

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2024.i5.06>

Assessment of spectral indices variations in areas with favourable hydromeliorative conditions of the Maktaaral irrigation massif

Zh.A Onglassynov^{1*}, L.V. Shagarova², M.M. Muratova¹

¹U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Radiophysics and Physical Electronics of the Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk, Russia

*Corresponding author: zhuldzybek.onlasynov@mail.ru

Abstract. Space technologies, which provide the capability for remote sensing of the Earth, including monitoring of vegetation conditions, are now an integral part of agricultural monitoring. One of the main tools for monitoring studies is the imaging equipment of the Landsat spacecraft. Optical-electronic satellite imaging is performed in different spectral bands. The Landsat series of satellites has a long time series of archived data with a reference accuracy of medium spatial resolution. This paper proposes an integrated approach using remote sensing and GIS techniques to study the influence of hydrogeological conditions of irrigated massifs on crop yields. Landsat-8 space images for the period 2013-2021 were used as remote sensing data to study the influence of soil salinity, groundwater level and salinity on raw cotton yields in the Maktaaral irrigation array plots of Turkestan Province. To assess the influence of these factors, spectral vegetation indices, salinity indices and water indices were calculated and analysed. The index images obtained made it possible to identify differences in raw cotton yields in plots with favourable ameliorative conditions. Using spectral vegetation indices, it was possible to identify zones with the most active cotton growth, as well as areas with low yields, which may be related to soil salinity and insufficient groundwater levels. High soil salinity and high groundwater salinity negatively affect the yield of raw cotton. Thus, the analysis of spectral vegetation indices, salinity indices and water indices makes it possible to determine more precisely the factors affecting crop yields and to take the necessary measures to increase yields in areas with unfavourable conditions. Crime determination aspects in the Far East Federal region are discovered considering socioeconomic situation, complex of negative demographic and socio-economic factors that lead to significant decrease of gainfully employed population and relevance of labor migration. The research objective is to uncover the problems of drug abuse crime in the Far East Federal Region. Objectives: to study and analyze the statistics of demographic and migration processes in this region, to show the consequences of violating migration rules, their impact on increasing the rate of drug abuse crime.

Keywords: Maktaaral irrigation array, hydromeliorative conditions, remote sensing data, GIS-technologies, cotton, index images, vegetation indices, water indices, salinity index.

1. Введение

Исследование гидрогеологических условий орошаемых массивов с использованием методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в Мактааральском массиве орошения является весьма актуальным.

Мактааральский массив Туркестанской области объектом исследования выбран как основной хлопкосеющий регион Южного Казахстана. Хлопок является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, широко используется в текстильной промышленности. Урожайность хлопка напрямую зависит от качества почвы, уровня и минерализации грунтовых вод, а также других факторов, которые могут оказывать влияние на рост и развитие растений. В связи с этим, важно проводить мониторинг и анализ основных параметров, чтобы оценить и прогнозировать урожайность хлопка [1].

Природно-климатические и хозяйственные условия Мактааральского массива, отличающиеся обилием солнечного света, тепла и высоким потенциальным плодородием

почв, создают благоприятные условия для выращивания таких важных сельскохозяйственных культур, как хлопчатник, овощные и бахчевые культуры. Однако эти преимущества теряют свою значимость, когда дефицит влаги в корнеобитаемом слое восполняется за счет орошения, что приводит к подъему уровня грунтовых вод и засолению почв. В результате ухудшается качество орошаемых земель и снижается урожайность. Даже при слабом уровне засоления потери урожая достигают двадцати процентов, а на сильно засоленных почвах они составляют до восьмидесяти процентов [2].

Для Мактааральского района в соответствии с классификацией климата по системе Кеппен-Гейгера, свойствен «субтропический сухой климат», который часто называют «средиземноморским» [3].

Особенностью климата является обилие солнечного света и тепла – число часов солнечного сияния составляет в среднем 2800-2900 за год, суммарный приток солнечной радиации 160-165 ккал/см² (6.5-6.7 ГДж/м²).

Среднегодовая температура воздуха по данным многолетних наблюдений в пределах описываемого района составляет +13.7°C. Наиболее низкая температура наблюдается в январе (-12.4°C), а наиболее высокая в июле (+30.2°C) (рисунок 1).

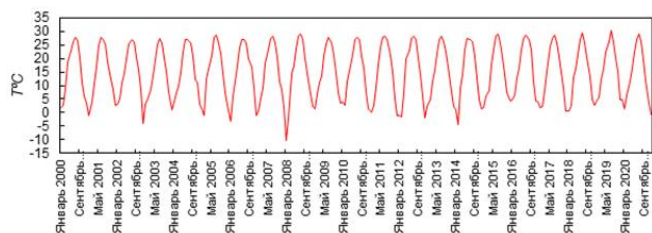


Рисунок 1. График изменения температуры воздуха по метеостанции Жетыбай за период 2000-2020 гг.

Годовое количество осадков на территории колеблется от 175 до 425 мм. Распределение осадков по сезонам следующее: весна является самым влажным периодом, на который приходится более 40% годовых осадков; зимой выпадает 25-35%; осенью — 15-20%; и летом — всего 5-10%. Испаряемость в рассматриваемом районе превышает 1200 мм в год, или 12 000 м³/га [4–6].

На рисунке 2 показана кривая обеспеченности количества атмосферных осадков за год X по метеостанции г. Жетыбай, а также полиномиальный тренд, наилучшим способом аппроксимирующий опытную выборку. Обеспеченность годового количества осадков рассчитывалась по формуле Чегодаева:

$$P = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} 100 \%, \quad (1)$$

где m – порядковый номер анализируемых величин, расположенных в порядке убывания; n – объем анализируемой выборки ($n = 83$).

