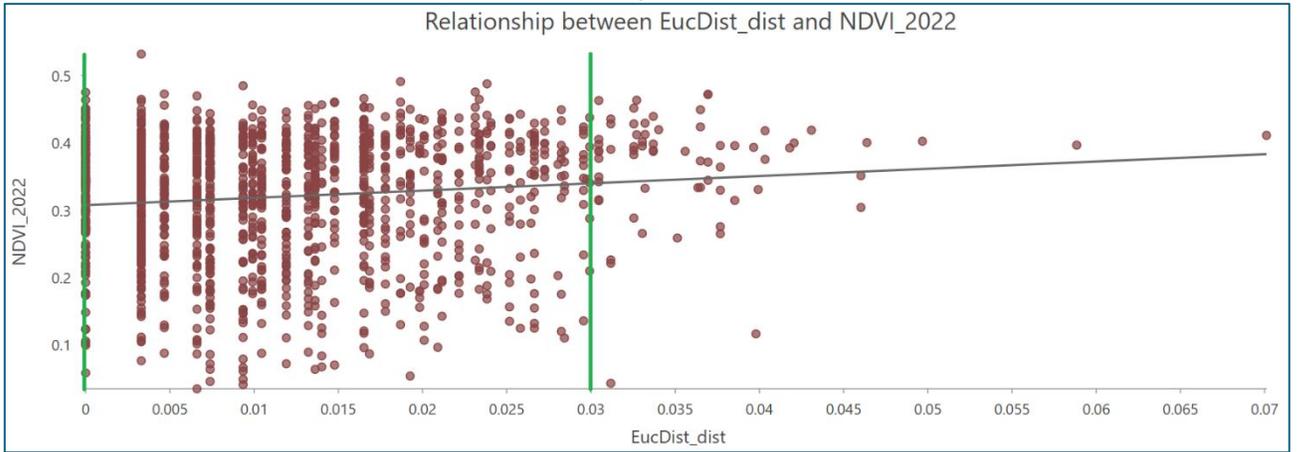


Рисунок 10. Скаттерплот NDVI и данных Euclidian Distances

Наибольшая концентрация значений NDVI наблюдается в диапазоне эвклидова расстояния от 0 до 0.03, что свидетельствует о лучшем развитии растительности в районах, находящихся вблизи водных источников или на небольшом удалении от них в пределах исследуемой территории.

Связь между NDVI и Slope. На основании графика (Рис.11) можно наблюдать слабую положительную корреляцию между NDVI и уклоном (Slope), что означает, что с увеличением уклона индекс NDVI имеет тенденцию к незначительному росту. Однако данная корреляция не является выраженной, что указывает на слабое влияние уклона на NDVI в исследуемой области.

