












Научная статья

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛЕЙ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Кирилл С. Гаринских¹ , Алпамыс Г. Карыпов¹ , Адилхан Сымагулов¹ , Ян И. Кучин^{1,2} ,
Алексей Г. Терехов^{1,2} к.т.н. , Равиль И. Мухамедиев^{1,2} д.инж.н. , Надия Р. Юничева^{2,3*} к.т.н. ,
Нурсултан Е. Кульдеев¹ , Рат Ш. Бердибаев^{1,3} к.п.н. 

¹ Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан; mlkirillg@gmail.com (КСГ), karypov1@gmail.com (АГК), a.symagulov@satbayev.university (АС), ykuchin@mail.ru (ЯИК), aterekhov1@yandex.ru (АГТ), ravil.muhamedyev@gmail.com (РИМ), naduni@mail.ru (НПЮ), kuldeevnursultan129@gmail.com (НЕК), r.berdybaev@aes.kz (РШБ)

² Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан; ykuchin@mail.ru (ЯИК), aterekhov1@yandex.ru (АГТ), ravil.muhamedyev@gmail.com (РИМ)

³ Алматинский Университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан; naduni@mail.ru (НПЮ), r.berdybaev@aes.kz (РШБ)

*Автор корреспонденции: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

точное земледелие,
сегментация,
NDVI,
дроны,
дистанционное
зондирование.

АБСТРАКТ

Методы точного земледелия требуют учета тонких различий в процессах произрастания растений на разных участках возделываемой пашни. Различия в рельефе поля, его водообеспечении, мощности слоя гумуса и т.п. вызывают необходимость ранжирования пашни для применения агротехнических операций разной интенсивности, что в итоге приводит к повышению урожайности и снижению себестоимости с/х культур. Ранжирование пашни внутри поля обычно осуществляется с помощью сегментации данных дистанционного зондирования. Для создания системы сегментации необходим периодический дистанционный и наземный мониторинг полей, сбор и обработка получаемой информации с ее географической привязкой. Для этих целей могут использоваться как спутниковые системы дистанционного зондирования, так и беспилотные летательные платформы (БЛП). Объем получаемой информации, особенно при применении БЛП, весьма значителен, а требования к оперативности обработки высоки. В этой связи актуальны эффективные методы систематизации и обработки получаемых изображений, которые опираются на достаточно быстрые алгоритмы сегментации. В настоящей работе рассмотрены методы сегментации изображений от различных систем дистанционного зондирования, которые позволяют повысить экономические показатели агротехнических мероприятий в контуре точного земледелия. Приведен пример программы пороговой сегментации, которая может быть использована отдельно или в составе информационной системы поддержки процессов точного земледелия. В работе приводятся результаты ее применения для сегментации спутниковых изображений поля по значению индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Проведенный анализ и выработанные рекомендации по данным сегментации будут способствовать предотвращению экологических нарушений, потерь урожая вследствие резких изменений погодных условий и различий рельефа обрабатываемых пашен.

1. ВВЕДЕНИЕ

Принципы точного земледелия базируются на учете локальных почвенных разностей такого пространственного масштаба, который является приемлемым для реакции на них сельскохозяйственной техники. Обычно такие различия имеет смысл учитывать начиная с десятков до сотен метров. Почвенные неоднородности такого масштаба на сельскохозяйственных полях в Казахстане, как правило, вызваны рельефными особенностями. Небольшие возвышения или понижения определенным образом организуют пространственное распределение весенней влаги после таяния

По статье:

Получено: 21.01.2025

Пересмотрено: 22.12.2025

Принято: 23.12.2025

Опубликовано: 30.12.2025

снежного покрова. Этот процесс происходит ежегодно и формирует различия в характеристиках почвенной разности. Понижения аккумулируют более мелкие взвешенные частицы, переносимые с водой. Поэтому, они имеют более тяжелый механический состав, а в ряде случаев, возможно даже более высокое содержание гумуса и толщина плодородного слоя. Возвышения сложены почвами несколько более легкого механического состава. В случае заметных различий рельефа при определенных условиях даже могут регистрироваться выраженные элементы водной эрозии внутри поля.

Для цитирования:

Гаринских К., Карыпов А.,
Сымагулов А., Кучин Я.,
Терехов А., Мухамедиев Р.,
Юничева Н., Кульдеев Н.,
Бердибаев Р. Сегментация
изображений полей в точном
земледелии // Гидрометеорология
и экология, 120 (5), 2025, 79-90.

Локальные различия почвенных характеристик внутри поля по-разному реагируют на сезонные условия погоды. В условиях влажной погоды низины переувлажняются и лучшие условия формируются на локальных возвышенностях. В условиях дефицита увлажнения все меняется на обратную картину. Лучшие условия формируются в низинах. Соответственно, если в течение сезона имеют место существенные различия общей увлажненности, например длительные периоды дождей или наоборот периоды ясной, жаркой погоды, возникнет сезонная динамика варьирования лучших условий для произрастания растительности. Будут формироваться пространственные различия в росте или развитии культуры из-за неодинаковой благоприятности условий при прохождении ключевых фаз развития. Неоднородность роста/развития культуры на поле — это один из факторов потерь урожая. Поэтому, в рамках точного земледелия требуются усилия по анализу таких неоднородностей и выдаче рекомендаций по мерам адаптации к потенциальным негативным последствиям.