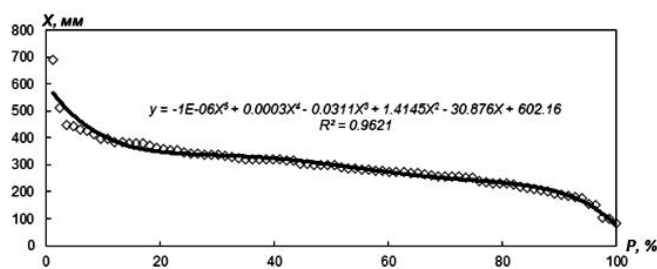


Рисунок 2. График обеспеченности суммарных годовых атмосферных осадков по метеостанции г. Жетыбай за многолетний период наблюдений

Показатели влажности воздуха в течение года сильно изменяются. Средняя абсолютная влажность воздуха составляет 8.3 мб, тогда как относительная влажность варьируется от 79% в феврале до 42% в июле.

Ветровой режим довольно устойчивый в течение года. Преобладающее направление ветров, юго-восточное. Среднегодовая скорость ветра составляет 1.9 м/с на западе и 2.5 м/с на востоке.

Снежный покров в регионе нестабилен с продолжительностью в 30-45 дней, а в отдельные годы он может отсутствовать вовсе. Весенние заморозки заканчиваются достаточно рано. Климат района отличается жарким летом с низкой влажностью, малым количеством осадков

и высокой испаряемостью. Для получения высоких урожаев необходимо орошение, которое должно не только восполнять недостаток влаги в почве, но и способствовать созданию благоприятного микроклимата на хлопковых полях.

Вся территория изучаемого района покрыта аккумулятивными формами рельефа и включает три комплекса речных террас: низкие, средние и высокие.

Естественные водотоки представлены рекой Сырдарья — одной из крупнейших рек Средней Азии, которая образуется при слиянии рек Нарын и Кара-Дарья. Сырдарья протекает на северо-востоке, вдоль восточной границы Мактааральского района, и имеет общую длину 2137 км. Максимальная скорость течения реки достигает 1.65 м/с, в среднем — 0.9–1.2 м/с. Глубина реки варьируется от 3.7 до 6.0 м, а ширина русла колеблется от 160 до 300 м (гидропост Кок-Булак) [7].

Сырдарьинская синеклиза, с геологической точки зрения, является мезокайнозойской платформенной структурой первого порядка, расположенной на гетерогенном эпипалеозойском фундаменте. Платформенный чехол имеет сложное строение и историю формирования, в развитии которого выделяются три стадии: рэт-юрская, мел-палеогеновая и олигоцен-четвертичная.

Тектоника района характеризуется расположением в пределах Ташкентской Голодностепской впадины. Впадина ограничена на севере Мансуратинской антиклиналью, на западе — южной частью Джаусумкум-Бельской антиклинальной зоны, на юге — Туркестанской и Нуралинской антиклиналями, а на востоке — Кураминской, Кызылнура-Акташской и Угам-Каржантаусской мегаантиклиналями [7].

Геоморфология исследуемого района относительно проста и характеризуется аккумулятивным типом рельефа. Вся территория занята формами аккумулятивного рельефа, представленными тремя комплексами речных террас: низкими, средними и высокими.

В гидрогеологическом плане район расположен в юго-восточной части Сырдарьинского бассейна, который включает как напорные, так и безнапорные пластовые подземные воды, и находится в пределах Голодностепской депрессии, входящей в состав Приташкентского бассейна [7].

Континентальный климат района приводит к основному пополнению запасов подземных вод водоносных горизонтов и комплексов в осенне-зимний период, когда наблюдается максимальное количество осадков [7].

Искусственная сеть оросительных каналов, охватывающая территорию Голодной степи, дополнительно способствует пополнению запасов подземных вод верхних горизонтов за счет фильтрационных потерь воды. [7].

Орошение земель в Мактааральском районе Туркестанской области осуществляется через канал МК «Достык», который берет воду из реки Сырдарья в Республике Узбекистан. Канал имеет общую длину 113 км, из которых 49 км расположены на территории Казахстана. В начале канала расход воды составляет 230 м³/сек, а на участке, пересекающем границу Казахстана, уменьшается до 120 м³/сек. Для орошения используются внутрихозяйственные оросители первого порядка, такие как К-20, К-21, К-22, К-24 и К-26, с коэффициентом полезного действия от 0.85 до 0.87. Минерализация воды не превышает 1.0 г/л в течение вегетационного периода. Хими-

ческий состав воды — сульфатно-гидрокарбонатный, что делает ее подходящей для орошения сельскохозяйственных культур [7].

Согласно исследованиям, методы ДЗЗ эффективны для оценки урожайности хлопчатника, оценки уязвимости богарных и пахотных земель к засухам, оценки объема талых вод как источника питания рек, изучения участков осушенного морского дна для закладки растительности, картирования, анализа и выявления заброшенных сельскохозяйственных угодий, оценки потребности в оросительной воде для создания карт землепользования, а также для создания автоматизированной системы картирования орошаемых территорий.

Дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ) активно используются в гидрогеологических и мелиоративных исследованиях, а также в изучении геологической и гидрогеологической среды. Интеграция этих методов с наземными наблюдениями на ключевых участках существенно увеличивает их точность и глубину анализа. С помощью ГИС и ДЗЗ можно эффективно анализировать разнообразные аспекты гидрологии и гидрогеологии, такие как геологические и почвенные характеристики, формы рельефа, дренажные системы, растительность, водные ресурсы, линейные элементы, геологические структуры, антропогенные объекты, водоёмы и населённые пункты.

Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют получать информацию о состоянии почвы и растений с помощью спутников и беспилотных летательных аппаратов [8]. В данной работе использованы мультиспектральные данные с космического аппарата Landsat-8. Одним из эффективных методов анализа спутниковых данных является математическое преобразование спектральных каналов в различные индексные изображения. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в сочетании с анализом спектральных вегетационных индексов, индексов засоления и водных индексов позволяет оценить, как засоленность почв, уровень и минерализация грунтовых вод влияют на урожайность сырьевых хлопков на участках с разными мелиоративными условиями, как благоприятными, так и критическими.

Целью данного исследования является изучение региональных особенностей гидромелиоративных условий Мактааральского массива орошения (рисунок 3) и выявление участков с благоприятными мелиоративными условиями, оценка влияния засоленности почв, уровня и минерализации грунтовых вод на урожайность хлопка сырья на участках с мелиоративными условиями, с использованием оптико-электронных данных ДЗЗ и ГИС-технологий.

Для достижения поставленной цели проведен космический мониторинг участков с различными мелиоративными условиями. В качестве исходных данных обработаны космоснимки, на основе которых рассчитаны спектральные вегетационные индексы (VI), индексы засоления (SI) и водные индексы (WI), проведен анализ их вариаций с применением ГИС-технологий и интерпретация полученных данных.

Методы дистанционного зондирования активно используются в глобальной практике ирригации и мелиорации. В базе данных Web of Science представлено более 4000 научных публикаций на тему применения

ДЗЗ в этих областях, охватывающих как теоретические исследования, так и практические применения. Ведущими странами по количеству публикаций являются США, Германия, Испания, Индия и Китай. Наблюдается явный рост интереса к методам ДЗЗ в гидромелиоративных исследованиях, что подчеркивает их значительный потенциал для решения современных задач в сельском хозяйстве и управлении водными ресурсами.

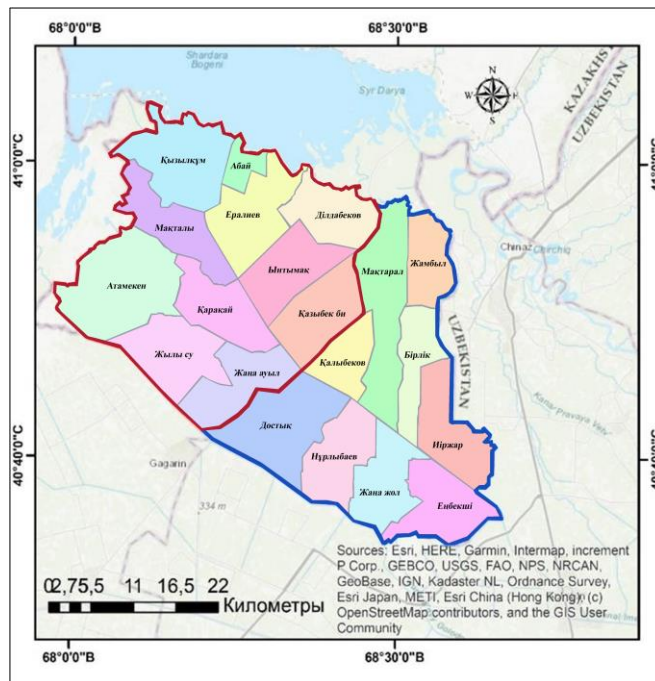


Рисунок 3. Карта административных границ районов и сельских округов Мактааральского массива орошения

По теме применения методов ДЗЗ в орошаемом земледелии на территории Казахстана, в базе Web of science имеются 18 опубликованных трудов. Из них основные труды приходится с участием ученых из Германии, Казахстана, США, Китая и Англии.

Методы дистанционного зондирования эффективны при районировании агроклиматических зон [9], картировании культур на орошаемых массивах [10], определении содержания химических элементов в почве [11], прогнозировании урожайности [12], борьбе с вредителями [13], оценке водного стресса растений [14] и других исследованиях.

2. Материалы и методы

Исходные материалы – картографический материал наземного обследования, спутниковые данные и метеоданные территории исследований. В качестве данных ДЗЗ использован долговременный ряд архивных безоблачных мультиспектральных изображений среднего разрешения Landsat-8 и Sentinel-2, территории Мактааральского района за вегетационный период с 2013 по 2021 годы. Картографический материал включает набор карт уровней грунтовых вод (УГВ), карт минерализации грунтовых вод (МГВ) и карт засоления почв исследуемой территории (рисунок 4) [15]. Из архива метеонаблюдений использованы данные по осадкам и температуре воздуха в регионе [2].

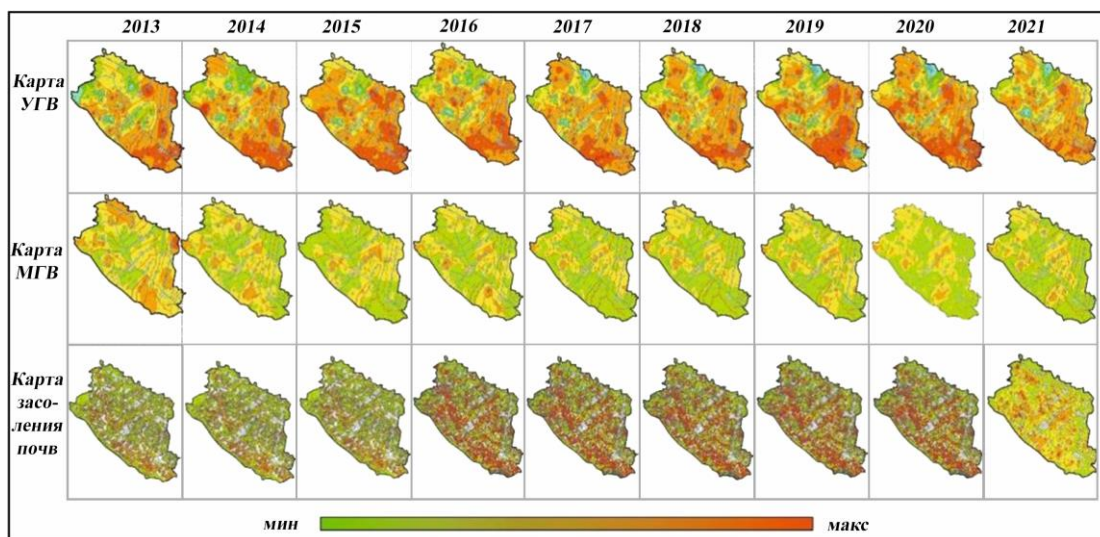
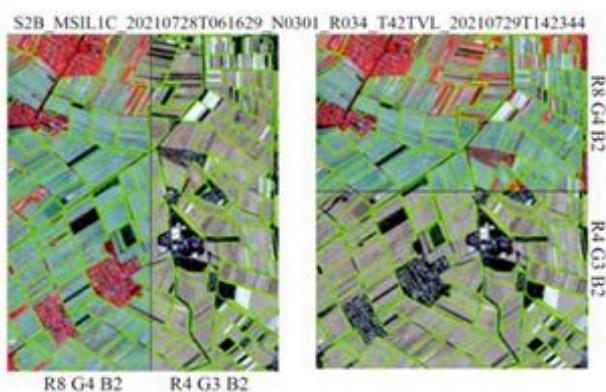