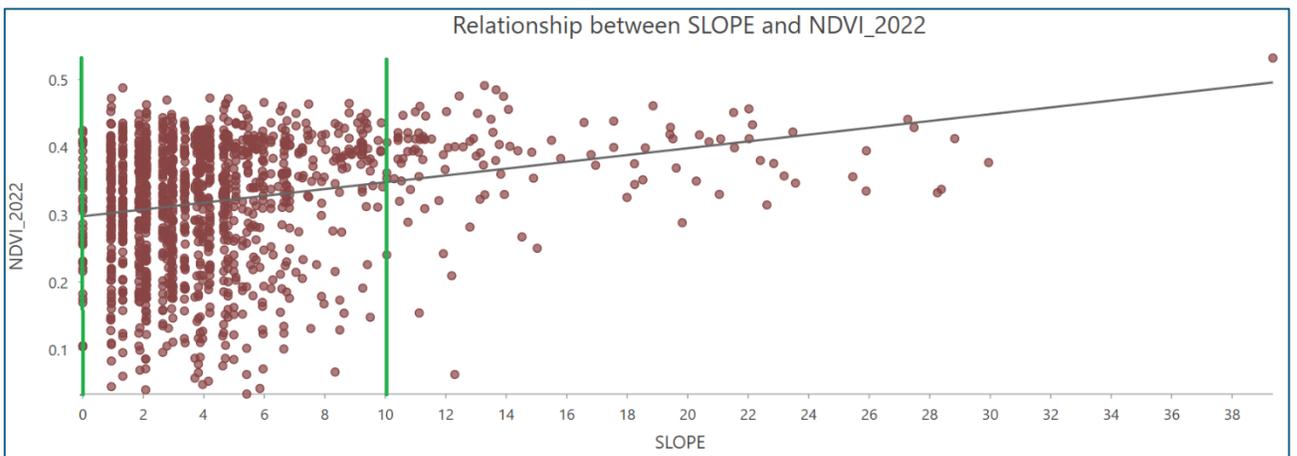


Рисунок 11. Скаттерплот NDVI и данных об уклонах поверхности земли

Наибольшая концентрация значений NDVI наблюдается в диапазоне уклонов от 0 до 10 градусов, что свидетельствует о лучшем развитии растительности на территориях с низким уклоном. В то время как области с более высоким уклоном менее подходят для роста растительного покрова.

Связь между NDMI и LST. На основании графика (Рис.12) можно наблюдать отрицательную корреляцию между NDMI и температурой поверхности (LST): с увеличением значения LST индекс NDMI имеет тенденцию к снижению. Линия тренда четко указывает на уменьшение NDMI с ростом температуры поверхности, что свидетельствует о негативном влиянии высокой температуры на влажность почвы или растительного покрова.

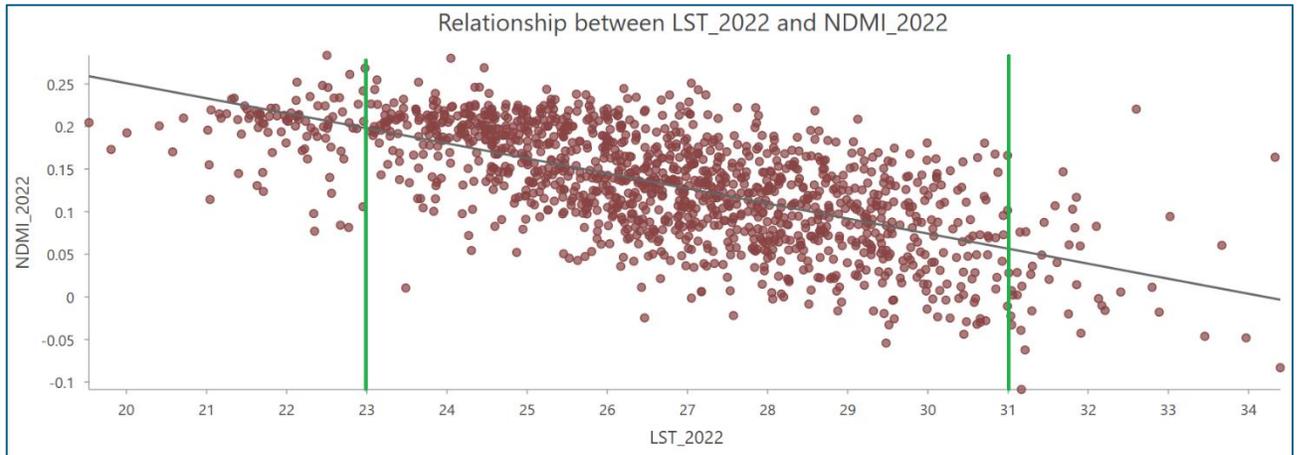


Рисунок 12. Скаттерплот NDMI и данных LST

Наибольшая концентрация значений NDMI отмечается в диапазоне температур от 23°C до 31°C, что указывает на наибольшую влажность растительности и почвы при данном температурном диапазоне. Таким образом, температурный диапазон от 23°C до 31°C является наиболее подходящим для поддержания уровня влажности в исследуемом регионе.

Связь между NDMI и данными градусов экспозиции. На основании графика (Рис.13) можно заключить, что между NDMI и данными об углах экспозиции (Aspect_Spl) отсутствует выраженная корреляция. Точки данных

распределены хаотично и не образуют определенной тенденции, что указывает на незначительное влияние экспозиции на влажность почвы (NDMI) в пределах исследуемой территории. Линия тренда почти горизонтальна, что подтверждает отсутствие взаимосвязи между этими двумя показателями.