Цель сегментации — выявить и численным образом описать неоднородности почвенной разности внутри поля. Процесс сегментации и классификации изображений начинается с анализа данных дистанционного зондирования, спутниковых снимков или снимков с борта беспилотных летательных платформ (БЛП) или дронов, на основе которых поле делится на несколько зон. Такой подход позволяет локализовать участки с различной плотностью и степенью развития растений, что является ключевым фактором для дальнейшего анализа. В каждой из выделенных зон устанавливаются репрезентативные контрольные точки или участки, для которых проводится детальное наземное описание и съемка с использованием БЛП.

Полученные показатели из контрольных точек или участков затем экстраполируются на все поле с учетом различий в зонах вегетации, что обеспечивает достаточно точное и полное представление о состоянии посевов на всей площади без необходимости проведения сплошного обследования. Такая технология позволяет провести калибровку данных дистанционного зондирования и на этой основе оптимизировать процесс дистанционного мониторинга, обеспечивая удовлетворительную точность и оперативность в принятии решений о применении необходимых агротехнических операций. Объектом настоящего исследования является процесс сегментации изображений сельскохозяйственных полей необходимый для внедрения технологий точного земледелия. В работе описаны методы сегментации изображений растительности и приведён пример реализации порогового сегментатора, использующего Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [1].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В точном земледелии для оценки густоты стояния растительности или зон продуктивности применяются следующие методы сегментации изображений полей.

1. Кластеризация, включающая простые и быстрые алгоритмы «обучения без учителя», такие как K-means [2], Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) [3], [4] алгоритм иерархической кластеризации (НС) [5] и другие алгоритмы из библиотеки scikit-image [6]. Алгоритмы K-means и ISODATA разделяют данные на (k) кластеров на основе схожести признаков. Количество кластеров задается экспериментатором. НС (Hierarchical clustering) создает дерево кластеров, что позволяет анализировать данные на разных уровнях детализации.

2. *Анализ временных серий спутниковых изображений*, который позволяет выделять однородные области на основе анализа временной динамики характеристик растительности [7] в том числе в сочетании с методами машинного обучения [8...9].

3. *Геостатистические методы*, например, кригинг [10]. Кригинг - метод интерполяции, который учитывает пространственную корреляцию данных для создания карт распределения растительности.

Эти методы позволяют анализировать спутниковые снимки и данные с БЛП, улучшая эффективность управления сельскохозяйственными операциями. Вегетационные спектральные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) или EVI (Enhanced Vegetation Index) [11], широко используются для выделения и описания состояния растительности на основе анализа яркостных характеристик подстилающей поверхности в различных частях спектра.

Наиболее быстрыми, с точки зрения реализации и практической работы, являются методы сегментации, базирующиеся только на основе индекса вегетации. Сегментация на основе NDVI направлена на выделение различных зон в пределах поля, различающихся по уровню активности растительности (Рисунок 1). NDVI рассчитывается на основе коэффициентов отражения подстилающей поверхности в красном и ближнем инфракрасном частях спектра, регистрируемых на спутниках или с борта БПЛА:

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B4 + B5} \quad (1)$$

где B5 - Band 5, Near-Infrared (0,85...0,88 nm), B4 - Band 4, Red (0,64...0,67 nm).

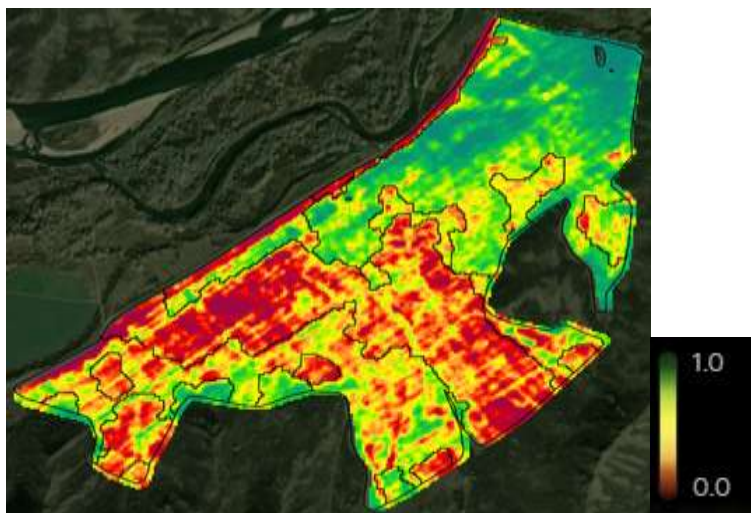


Рисунок 1. Пример снимка с рассчитанными значениями индекса [12]

Границы экстенда поля: x_{min} (левая граница): 82.4621; x_{max} (правая граница): 82.5005; y_{min} (нижняя граница): 50.4699; y_{max} (верхняя граница): 50.4908. Дата: 20.08.2024

Алгоритм сегментации делит поле на несколько зон с различными показателями вегетации. В простейшем случае это три класса продуктивности: с высокой, средней и низкой активностью растений. Основные методы сегментации для одиночных спутниковых сцен или временных серий могут включать:

- Для одиночных сцен, пороговую сегментацию: деление NDVI-диапазона на фиксированные интервалы для создания классов;
- Для временных серий, кластеризацию (k-means или ISODATA): алгоритм группирует данные на основе близости значений NDVI в различные календарные даты, формируя искомые классы;

- Генеративные модели: используются для предсказания зон на основе исторических данных и текущих значений NDVI.