Рисунок 4. Оцифрованные карты УГВ, МГВ и засоления почв Мактааральского массива орошения с 2013 г. по 2021 г

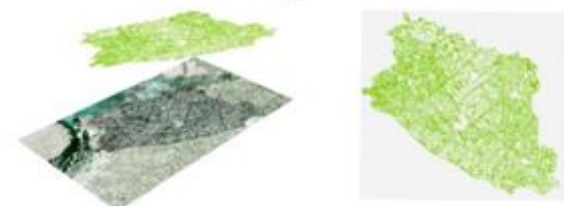
В дополнение к оцифровке данных мелиоративного мониторинга были разработаны векторные карты орошаемых земель в исследуемом массиве. Для выделения полей использованы данные Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м на пиксель. Для лучшего выделения границ отдельных полей созданы RGB-композиты (R=b8 (ближний инфракрасный); G=b4 (красный); B=b2 (синий канал)) с акцентированием на инфракрасный канал, который информативен для детектирования растительного покрова (рисунок 5).



а



б



в

Рисунок 5. Оцифровка границ полей орошаемых земель Мактааральского массива с использованием спутниковых данных: а) использование RGB-композитов; б) атрибутивные данные векторных полей; в) визуализация векторных полей в 3d и 2d видах

Порядка 3000 векторных полей с геометрической информацией и атрибутивными данными содержит созданный шэйп файл, включая пространственные характеристики (площадь, периметр) и данные выращиваемых культур.

Анализ цифровых карт, созданных за период с 2013 по 2021 год, позволил определить участки с благоприятными мелиоративными условиями (рисунок 6).

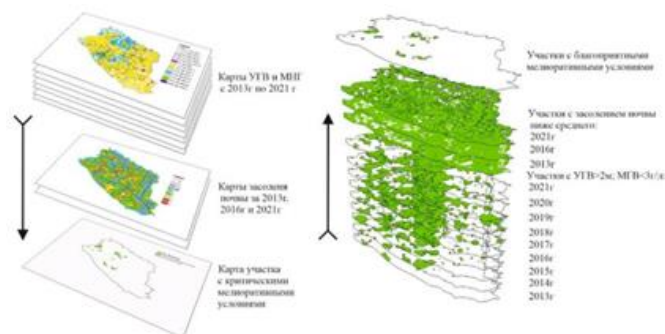


Рисунок 6. Методика выделения участков с благоприятными мелиоративными условиями орошаемых земель Мактааральского массива

Эти участки характеризуются тем, что в течение вегетационных периодов с 2013 по 2021 годы уровень грунтовых вод оставался ниже 2 метров, минерализация грунтовых вод не превышала 3 г/л, а степень засоления почв была ниже средней. Общая площадь таких участков не превышает 4200 га.

После определения участков с оптимальными мелиоративными условиями была проведена сортировка данных о хлопковых полях в этих зонах. При этом основным критерием было размещение центров отдельных хлопковых полей в пределах соответствующих полигонов (shp) как с критическими, так и с благоприятными мелиоративными условиями. В результате этого анализа в зонах с благоприятными мелиоративными условиями были идентифицированы семьдесят хлопковых полей, общей площадью не более 2100 га.

Чтобы увеличить информативность данных ДЗЗ, были выполнены спектральные преобразования исходных спутниковых изображений. Обработка спутниковой

информации, создание спектральных индексных изображений и мониторинг изменений на территории исследования осуществлялись в лицензионном программном обеспечении ArcGIS и Geomatica 2016.

Опираясь на мировой опыт применения данных дистанционного зондирования Земли, для определения наиболее информативных индексов в условиях критического и благоприятного мелиоративного состояния Мактааральского массива орошения были выбраны следующие популярные вегетационные индексы: NDVI, SAVI, GEMI, ARVI, IPVI, MTVI, TDVI, водные индексы: NDWI, MNDWI, индекс засоления NDSI. Данные индексы рассчитаны по формулам, указанным в таблице 1.