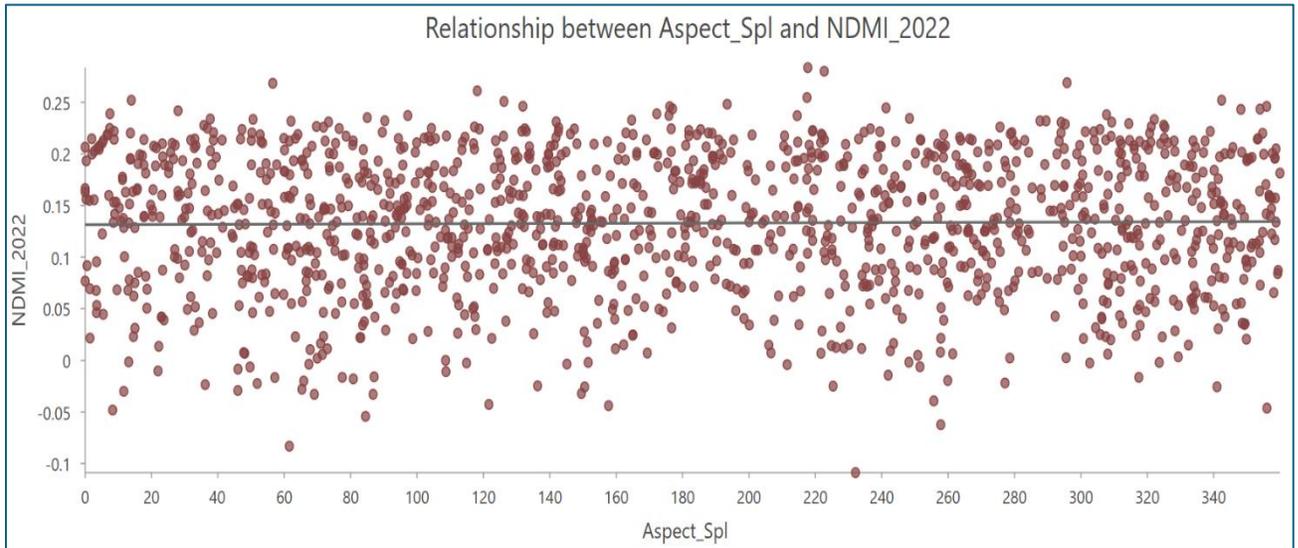


Рисунок 13. Скаттерплот NDMI и данных градусов экспозиции территории

Это свидетельствует о том, что в исследуемом регионе влажность почвы не зависит от направления склона, что может быть обусловлено равнинным рельефом или другими факторами, не связанными с экспозицией.

Связь между NDMI и данными о процентах уклона территории. На основании графика (Рис.14) можно наблюдать положительную корреляцию между NDMI и уклоном (Slope), что означает, что с увеличением уклона индекс NDMI имеет тенденцию к росту. Линия тренда указывает на незначительное увеличение NDMI с ростом уклона, что свидетельствует о том, что более крутые участки могут лучше удерживать влагу или предоставлять более благоприятные условия для почвенной влажности.