Пример разделения поля на зоны по значениям NDVI приведен на рисунках 1 и 2.

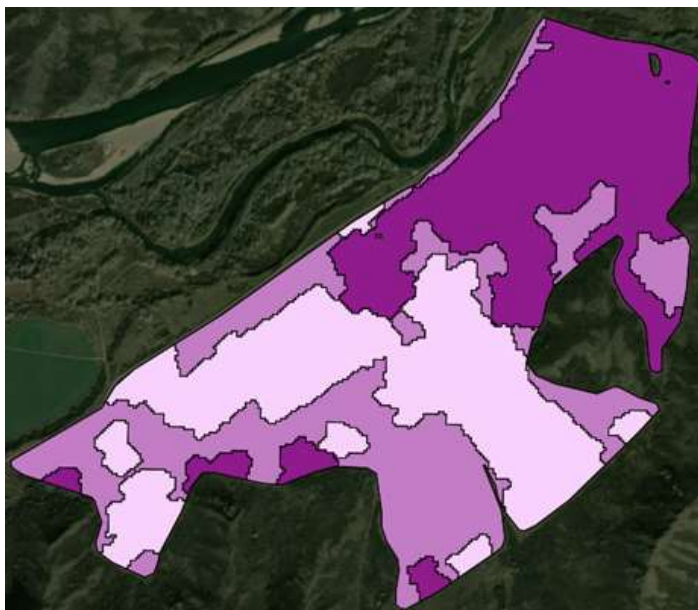


Рисунок 2. Результат разделения поля на зоны по значениям NDVI [12] с помощью порогового алгоритма.

Границы экстенда поля: x_{min} (левая граница): 82.4621; x_{max} (правая граница): 82.5005; y_{min} (нижняя граница): 50.4699; y_{max} (верхняя граница): 50.4908. Дата: 20.08.2024

Для оценки состояния растительности кроме NDVI могут использоваться и другие спектральные индексы, например, EVI, GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) [13], CVI (Chlorophyll Vegetation Index) [14] и прочее.

Для временных рядов многолетних спутниковых сцен (сотни снимков) возникает необходимость проведения еще одной предварительной стадии обработки, направленной на уменьшение информации в обработке. Например, эффективен переход к композитному изображению, каждый канал которого представляет собой результат статистической обработки временного ряда спутниковых сцен (средние многолетние значения, максимальные\минимальные, и пр.). В дальнейшем, обработка созданного композиционного изображения может быть аналогична обработке отдельной спутниковой сцены. Пороговая сегментация отдельных одноканальных сцен часто применяется на практике. Она является быстрой и достаточно точной математической процедурой, однако имеет особенности в реализации в зависимости от области применения.

Метод пороговой сегментации изображений пашни на основе индекса NDVI

Работа с пороговым алгоритмом, как правило, предполагает предобработку данных, целью которой является адаптация результатов к практическому применению. Первая необходимая обработка — это Гауссовская фильтрация. Гауссов фильтр применяет математическую операцию свертки между массивом NDVI и ядром фильтра. Гауссово ядро имеет форму колокола, ширина которого определяется внутренними параметрами. Эти параметры можно регулировать, так, например параметр 0,5 даёт слабое размытие сохраняя больше деталей, а параметр 0,3 создают более сильное размытие, убирая больше шума, но также сглаживая важные границы.

В данном случае Гауссов фильтр помогает сгладить NDVI-данные, удаляя мелкие аномалии, что необходимо для эффективной работы последующих процедур. Следующая за Гауссовской фильтрацией процедура кластеризация формирует маски зон

с различной продуктивностью, которые также нуждаются в последующей морфологической обработке для удаления лишних деталей. Критерий значимости для мелких объектов в этом случае подбирается экспертным путем. В рассмотренном примере в качестве критерия незначимости был принят остров, размером менее 100 пикселей. Это позволяет частично очистить маску от излишней детализации, что необходимо для дальнейшей работы.

Следующая операция, это бинарное открытие. Она выполняется с помощью структурного элемента в форме окружности радиусом 3 пикселя. Эта процедура представляет собой эрозию (уменьшение границ объектов) на 3 пикселя, с последующей дилатацией (расширение оставшихся объектов) на эту же величину. Такая морфологическая трансформация границ зон приводит к ликвидации мелких деталей и огрублению извилистости границ между классами. Все описанные выше процедуры морфологической фильтрации и сглаживания необходимы для упрощения итоговой карты зон для эффективной работы сельскохозяйственных агрегатов точного земледелия.

Весь программный код для выполнения данных операций приведен в листинге А, содержащем необходимые пояснения.

Основным языком для разработки является Python версии 3.10, вспомогательным языком для визуализации используется javascript. Основными фреймворками являются numpy версии 1.25.2 для работы с массивами, pillow версии 9.3.0 для работы с изображениями, matplotlib версии 3.6.2 для отрисовки NDVI и Django версии 5.0 для графического веб интерфейса. Все остальные библиотеки вспомогательные для них.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для апробации разработанного программного средства пороговой сегментации было использовано спутниковое изображение одного из полей Восточно-Казахстанской области (рисунок 3).



Рисунок 3. Спутниковое изображение тестового поля. Псевдоцветной композит, преобразованный к естественной палитре [15].