Таблица 1. Формулы спектральных индексов

Вид индекса	Наименование индекса	Формула	Источник
Вегетационные индексы	Normalised Difference VI (Нормализованный Разностный Вегетационный Индекс)	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	[16]
	Soil Adjusted VI (Почвенный вегетационный индекс)	$SAVI = (1 + L) \cdot \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)}$ где: L = [0;1]	[17]
	Global Environmental Monitoring Index (Глобальный индекс мониторинга окружающей среды)	$GEMI = \eta(1 - 0.25\eta) \cdot \frac{(R - 0.125)}{1 - R}$ где: $\eta = \frac{2(NIR^2 - R^2) + 1.5NIR + 0.5R}{NIR + R + 0.5}$	[18]
	Atmospherically resistant VI (Атмосфероустойчивый Вегетационный Индекс)	$ARVI = \frac{NIR - Rb}{NIR + Rb}$ где: Rb=Red - a (R -Blue), a=0.5	[19]
	Infrared Percentage VI (Инфракрасный индекс вегетации в процентах)	$IPVI = \frac{NIR}{NIR + R}$	[20]
	Modified Triangular VI (Модифицированный треугольный вегетационный индекс)	$MTVI = 1.2[1.2(NIR - G) - 2.5(R - G)]$	[21]
	Transformed Difference VI (Преобразованный разностный вегетационный индекс)	$TDVI = 1.5 \cdot \frac{(NIR - R)}{\sqrt{NIR^2 + R + 0.5}}$	[22]
Водные индексы	Normalised Difference Water Index (Нормализованный Разностный Водный Индекс)	$NDWI = \frac{NIR - SWIR_1}{NIR + SWIR_1}$	[23]
	Modified Normalised Difference Water Index (Модифицированный нормализованный разностный водный индекс)	$MNDWI = \frac{G - SWIR_1}{G + SWIR_1}$	[24]
Индекс засоления	Normalised Difference Salinity Index (Нормализованный разностный индекс засоления)	$NDSI = \frac{SWIR_1 - SWIR_2}{SWIR_1 + SWIR_2}$	[25]

3. Результаты и обсуждение

Для анализа урожайности хлопка на участках с благоприятными и критическими условиями в Мактааральском районе выполнены следующие виды работ:

Оцифрованы карты засоления почв Мактааральского массива орошения, карты залегания уровня грунтовых вод, минерализации грунтовых вод за 2013-2021 годы.

Разработаны методики выделения участков с особыми мелиоративными условиями и полей в пределах этих участков. Определены критерии выбора данных ДЗЗ, выполнены поиск, загрузка и обработка архивных спутниковых данных среднего разрешения.

По данным ДЗЗ оцифрованы границы полей орошаемых земель массива исследования. Созданный шейп-файл включает 2970 векторных полей и детальные характеристики каждого поля.

Анализ изменений вегетационного индекса хлопковых полей за период наблюдения демонстрирует, что участки с оптимальными мелиоративными условиями показывают значения NDVI, которые в среднем на двенадцать процентов выше по сравнению с участками, где условия критические. При этом, среднесуточная температура воздуха и среднесеasonные осадки в вегетационный период имеют слабую связь с индексом NDVI (рисунок 7).

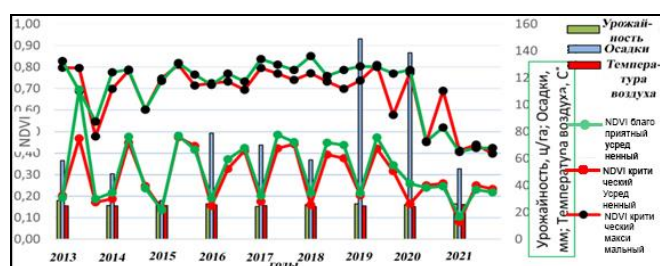


Рисунок 7. Сравнительный график динамики спектрального индекса NDVI хлопковых полей, на участках с благоприятными и критическими мелиоративными условиями с 2013г по 2021 г.

Анализ данных по индексу засоления NDSI для хлопковых полей в период наблюдения показывает, что на участках с оптимальными условиями этот индекс в среднем на десять процентов, чем на участках с неблагоприятными условиями. При этом, среднесуточная температура и среднесеasonные осадки в вегетационный период имеют слабую связь с уровнем NDSI (рисунок 8).

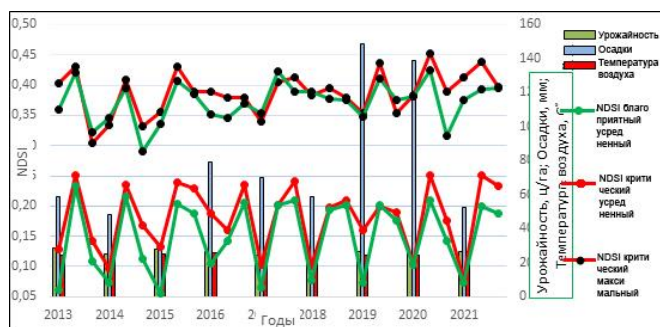


Рисунок 8. Сравнительный график динамики спектрального индекса NDSI хлопковых полей на участках с благоприятными и критическими мелиоративными условиями с 2013г по 2021 г.

Индекс NDSI показал слабую связь с картой почвенного засоления, созданной на основе данных полевых и лабораторных исследований. Его низкая информативность в данной выборке связана с интенсивной сельскохозяйственной и мелиоративной деятельностью в районе, включая обработку земли, рост всходов, вегетацию и промывку солей.

Анализ изменения водного индекса NDWI на хлопковых полях в период наблюдения показал, что значения NDWI на участках с хорошими мелиоративными условиями в среднем на шесть процентов ниже, чем на территориях с критическими условиями. Среднесуточные температуры воздуха и среднемесячные осадки в течение вегетационного периода практически не коррелируют с индексом NDWI (рисунок 9).