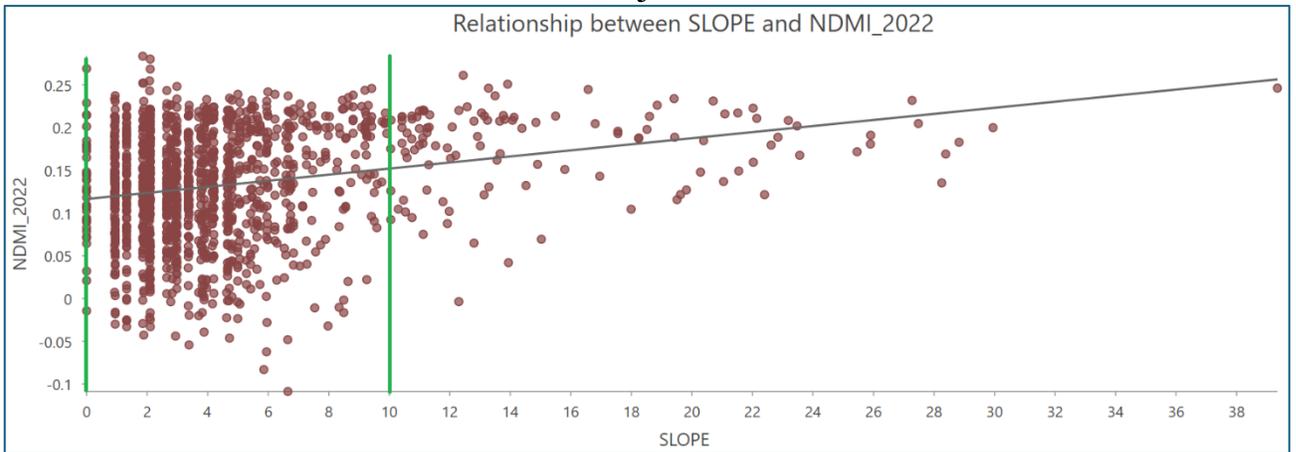


Рисунок 14. Скаттерплот NDMI и данных о процентах уклона территории

Тем не менее, большинство точек данных сосредоточено в диапазоне уклонов от 0 до 10 градусов, что указывает на то, что большая часть исследуемой территории имеет относительно ровный рельеф. Данная зависимость показывает, что уклон оказывает определенное влияние на влажность почвы, однако не является единственным определяющим фактором.

Заключение

Проведенное исследование на территории провинции Донгнай показало, что использование мультиспектральных данных Landsat 8 и радиолокационных данных SRTM в сочетании с методами ГИС-технологий является мощным инструментом для оценки экологического состояния сельскохозяйственных угодий. В целом, факторы влажности и температуры поверхности играют наибольшую роль в поддержании и развитии растительного покрова в исследуемой области, тогда как рельефные факторы, такие как высота, уклон и экспозиция, оказывают незначительное или малозначительное влияние.

На основе результатов данного исследования определены оптимальные диапазоны природных факторов, таких как температура, влажность и высота, которые способствуют наилучшему развитию растительности. Эти выводы

позволяют выработать рекомендации по эффективному использованию и развитию сельскохозяйственных земель в провинции Донгнай:

Управление и поддержание влажности почвы: Для улучшения уровня влажности в почве рекомендуется применять меры по удержанию воды, такие как соответствующие системы орошения, мульчирование и посадка растений, создающих тень. Эти методы помогут поддерживать необходимую влажность для сельскохозяйственных культур, особенно на участках с большим уклоном, которые лучше удерживают влагу.

Выбор подходящих территорий для посадки: Приоритет должен быть отдан выращиванию сельскохозяйственных культур на участках с подходящим уклоном и высотой, что позволит оптимизировать удержание влаги и доступ к естественным источникам воды. Следует избегать сельскохозяйственной деятельности на участках с чрезмерным уклоном или сложным рельефом, чтобы минимизировать риск эрозии и потери влаги.

Мониторинг и управление климатическими факторами: Рекомендуется регулярно отслеживать температуру и влажность почвы, чтобы своевременно вносить необходимые корректировки, обеспечивая оптимальные условия для выращивания растений. Применение технологий мониторинга, таких как датчики или системы ГИС, способствует эффективному и устойчивому управлению сельским хозяйством.

Эти рекомендации направлены на оптимизацию условий для развития сельскохозяйственных земель, что позволит повысить продуктивность и обеспечить устойчивое развитие сельского хозяйства в провинции Донгнай.

Список источников

1. Департамент природных ресурсов и окружающей среды провинции Донгнай. Отчет о плане землепользования в 2010 и 2020 году.

2. Дао Дык Хыонг. (2021). Влияние урбанизации на изменения в землепользовании в районе Трангбом, провинция Донгнай. Докторская диссертация, Университет Нонг Лам, Университет Хюэ.
3. Дао Зуй Кхань и Нгуен Чонг Чыонг Сон. (2019). Исследование и прогнозирование изменений в землепользовании в провинции Донгнай с помощью цепей Маркова - СА и ГИС. Вьетнамский журнал сельскохозяйственных наук и технологий, 11 (108), 151–158.
4. Хюинь Ван Чуонг, Чау Во Трунг Тонг и Хюинь Конг Хунг. (2017). Исследование и прогноз изменений в землепользовании в городе Нячанг, провинция Кханьхоа с применением марковской и ГИС-цепей. Журнал сельскохозяйственных наук и технологий, Университет Нонг Лам, Университет Хюэ, 1(1), 37-46.
5. Кхук Ван Куи, Тран Куанг Бао, Фам Ван Дьен, Во Дай Хай, Нонг Нгок Дуй, Тран Тхи Тху Ха, Ха Тхи Мунг и Нго Нгок Туйен. (2017). Применение модели цепи Маркова для прогнозирования эволюции естественных широколиственных вечнозеленых лесов в Северо-Центральном Вьетнаме. Журнал сельского хозяйства и развития сельских районов, период 1, 1-11.
6. Нгуен Куок Хау, Фан Ван Туан и Во Куанг Минь. (2021). Применение Маркова в долгосрочном прогнозировании землепользования в сельском хозяйстве - тематическое исследование в провинции Виньлонг до 2030 года. Журнал почвоведения, 64, 97-102.
7. Мурашева А.А., Ву Т.Х. Экономическая эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения в Приморском крае России и в дельте реки Красной Вьетнама // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 6. С. 114-117.