Снимок Sentinel-2 на 22 августа 2023 (разрешение 10 м). Границы экстенда поля: x_{min} (левая граница): 82.4223; x_{max} (правая граница): 82.4492; y_{min} (нижняя граница): 50.4027; y_{max} (верхняя граница): 50.4214

ЛИСТИНГ А

```

#Подключение библиотек
import os
import numpy as np
import rasterio
from scipy.ndimage import zoom
from skimage import filters, morphology
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
import io
import base64
from django.http import JsonResponse
from django.shortcuts import render

#Загрузка изображений
def zoom_image(path, binary_ndvi):
    # Получаем текущую директорию
    current_directory = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

    # Путь к изображению
    image_file_path = os.path.join(current_directory, path)

    with rasterio.open(image_file_path) as src:
        # Чтение данных изображения
        image = src.read()

    # Создание копии исходного изображения
    masked_image = np.copy(image)

    # Изменение размеров бинарной маски до размера изображения
    resized_array = zoom(binary_ndvi, (image.shape[1] /
    binary_ndvi.shape[0], image.shape[2] / binary_ndvi.shape[1]),
    order=1)

    # Наложение маски на изображение
    masked_image[:, resized_array == 0] = 0

    # Преобразование массива в изображение
    image_pil = Image.fromarray(masked_image.transpose(1, 2, 0))
    plt.figure(figsize=(8, 6))
    plt.imshow(image_pil, cmap='viridis')
    plt.axis('off')

    # Сохранение изображения в буфер
    buffer = io.BytesIO()
    plt.savefig(buffer, format='png')
    buffer.seek(0)

    # Кодирование изображения в base64
    encoded_image =
    base64.b64encode(buffer.getvalue()).decode('utf-8')

    plt.close()
    return encoded_image

def prime_ndvi(sigma_value, up, d, mask):
    # Получаем текущую директорию
    current_directory = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))

    # Путь к исходному TIFF-файлу
    file_name = 'ndvi_field_421_2023-08-24_(сырые данные NDVI).tiff'
    file_path = os.path.join(current_directory, file_name)

    with rasterio.open(file_path) as src:
        # Чтение NDVI с указанной маской
        ndvi = src.read(mask)

        # Применение фильтра Гаусса
        smoothed_ndvi = filters.gaussian(ndvi, sigma=sigma_value)

        # Создание бинарной маски на основе порогов
        binary_ndvi = np.logical_and(smoothed_ndvi > up,
        smoothed_ndvi < d)

        # Удаление мелких объектов из маски
        binary_ndvi = morphology.remove_small_objects(binary_ndvi,
        min_size=100)

        # Применение бинарного открытия
        binary_ndvi = morphology.binary_opening(binary_ndvi,
        morphology.disk(3))

        # Генерация изображений
        path = "ndvi_contrast_field_421_2023-08-24_(готовые
        карты_NDVI контраст).tiff"
        encoded_image = zoom_image(path, binary_ndvi)

        buffer = io.BytesIO()
        plt.figure(figsize=(8, 6))
        plt.imshow(binary_ndvi, cmap='viridis')
        plt.axis('off')
        plt.savefig(buffer, format='png')
        buffer.seek(0)
        encoded_image2 =
        base64.b64encode(buffer.getvalue()).decode('utf-8')

        path = "visual_field_421_2023-08-24_(готовые
        карты_визуальный снимок).tiff"
        encoded_image3 = zoom_image(path, binary_ndvi)

        return encoded_image, encoded_image3, encoded_image2

#Расчет и визуализация NDVI
def NDVI(request):
    # Установка стандартных значений параметров
    default_sigma = 1.5
    default_up = 0.01
    default_d = 1
    default_mask = 1

    # Получение параметров из запроса
    sigma_value = float(request.GET.get('sigma', default_sigma))
    mask = int(request.GET.get('mask', default_mask))
    up = float(request.GET.get('up', default_up))
    d = float(request.GET.get('d', default_d))

    # Обработка NDVI
    processed_ndvii, processed_ndvi, masks = prime_ndvi(sigma_value,
    up, d, mask)

    # Возвращение JSON-ответа для AJAX-запроса
    if request.headers.get('X-Requested-With') == 'XMLHttpRequest':
        return JsonResponse({'processed_ndvi': processed_ndvi,
        "processed_ndvii": processed_ndvii, "masks": masks})
    else:
        # Рендеринг HTML-страницы
        return render(request, 'games_tracker/ndvi.html',
        {'processed_ndvi': processed_ndvi, "processed_ndvii": processed_ndvii

```

Используя спутниковый продукт, рассчитывающий значение индекса NDVI (рисунок 4 справа), была выполнена сегментация изображения по двум границам индекса. На рисунках 4...7 показаны результаты расчетов, которые позволяют с помощью рассчитанного значения индекса NDVI и выполненной сегментации определить изменение границ отображаемой индексации позволяет выявлять зоны с низкой, средней и высокой вегетацией.