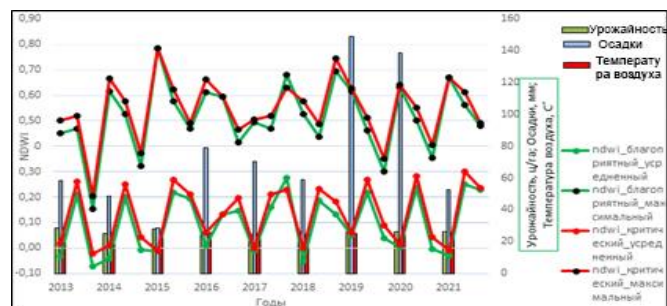


Рисунок 9. Сравнительный график динамики спектрального индекса NDWI хлопковых полей, на участках с благоприятными и критическими мелиоративными условиями с 2013г по 2021 г.

Анализ вегетационных индексов на участках с благоприятными гидрогеологическими условиями показывает значительный рост значений индексов, в частности NDVI показывает рост на 10-12%, что соответствует диапазону 0.12-0.19, увеличение SAVI на 8-10%, дает значения в диапазоне от 0.12 до 0.28; ARVI показывает рост на 7-10%, со значениями в диапазоне 0.1-1.15. GEMI увеличился на 3-5%, попав в диапазон от 0.09 до 0.1. IPVI также показывает рост на 3-5%, со значениями в диапазоне от 0.05 до 0.1. MTVI показывает рост на 12-15%, со значениями в диапазоне от 0.09 до 0.4. Наконец, TDVI показывает рост на 12-15%, попав в диапазон от 0.09 до 0.21.

График динамики SAVI за вегетационный период показывает три ключевых временных этапа созревания растительности. Первый этап охватывает период с конца марта до конца мая, когда проходят посевные работы, начинается раннее созревание семян и появляются всходы. В этот период индекс SAVI демонстрирует устойчивый рост. Второй этап - с конца июня до конца августа - характеризуется активным созреванием хлопчатника, и в это время индекс вегетации приобретает параболическую форму с пиком в середине августа. Третий этап длится со второй декады сентября до начала ноября и связан со сбором урожая. Данные Landsat-8 с 2013 по 2021 год подбирались с учетом этих временных фаз созревания растений.

На территории Мактааральского массива орошения наиболее информативными вегетационными индексами оказались NDVI с годовым диапазоном изменений порядка 40 процентов и SAVI с диапазоном сорока пяти процентов. Наименьшую информативность показали индексы IPVI и GEMI, с диапазонами изменений в течение года 20% и 10% соответственно.

Также проведена оценка корреляции вегетационных индексных изображений с метеоданными, включая среднесуточную температуру воздуха и среднемесячную суммы осадков.

Полученные результаты показали, что спектральные индексы и их вариации отражают засоленность почвы, уровень и минерализация грунтовых вод, которые в свою очередь оказывают значительное влияние на урожайность хлопка. В частности, высокие значения индексов засоления и низкие значения водных индексов коррелируют с уменьшением урожайности. При этом благоприятные мелиоративные условия способствуют увеличению урожайности даже при наличии высоких значений засоленности.

4. Выводы

Спектральные вегетационные индексы SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) и NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) являются более информативными, чем остальные индексы (GEMI, ARVI, IPVI, MTVI, TDVI) в благоприятных мелиоративных условиях Мактааральского массива орошения. Это связано с тем, что SAVI и NDVI относятся к наиболее широко используемым и проверенным индексам для оценки вегетации на основе данных спутникового зондирования Земли. SAVI учитывает коррекцию наличия почвенного фона, что делает его более точным в условиях с высоким содержанием почвы или воды. NDVI, в свою очередь, основан на различии между поглощенным и отраженным светом растениями, что позволяет более точно определить степень их зеленого охвата. Таким образом SAVI и NDVI обеспечивают наиболее информативные данные о состоянии вегетации, так как учитывают различные свойства растительного покрова и окружающей среды.

Вегетационные индексы на хлопковых полях, расположенных в зонах с хорошими мелиоративными условиями, показывают более высокие значения по сравнению с полями в критических условиях. Эти различия в показателях свидетельствуют о том, что урожайность хлопка-сырца на полях с благоприятными условиями как минимум на 10% выше, чем на участках с неблагоприятными мелиоративными условиями. Таким образом, в условиях критических и благоприятных мелиоративных условий вегетационные индексы отражают изменения в растительности и информативны при принятии решений по управлению земледелием и орошением хлопковых полей.

Индекс засоления NDSI (Normalized Difference Soil Index) в критических и благоприятных мелиоративных условиях Мактааральского массива орошения не имеет линейной зависимости с полевыми данными солевой съемки почв. Отсутствие высокой корреляции между индексом засоления NDSI и полевыми данными солевой съемки может быть связано с тем, что NDSI отражает только поверхностные уровни засоления, в то время как полевая съемка учитывает и более глубокие слои почвы, а также другие факторы, влияющие на засоление.

На полях с оптимальными мелиоративными условиями значения NDSI в среднем на 18% ниже по сравнению с участками, где условия критические. Это подчеркивает важность включения индекса засоления NDSI в анализ урожайности хлопка, так как он позволяет оценить уровень поверхностного засоления и его влияние на растения. NDSI позволяет выявить участки с повышенным засолением, которые могут оказывать негативное воздействие на развитие хлопковых растений.

Таким образом, NDSI может быть использован для оптимизации мероприятий по мелиорации и улучшению условий выращивания хлопчатника.

Для анализа воды и влажности по данным Landsat-8 использовались индексы NDWI (Normalized Difference Water Index) и MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). Отметим, что MNDWI учитывает также влияние влажности почвы, в то время как NDWI сконцентрирован исключительно на воде. Изменения нормализованного разностного водного индекса NDWI в течение года имеют большую амплитуду по сравнению с индексом MNDWI. На участках с оптимальными мелиоративными условиями значения водных индексов NDWI и MNDWI заметно ниже, чем на участках с неблагоприятными условиями, разница достигает 15-25%.

Корреляция метеоданных, включая среднесуточную температуру воздуха и среднемесячную сумму осадков, со значениями индексных изображений (индексов вегетации, индекса засоления, водного индекса) в вегетационный период оказалась низкой.