8. Мурашева А.А., Чан Т.Х.И. Управление землями лесопромышленного комплекса Ленинградской области: текущее состояние и перспективы // Финансовые рынки и банки. 2020. № 1. С. 12-17.
9. Мельникова А.А., Мурашева А.А., Столяров В.М., Камов Л.П. / Мониторинг земель: проблемы и совершенствование информационного обеспечения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 6. С. 46.
10. Комаров С.И., Лепехин П.П., Широков Р.С. Информационная основа оценки ресурсного потенциала земель сельскохозяйственного назначения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель №7 2021.
11. Кулькарни В.Г. (2011). Введение в моделирование и анализ стохастических систем. Springer Texts in Statistics, Springer, Нью-Йорк.
12. Ламбин, Э. Ф. (2001). Причина изменения землепользования и земного покрова: выйти за рамки мифов. Глобальное изменение окружающей среды, 11(4), 261-269.

References

1. Department of Natural Resources and Environment of Dong Nai Province. Report on the Land Use Plan for 2010 and 2020.
2. Dao Duc Huong. (2021). The Impact of Urbanization on Land Use Changes in Trang Bom District, Dong Nai Province. Doctoral dissertation, Nong Lam University, Hue University.
3. Dao Duy Khanh and Nguyen Chong Truong Son. (2019). Research and Prediction of Land Use Changes in Dong Nai Province Using Markov Chains - CA and GIS. Vietnam Journal of Agricultural Science and Technology, 11 (108), 151–158.
4. Huynh Van Chuong, Chau Vo Trung Tong, and Huynh Cong Hung. (2017). Study and Prediction of Land Use Changes in Nha Trang City, Khanh Hoa Province Using Markov Chains and GIS. Journal of Agricultural Science and Technology, Nong Lam University, Hue University, 1(1), 37-46.

5. Khuc Van Qui, Tran Quang Bao, Pham Van Dien, Vo Dai Hai, Nong Ngoc Duy, Tran Thi Thu Ha, Ha Thi Mung, and Ngo Ngoc Tuyen. (2017). Application of the Markov Chain Model for Predicting the Evolution of Natural Evergreen Broadleaf Forests in North Central Vietnam. *Journal of Agriculture and Rural Development*, Period 1, 1-11.
6. Nguyen Quoc Hau, Phan Van Tuan, and Vo Quang Minh. (2021). Application of the Markov Model for Long-Term Land Use Forecasting in Agriculture – Case Study in Vinh Long Province to 2030. *Journal of Soil Science*, 64, 97-102.
7. Murasheva A.A., Vu T.H. Economic Efficiency of Agricultural Land Use in Primorsky Krai, Russia, and the Red River Delta, Vietnam // *Agricultural Economics of Russia*. 2020. No. 6. pp. 114-117.
8. Murasheva A.A., Chan T.H.I. Forestry Land Management in the Leningrad Region: Current Status and Prospects // *Financial Markets and Banks*. 2020. No. 1. pp. 12-17.
9. Melnikova A.A., Murasheva A.A., Stolyarov V.M., Kamov L.P. Land Monitoring: Problems and Improvement of Information Support // *International Agricultural Journal*. 2019. No. 6. pp. 46.
10. Komarov S.I., Lepekhin P.P., Shirokov R.S. Information Base for Assessing the Resource Potential of Agricultural Land // *Land Management, Cadastre, and Land Monitoring* No. 7, 2021.
11. Kulkarni V.G. (2011). *Introduction to Modeling and Analysis of Stochastic Systems*. Springer Texts in Statistics, Springer, New York.
12. Lambin, E.F. (2001). Causes of Land-Use and Land-Cover Change: Moving Beyond the Myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269.

© Нго Суан Хиен, Лепехин П.П., 2024. *Московский экономический журнал*, 2024,

№ 10.