Изменение параметров NDVI

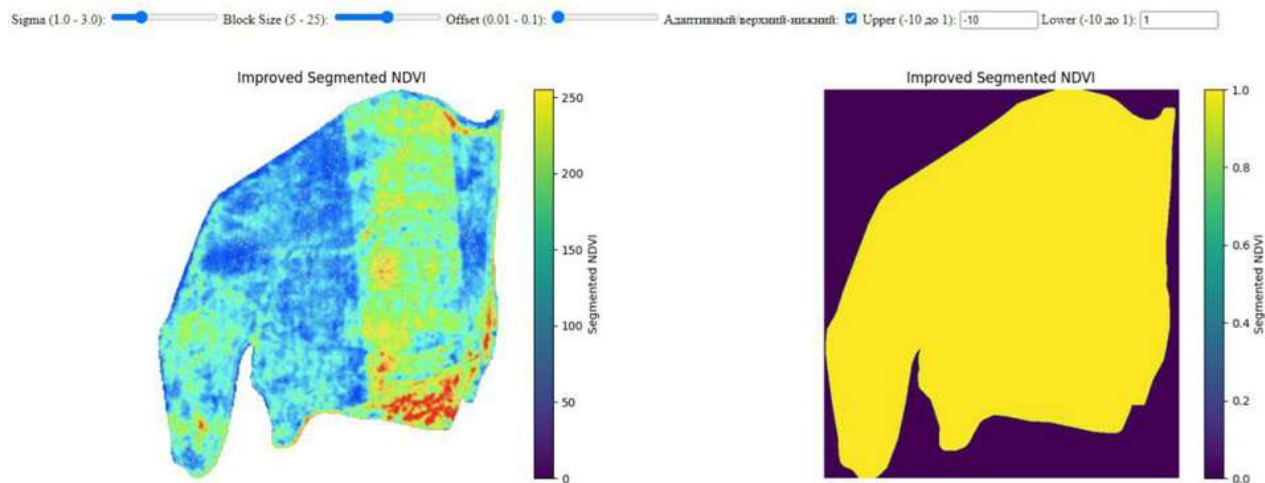


Рисунок 4. Индекс вегетации NDVI (слева) и изображение с минимальным пороговым значением (справа)