Таким образом, использование данных ДЗЗ и анализ спектральных индексных изображений позволяет оценить влияние засоленности почв, уровня и минерализации грунтовых вод на урожайность хлопка, что в свою очередь позволяет разработать эффективные меры по улучшению условий выращивания культуры и повышению урожайности.

Дальнейшие исследования в этой области могут помочь развить новые методы мониторинга и управления гидромелиоративными процессами в сельском хозяйстве.

Финансирование

Работа проводилась в рамках ЦНТП «Ресурсы подземных вод как основной резерв устойчивого орошаемого земледелия Казахстана» No BR 21882211.

References / Литература

- [1] Abdrahmanova, N.B., Umbetov, A.K. & Bakenova, Zh.B. (2020). Ekologo-meliorativnoe sostojanie oroshaemyh zemel' Turkestan'skoj oblasti Kazahstana. *Materials of the XVI international scientific and practical conference, Sheffield Science and Education LTD*
- [2] Climate Database. Climate of Kazakhstan. Retrieved from: <https://ru.climate-data.org/азия/казахстан-83/>
- [3] Z.D. Klykova. (1954). Klimatologicheskij spravochnik SSSR. Kazahskaja SSR. Meteorologicheskije dannye za otdel'nye gody. Temperatura vozduha (Issue I, Volume II). L.: *Gidrometeoizdat*
- [4] Spravochnik po klimatu SSSR. (1966). Kazahskaja SSR. Temperatura vozduha i pochvy (Issue II). L.: *Gidrometeoizdat*
- [5] Spravochnik po klimatu SSSR. (1968). Kazahskaja SSR. Vlazhnost' vozduha, atmosferynye osadki, snezhnyj pokrov (Issue IV.). L.: *Gidrometeoizdat*
- [6] Database. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Retrieved from: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/publications/5099/?sphrase_id=83129
- [7] Onlasyanov, Zh.A. (2021). Gidrogeologicheskie uslovija oroshaemyh massivov Maktaaral'skogo rajona. *Trudy Satpaev'skij chtenij (Volume I), Almaty*
- [8] Onglassynov, Zh. & Shagarova, L.V. (2022). GIS assessment of the state of the Maktaral irrigated lands and the possibility of reuse of collector-drainage water. *3i: Intellect, Idea, Innovation*, (2), 158-164. https://doi.org/10.52269/22266070_2022_4_158
- [9] Onglassynov, Zh., Yerikuly, Zh., Muratova, M. & Akynbayeva, M. (2022). Dynamics of spectral indices of remote sensing data on the example of irrigated lands of East Kazakhstan. *3i: intellect, idea, innovation*, (3), 134-141. https://doi.org/10.52269/22266070_2022_3_134
- [10] Al-Shammari, D., Fuentes, I., Whelan, B.M., Filippi, P. & Bishop, T. (2020). Mapping of Cotton Fields Within-Season Using Phenology-Based Metrics Derived from a Time Series of Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/rs12183038>
- [11] Dionizio, E.A., Pimenta, F.M., Lima, L.B. & Costa, M.H. (2020). Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. *Plos One*, 15(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241637>
- [12] Gerts, J., Juliev, M. & Pulatov, A. (2020). Multi-temporal monitoring of cotton growth through the vegetation profile classification for Tashkent province, Uzbekistan. *Geoscape*, 14(1), 62-69. <https://doi.org/10.2478/geosc-2020-0006>
- [13] Iost, F.H., Heldens, W.B., Kong, Z.D. & de Lange, E.S. (2020). Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. *Journal of Economic Entomology*, 113(1), 1-25. <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>
- [14] Li, H. L., Wang, G. J., Dong, Z., Wei, X. K., Wu, M. J., Song, H. H. & Amankwah, S. O. Y. (2021). Identifying Cotton Fields from Remote Sensing Images Using Multiple Deep Learning Networks. *Agronomy*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy11010174>
- [15] Report. (2021). Otchet o meliorativnom sostojanii oroshaemyh zemel' Juzhno-Kazahstanskoy oblasti za 2000-2019. *RGU «JuKGGMJe», Shymkent*
- [16] Aparicio, N., Villegas, D., Royo, C., Casadesus, J. & Araus, J. L. (2004). Effect of sensor view angle on the assessment of agronomic traits by ground level hyper-spectral reflectance measurements in durum wheat under contrasting Mediterranean conditions. *International Journal of Remote Sensing*, (25), 1131-1152. <https://doi.org/10.1080/0143116031000116967>
- [17] Ahamed, T., Tian, L., Zhang, Y. & Ting, K.C. (2011). A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass & Bioenergy*, (35), 2455-2469. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.028>
- [18] Pinty, B. & Verstraete, M.M. (1992). GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Plant Ecology*, (101), 15-20. <https://doi.org/10.1007/bf00031911>
- [19] Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A.R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, (13), 95-120. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>
- [20] Crippen, Robert E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, (1), 71-73. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(90\)90085-z](https://doi.org/10.1016/0034-4257(90)90085-z)
- [21] Haboudane, Driss, Miller, John R., Pattey, Elizabeth, Zarco-Tejada, Pablo J., Strachan, Ian B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, (90), 337-352. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>
- [22] Bannari, A. (2002). Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (5), 3053-3055. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2002.1026867>
- [23] Apan, A., Held, A., Phinn, S., Markley, J. (2003). Formulation and assessment of narrow-band vegetation indices from EO-1 hyperion imagery for discriminating sugarcane disease. *Spatial Sciences Institute Conference: Spatial Knowledge Without Boundaries (SSC2003)*, *Spatial Sciences Institute*
- [24] Xu, H. (2006). Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, (14), 3025-3033
- [25] Al-Khaier, F. (2003). Soil Salinity Detection Using Satellite Remotes Sensing. *International institute for Geo-information science and earth observation, Enschede, The Netherlands*