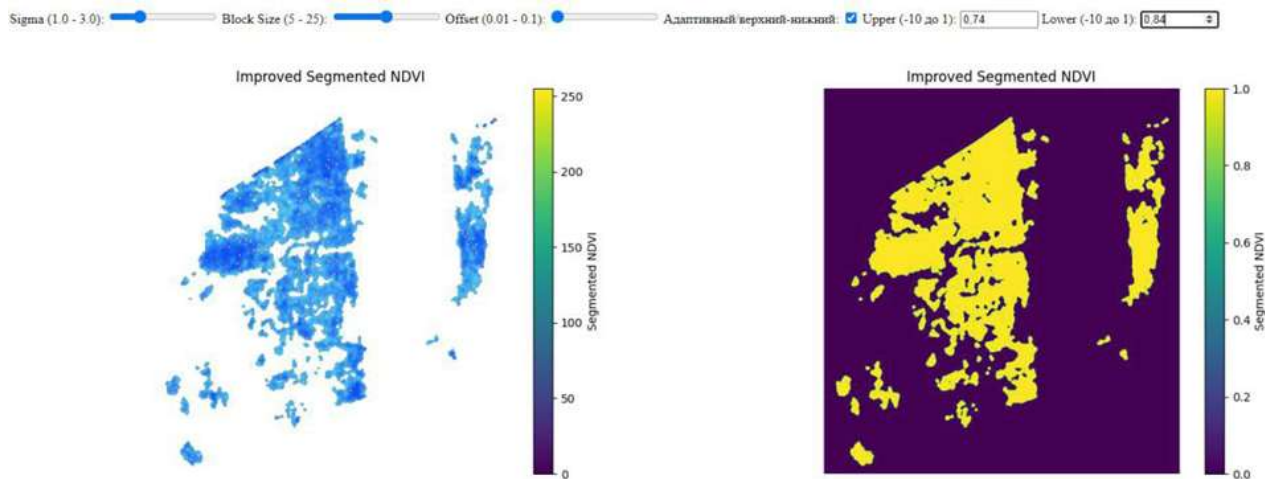


Рисунок 5. Сегментация участка поля со средним значением индекса вегетации

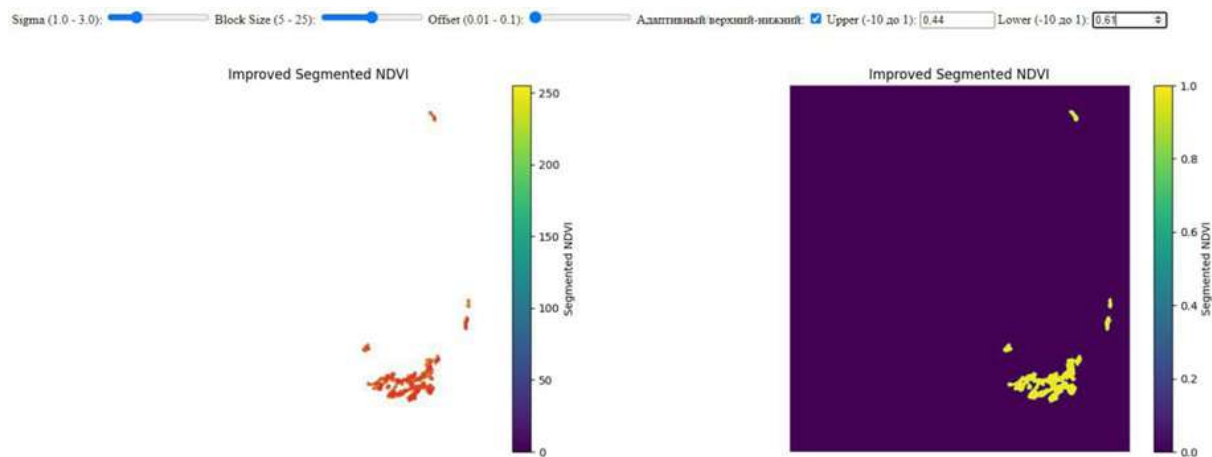


Рисунок 6. Сегментация участка поля с низким значением индекса вегетации

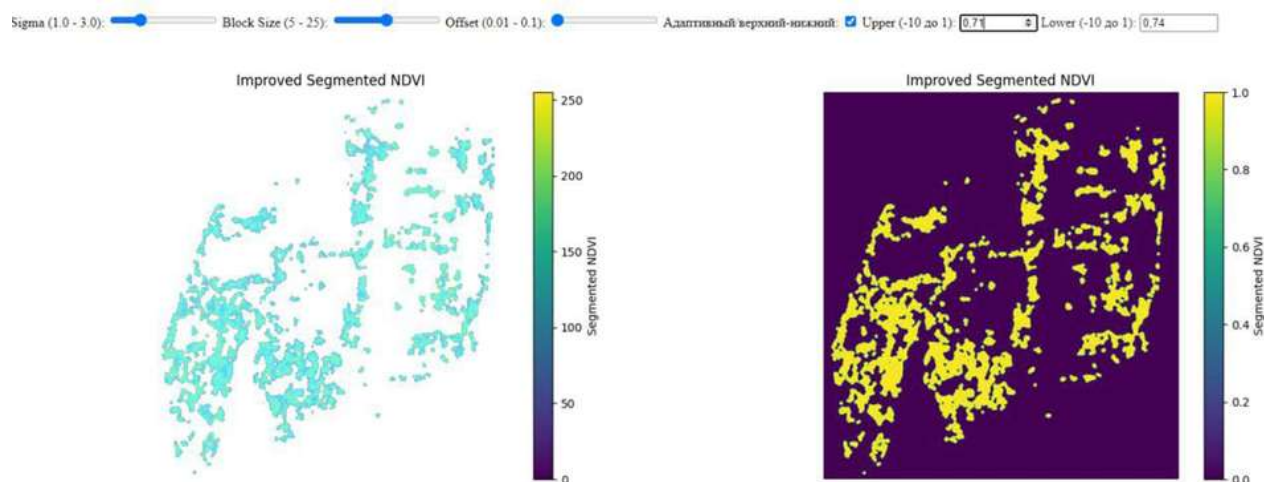


Рисунок. 7. Сегменты поля с нижнесредним значением NDVI

Для проведения экспериментов с низковисотными изображениями была использована БЛП типа гексакоптер разработанная в учебно-производственной лаборатории «Беспилотные летательные аппараты» (создана КазНИТУ им. К.И. Сатпаева в январе 2021г.). Разработанная платформа имеет параметры, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1

БЛП типа гексакоптер использованная для получения мультиспектральных снимков

Параметр	Значение
Тип	гексакоптер
Взлетный вес	4 кг
Время полета	до 45 минут
Скорость полета	0-60 км/час
Высота полета	0-3000 метров
Радиус действия	до 10 км (в открытой местности)
Количество двигателей	6
Диаметра по осям двигателей	80 мм
Телеметрия	Да (по MavLink)
Поддержка RTK	Да

На БЛП через виброизолированную площадку установлена 5 канальная камера MicaSense Altum. БЛП позволяет в зависимости от высоты полета покрывать площадь от 1 до 100 гектаров на одном заряде батарей. При наличии сменных комплектов батарей площадь покрытия ограничивается только условиями освещенности. БЛП не может использоваться во время дождя и при скорости ветра больше 15 метров в секунду.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе кратко представлены и проанализированы методы тематической обработки снимков возделываемой пашни для проведения ее сегментации. Для практической реализации выбран метод, использующий изображения с расчетными значениями индекса NDVI. выполнена сегментация изображения по двум границам индекса. Получены результаты расчетов, которые позволяют с помощью рассчитанного значения индекса NDVI и выполненной сегментации определить изменение границ отображаемой индексации и выявлять зоны с низкой, средней и высокой вегетацией. Этот подход требует минимума ресурсов, обеспечивает высокую скорость и определенную гибкость в выборе порогов сегментации. Метод позволяет обрабатывать

как спутниковые снимки, так и данные, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов, оснащенных мультиспектральными камерами. Для этих целей могут быть использованы непосредственно мультиспектральные камеры, например камеры MicaSense RedEdge-MX, Parrot Sequoia установленные подходящий носитель или дроны промышленного производства, такие как, DJI Phantom 4 Multispectral. Хотя все отдельные процедуры обработки снимков сами по себе не новы, разработанный модуль может использоваться как часть системы поддержки агротехнических мероприятий в точном земледелии. В дальнейших работах авторы планируют реализовать систему сегментации на основе комплекса спектральных индексов оценки растительности (NDVI, EVI, GNDVI, CVI) а также исследовать вопросы применения моделей машинного обучения для сегментации, идентификации и классификации объектов на изображениях, полученных с помощью БПЛА.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В этом исследовании использованы опубликованные данные зарубежных ученых соответствующие тематике исследования. По вопросам анализа временных серий спутниковых изображений, который позволяет выделять однородные области на основе анализа временной динамики характеристик растительности, в том числе в сочетании с методами машинного обучения, использовались собственные исследования авторов, полученные ранее. Статья написана на материале собственных и зарубежных изданий. Результаты применения разработанной программы пороговой сегментации, которая может быть использована отдельно или в составе информационной системы поддержки процессов точного земледелия, основаны на значениях индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Для опробования программы, использовались данные из дата-портала Copernicus Data Space Ecosystem, <https://dataspace.copernicus.eu/>.

ВКЛАД АВТОРОВ

Разработка концепции - АГТ, разработка методологии - РИМ, ресурсы, подготовка и редактирование текста, визуализация - НРЮ, создание программного обеспечения - КСГ, АГК, АС, ЯИК, проведение исследования - НЕК, РШБ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (проект программно-целевого финансирования № BR24992908 «Система поддержки агротехнических мероприятий в растениеводстве на базе комплекса средств мониторинга и методов искусственного интеллекта (Agroscope)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas A&M University, Remote Sensing Center.
2. MacQueen J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. University of California Press. Vol. 1. P. 281–297.
3. Vassilaros A. ISODATA. Presentation [Electronic resources] URL: https://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Vassilaros_ISODATA.pdf (date of access: 15.12.2024)
4. Guastafarro F., Castrignanò A., De Benedetto D., Sollitto D., Troccoli A., & Cafarelli B. (2010). A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. Precision Agriculture, 11(5), 600–620. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4>
5. Johnson S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. Psychometrika, 32(3). P. 241–254.
6. Scikit-image. (n.d.). Segmentation — Image analysis in Python. [Electronic resources] URL: https://scikit-image.org/skimage-tutorials/lectures/4_segmentation.html (date of access: 15.12.2024)
7. Verbesselt J., Hyndman R. J., Newnham G., Culvenor D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. Remote Sensing of Environment, 114(1). P. 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>
8. Miller L., Pelletier C., Webb G. I. (2024). Deep learning for satellite image time series analysis: A review. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.03936>
9. Mukhamediev R. I., Terekhov A., Amirgaliyev Y., Popova Y., Malakhov D., Kuchin Y., Sagatdinova G., Symagulov A., Muhamedijeva E., Gricenko P. (2024). Using pseudo-color maps and machine learning methods to estimate long-term salinity of soils. Agronomy, 14, 2103. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092103>
10. Matheron G. (1963). Principles of geostatistics. Economic Geology, 58(8), 1246–1266.
11. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1–2), 195–213.
12. OneSoil Yield. (n.d.). Пример снимка NDVI. [Electronic resources] URL: <https://app.yield.onesoil.ai/> (date of access: 20.08.2024)
13. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 58(3), 289–298.

14. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(2), 183–191.
15. Copernicus Data Space Ecosystem, [Electronic resources] URL: <https://dataspace.copernicus.eu/> (date of access: 20.08.2024)

REFERENCES

1. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas A&M University, Remote Sensing Center.
2. MacQueen J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press. Vol. 1. P. 281–297.
3. Vassilaros A. ISODATA. Presentation [Electronic resources] URL: https://web.pdx.edu/~jduh/courses/Archive/geog481w07/Students/Vassilaros_ISODATA.pdf (date of access: 15.12.2024)
4. Guastaferrero F., Castrignanò A., De Benedetto D., Solitto D., Troccoli A., & Cafarelli B. (2010). A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. *Precision Agriculture*, 11(5), 600–620. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9183-4>
5. Johnson S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, 32(3). P. 241–254.
6. Scikit-image. (n.d.). Segmentation — Image analysis in Python. [Electronic resources] URL: https://scikit-image.org/skimage-tutorials/lectures/4_segmentation.html (date of access: 15.12.2024)
7. Verbesselt J., Hyndman R. J., Newnham G., Culvenor D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(1). P. 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.014>
8. Miller L., Pelletier C., Webb G. I. (2024). Deep learning for satellite image time series analysis: A review. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.03936>
9. Mukhamediev R. I., Terekhov A., Amirgaliyev Y., Popova Y., Malakhov D., Kuchin Y., Sagatdinova G., Symagulov A., Muhamedjeva E., Gricenko P. (2024). Using pseudo-color maps and machine learning methods to estimate long-term salinity of soils. *Agronomy*, 14, 2103. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092103>
10. Matheron G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.
11. Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213.
12. OneSoil Yield. (n.d.). Example of NDVI image. [Electronic resources] URL: <https://app.yield.onesoil.ai/> (date of access: 20.08.2024)
13. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298.
14. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. (2000). Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(2), 183–191.
15. Copernicus Data Space Ecosystem, [Electronic resources] URL: <https://dataspace.copernicus.eu/> (date of access: 20.08.2024)

ДӘЛДІ ШАРУАШЫЛЫҚТА ДАЛА БЕЙНЕСІН СЕГМЕНТТЕУ

Кирилл С. Гаринских¹, Алпамыс Г. Карыпов¹, Адилхан Сымағұлов¹, Ян И. Кучин^{1,2}, Алексей Г. Терехов^{1,2} т.ғ.к., Равиль И. Мұхамедиев^{1,2} и.ғ.д., Надия Р. Юничева^{*2,3} т.ғ.к., Нурсултан Е. Көлдеев¹, Рат Ш. Бердібаев¹ п.ғ.к

¹ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан; mlkirillg@gmail.com, karypov1@gmail.com, a.symagulov@satbayev.university, ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com, naduni@mail.ru, kuldeevnursultan129@gmail.com, r.berdybaev@aes.kz

² ҚР ҒЖБМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан; ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com

³ Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан; naduni@mail.ru, r.berdybaev@aes.kz

*Автор корреспонденция: Надия Р. Юничева, naduni@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

нақты ауыл шаруашылығы,
сегменттеу,
NDVI,
дрондар,
қашықтықтан зондтау.