Мақтаарал суару массивінің гидромелиоративтік жағдайының қолайлы аймақтардағы спектрлік көрсеткіштердің өзгеруін бағалау

Ж.Ә.Оңласынов^{1*}, Л.В.Шагарова², М.М.Муратова¹

¹У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан

²Ресей Ғылым академиясы Сібір бөлімшесінің Омбы ғылыми орталығының Радиофизика және физикалық электроника институты, Омск, Ресей

*Корреспонденция үшін автор: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

Аңдатпа. Қазіргі уақытта ғарыштық технологиялар ауылшаруашылық мониторингінің құрамдас бөлігі болып табылады, олар жерді қашықтықтан зондтауды, оның ішінде өсімдіктердің жай-күйін бақылауды қамтамасыз етеді. Мониторингтік зерттеулердің негізгі құралдарының бірі Landsat ғарыш аппаратының бейнелеу жабдықтары болып табылады. Оптикалық-электрондық спутниктік бейнелеу әртүрлі спектрлік диапазондарда жүзеге асырылады. Landsat спутниктерінің сериясы орташа кеңістіктік рұқсаттың эталондық дәлдігі бар тарихи деректердің ұзақ мерзімді сериясына ие. Бұл мақалада жерді қашықтықтан зондтау әдістерін және суармалы алқаптардың гидрогеологиялық жағдайларының ауыл шаруашылығы өніміне әсерін зерттеуге арналған ГАЖ технологияларын қамтитын кешенді тәсіл ұсынылған. Түркістан облысындағы Мақтаарал суару массивінің аудандарында топырақтың тұздылығы, жер асты суларының деңгейі мен минералдануының шитті мақта өніміне әсерін зерттеу үшін 2013-2021 жылдар аралығындағы Landsat-8 спутниктік суреттері қашықтықтан зондтау деректері ретінде пайдаланылды. Осы факторлардың әсерін бағалау үшін өсімдіктердің спектрлік көрсеткіштері, тұздылық көрсеткіштері және су индекстері есептеліп, талданған. Алынған индекстік суреттер мелиоративтік жағдайы қолайлы аймақтардағы шитті мақта шығымдылығының айырмашылығын анықтауға мүмкіндік берді. Өсімдік жамылғысының спектрлік көрсеткіштерін пайдалана отырып, мақта өсімі ең белсенді аймақтарды анықтауға, сондай-ақ топырақтың сортаңдануы мен жер асты суларының жеткіліксіз деңгейіне байланысты болуы мүмкін өнімділігі төмен аймақтарды анықтауға мүмкіндік берді. Топырақтың тұздылығының жоғары болуы және жер асты суларының жоғары минералдануы шитті мақтаның өніміне кері әсерін тигізеді. Осылайша, өсімдіктердің спектрлік көрсеткіштерін, тұздылық көрсеткіштерін және су көрсеткіштерін талдау ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне әсер ететін факторларды дәлірек анықтауға және қолайсыз жағдайлары бар жерлерде өнімділікті арттыру үшін қажетті шараларды қабылдауға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: Мақтаарал суару массиві, дренаждық жағдайлар, қашықтықтан зондтау деректері, ГАЖ технологиялары, мақта; индекстік суреттер, өсімдік жамылғысының көрсеткіштері, су индекстері, тұздылық индексі.

Оценка вариаций спектральных индексов на участках с благоприятными гидромелиоративными условиями Мактааральского массива орошения

Ж.А.Оңласынов^{1*}, Л.В.Шагарова², М.М.Муратова¹

¹Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Алматы, Казахстан

²Институт радиофизики и физической электроники Омского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Омск, Россия

*Автор для корреспонденции: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru

Аннотация. В настоящее время космические технологии - неотъемлемая часть сельскохозяйственного мониторинга, предоставляют возможность проводить дистанционное зондирование Земли, в том числе мониторинг состояния растительности. Одним из основных инструментов для мониторинговых исследований является съемочная аппаратура космического аппарата Landsat. Оптико-электронная спутниковая съемка осуществляется в различных спектральных диапазонах. Серия спутников Landsat имеет длительный временной ряд архивных данных с эталонной точностью среднего пространственного разрешения. В данной статье предложен комплексный подход, включающий в себя методы дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии для изучения влияния гидрогеологических условий орошаемых массивов на урожайность сельскохозяйственных культур. В качестве данных ДЗЗ использовались космоснимки Landsat-8 за период с 2013 по 2021 годы для изучения влияния засоленности почв, уровня и минерализации грунтовых вод на урожайность хлопка сырца на участках Мактааральского массива орошения Туркестанской области. Для оценки влияния этих факторов были рассчитаны и проанализированы спектральные вегетационные индексы,

индексы засоления и водные индексы. Полученные индексные изображения позволили выявить различия в урожайности хлопка сырца на участках с благоприятными мелиоративными условиями. С помощью спектральных вегетационных индексов удалось определить зоны с наиболее активным ростом хлопка, а также выявить участки с низкой урожайностью, что может быть связано с засолением почв и недостаточным уровнем грунтовых вод. Высокий уровень засоленности почв и высокая минерализация грунтовых вод негативно сказываются на урожайности хлопка сырца. Таким образом, анализ спектральных вегетационных индексов, индексов засоления и водных индексов позволяет более точно определить факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур и принять необходимые меры для повышения урожайности на участках с неблагоприятными условиями.

Ключевые слова: Мактааральский массив орошения, гидромелиоративные условия, данные ДЗЗ, ГИС-технологии, хлопок, индексные изображения, вегетационные индексы, водные индексы, индекс засоления.

Received: 09 July 2024

Accepted: 15 October 2024

Available online: 31 October 2024