АБСТРАКТ

Дәл егіншілік әдістері егістік алқаптардың әртүрлі учаскелеріндегі өсімдіктердің өсу процестеріндегі нәзік айырмашылықтарды ескеруді талап етеді. Өрістің рельефіндегі, оны сумен қамтамасыз етудегі, қарашірік қабатының қуаттылығындағы және т.б. айырмашылықтар әртүрлі қарқындылықтағы агротехникалық операцияларды қолдану үшін егістікті саралау қажеттілігін тудырады, нәтижесінде өнімділіктің жоғарылауына және дақылдардың өзіндік құнының төмендеуіне әкеледі. Өріс ішіндегі егістік жерлердің рейтингі әдетте қашықтықтан зондтау деректерін сегменттеу арқылы жүзеге асырылады. Сегменттеу жүйесін құру үшін өрістерді мерзімді қашықтықтан және жердегі Бақылау, алынған ақпаратты геореференттеу арқылы жинау және өңдеу қажет. Осы мақсаттар үшін спутниктік қашықтықтан зондтау жүйелерін де, ұшқышсыз да қолдануға болады ұшу платформалары (ұшу аппараттары). Алынған ақпараттың көлемі, әсіресе БЛП қолданған кезде

Мақала жайында:

Жіберілді: 21.01.2025

Қайта қаралды: 22.12.2025

Қабылданды: 23.12.2025

Жарияланды: 30.12.2025

өте маңызды, ал өңдеудің жеделдігіне қойылатын талаптар Жоғары. Осыған байланысты алынған кескіндерді жүйелеу мен өңдеудің тиімді әдістері өзекті болып табылады, олар өте жылдам сегменттеу алгоритмдеріне сүйенеді. Бұл жұмыста нақты егіншілік контурындағы агротехникалық іс-шаралардың экономикалық көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік беретін әртүрлі қашықтықтан зондтау жүйелерінен кескіндерді сегменттеу әдістері қарастырылған. Жеке немесе нақты егіншілік процестерін қолдаудың ақпараттық жүйесінің бөлігі ретінде пайдалануға болатын шекті сегменттеу бағдарламасының мысалы келтірілген. Жұмыста оны NDVI индексінің мәні бойынша өрістің спутниктік кескіндерін сегменттеу үшін қолдану нәтижелері келтірілген. Жүргізілген талдау және осы сегменттеу бойынша әзірленген ұсынымдар экологиялық бұзылулардың, ауа-райының күрт өзгеруіне және өңделетін егістіктердің рельефінің айырмашылығына байланысты егіннің жоғалуын болдырмауға ықпал етеді.

FIELD IMAGE SEGMENTATION IN PRECISION AGRICULTURE

Kirill Garinskikh¹, Alpamys Karypov¹, Adilkhan Symagulov¹, Yan Kuchin^{1,2}, Alexey Terekhov^{1,2} Candidate of technical science, Ravil Mukhamediev^{1,2} Doctor of engineering science, Nadiya Yunicheva^{2,3*} Candidate of technical science, Nursultan Kuldeev¹, Rat Berdibaev¹ Candidate of pol.science

¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan; mlkirillg@gmail.com, karypov1@gmail.com, a.symagulov@satbayev.university, ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com, naduni@mail.ru, kuldeevnursultan129@gmail.com, r.berdybaev@aes.kz

² Institute of Information and Computing Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan; ykuchin@mail.ru, aterekhov1@yandex.ru, ravil.muhamedyev@gmail.com

³ Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan; naduni@mail.ru, r.berdybaev@aes.kz

*Corresponding author: Nadiya Yunicheva, naduni@mail.ru

KEY WORDS

precision agriculture,
segmentation,
NDVI,
drones,
remote sensing.

ABSTRACT

Precision farming methods require consideration of subtle differences in plant growth processes in different areas of cultivated arable land. Differences in the relief of the field, its water supply, the thickness of the humus layer, etc. cause the need to rank the arable land for the application of agrotechnical operations of different intensities, which ultimately leads to higher yields and lower costs of agricultural crops. The ranking of arable land within a field is usually accomplished by segmentation of remotely sensed data. The creation of a segmentation system requires periodic remote and ground monitoring of fields, collection and processing of the received information with its geographical reference. Both satellite remote sensing systems and unmanned aerial platforms (UAPs) can be used for this purpose. The volume of information received, especially when using UAVs, is very significant, and the requirements for the speed of processing are high. In this regard, efficient methods of systematization and processing of the received images, which rely on sufficiently fast segmentation algorithms, are relevant. This paper considers methods of image segmentation from various remote sensing systems, which allow to increase the economic performance of agronomic measures in the precision farming loop. An example of a threshold segmentation program is given, which can be used separately or as part of an information system to support precision farming processes. The paper presents the results of its application for segmentation of satellite images of a field by NDVI index value. The conducted analysis and recommendations on the segmentation data will contribute to the prevention of environmental violations, yield losses due to sudden changes in weather conditions and differences in the relief of cultivated arable land.

About article:

Received: 21.01.2025

Revised: 22.12.2025

Accepted: 23.12.2025

Published: 30.12.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).