

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – 2023. -№ 2 (117). - Б.148-161.

[doi.org/ 10.51452/kazatu.2023.2\(117\).1386](https://doi.org/10.51452/kazatu.2023.2(117).1386)

УДК 631.42; 004.38

ДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ NDVI В АГРОНОМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ АГРОКУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Кусаинова Майра Джумагуловна

Кандидат сельскохозяйственных наук

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

г. Алматы, Казахстан

E- mail: maira.kussainova@kaznaru.edu.kz

Таменов Тимур Борисович

Магистр техники и технологий

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

г. Алматы, Казахстан

E- mail: timur.tamenov@kaznaru.edu.kz

Тойшиманов Максат Рисбекович

Магистр технических наук, докторант

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

г. Алматы, Казахстан

E- mail: 507957@kaznaru.edu.kz

Сыздық Әнел Батырқызы

Магистр сельскохозяйственных наук

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

г. Алматы, Казахстан

E- mail: Anel.Syzdyk@kaznaru.edu.kz

Гульназ Искакова

Докторант

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

Алматы, Казахстан

E- mail: gulnaz.iskakova@gmail.com

Нұрғали Нұрсұлтан Даниярұлы

Колледж AlmaU

г. Алматы, Казахстан

E- mail: NurgaliNursultan14@gmail.com

Аннотация

Ежегодно возрастающая численность населения планеты требует внедрения высоких технологий в сельское хозяйство для повышения количества урожая. Одним из перспективных направлений является применение беспилотных летательных аппаратов со специализированным полезными нагрузками и специализированными программными обеспечениями, которые могут применяться для решения различных задач, таких как создание электронных карт полей, инвентаризация сельхозугодий, обработка посевов пестицидами для борьбы с вредными вредителями, оперативный мониторинг состояния посевов, оценка всхожести сельскохозяйственных культур, охрана сельхозугодий и т.д. Динамический мониторинг NDVI (Normalized Difference Vegetation

Index) в агрономических испытаниях агрокультур является важным инструментом для повышения качества и эффективности сельскохозяйственного производства.

В данной работе рассматривается применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга NDVI в агрокультурах, таких как кукуруза, пшеница и ячмень. Методика мониторинга NDVI позволяет определять зоны с высокой и низкой плотностью растительности, что может быть использовано для оптимизации расхода удобрений и воды, а также для предотвращения роста сорняков. Полученные данные могут быть использованы для принятия важных решений в области сельского хозяйства и повышения урожайности.

Ключевые слова: NDVI; беспилотный летательный аппарат (БПЛА); пшеница; кукуруза; ячмень; почвенный покров.

Основное положение и введение

Мониторинг роста сельскохозяйственных культур в течение посевного сезона необходим для принятия решений как в точном земледелии, так и различных областях, связанных с сельским хозяйством [1, 2]. Низко высотное дистанционное зондирование позволяет получать более детальные данные, чем снимки, полученные с больших высот, так как он позволяет улавливать мелкие детали поверхности, такие как текстуры, микротопографию и мелкие объекты, что позволяет упростить человеческий труд в больших масштабах, особенно в сельскохозяйственных экспериментах с ограниченными ресурсами, где ручной отбор проб ограничен по времени. По результатам полученных съемок этим методом была продемонстрирована тесная связь между спектральными индексами растительности и характеристиками роста и развития сельскохозяйственных культур, которая все чаще оценивается благодаря разработке новых инструментов [3-5].

Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), представляющий собой разное отношение коэффициентов отражения в красной и ближней инфракрасной области спектра [6], широко используется как в исследовательских, так и в коммерческих агрономических целях. Первое использование NDVI было обусловлено желанием косвенно предсказать урожайность зерновых, используя полосы, доступные из космоса в спутниковых данных Landsat. Индекс растительности NDVI хорошо коррелирует с индексом площади листьев (LAI) и более чувствителен к изменениям в пологе урожая, когда LAI низкий (т.е. на ранней стадии), при этом сигнал насыщается, когда полог урожая закрывается [7]. Некоторые исследования показали, что урожайность, оцененная по NDVI, тесно связана с урожайностью зерна пшеницы. NDVI также использовался для оценки состояния роста сельскохозяйственных культур на основе различных

моделей отражения зеленых органов и почвы в пшенице и других злаках [8]. Тесная связь NDVI с физиологическими характеристиками сельскохозяйственных культур означает, что NDVI также может объяснять (или быть спутанным) множество других факторов, например, влажность, содержание азота и стадию развития растения. Существует два типа традиционной технологии NDVI. 1) отслеживание сезонной фенологии в самых разных средах из космоса с использованием спутниковых данных, и 2) оценка на уровне поля или участка для определения фактической урожайности с помощью портативных датчиков. Разрешение информации NDVI из спутниковых данных обычно составляет от 5 до 30 м пикселей и подходит для мониторинга на поле или региональном уровне, но ограничения точности и мониторинга в режиме реального времени делают его непригодным для полевой селекции и сельскохозяйственных испытаний. Портативные датчики или камеры на уровне земли более точны, но имеют ограниченное разрешение как во времени, так и в пространстве, а сбор данных может страдать от субъективных погрешностей измерений и инструментальных помех [4]. Специальное наземное оборудование позволяет собирать данные с более высоким пространственным и временным разрешением с использованием модифицированных датчиков NDVI и спектрального отражения.

Точность измерений NDVI зависит от биологических свойств растительного покрова и среды обитания (таких как растительный покров, биомасса, влажность растений и почвы) и факторов измерительного прибора (дрейф спутника, погрешность калибровки и атмосферные условия) [9]. Тенденции NDVI также могут меняться в зависимости от условий окружающей среды, например, температуры на наличие облаков, водной поверхности или снега. Угол обзора сенсоров, солнечный угол и фон

почвы также влияют на коэффициент отражения от растительного покрова, поэтому выбор оптимальных инструментов и условий измерения для мониторинга роста сельскохозяйственных культур имеет решающее значение. Автоматизированные возможности способствовали улучшению урожая благодаря сочетанию современных технологий, включая генную инженерию, робототехнику и визуализацию. Как, например, оценка биомассы ячменя была получена с использованием моделей поверхности посевов, созданных на основе аэрофотоснимков RGB с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а технологические достижения, такие как автономное планирование миссий, повысили интерес к их применению в точном земледелии. [10]. Беспилотные летательные аппараты с автономным управлением полетом могут использоваться для выполнения задач дистанционного зондирования в виде количественной или качественной информации об объектах без физического контакта. Для анализа вегетативного покрова на уровне участка на основе набора изображений БПЛА основной задачей является управление и извлечение данных уровня участка из этих массивных наборов данных изображений. Алгоритм автоматической сегментации масштаба участка был разработан для оценки наземного покрова на основе изображений БПЛА [11]. Данный метод также можно использовать на специализированном программном обеспечении «Pix4D mapper», извлекая данные из исходных изображений, используя ортомозаику и предполагаемые положения камеры для идентификации графиков на каждом изображении. Эти исходные данные не были размыты или смешаны при реконструкции. Другим важным шагом

Материалы и методы

В этом исследовании применялся высокопроизводительный метод для мониторинга динамических изменений NDVI с использованием платформы маловысотного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и мультиспектральной камеры в полевом эксперименте с агрокультурами (пшеница, ячмень, кукуруза) и методами управления. NDVI, оцененный с БПЛА, также был скорректирован по охвату земли, полученному с ручной камеры.

Полевые эксперименты

Опыты с сельскохозяйственными культурами были проведены с 2021 года на опытной

является фильтрация «бесполезных пикселей» для удаления почвы и других фоновых пикселей с изображений. Это позволяет вычислять NDVI только на основе растительного материала (т. е. устраняя влияние LAI), где требуется быстрая эффективная фильтрация. Использование БПЛА сопряжено с определенными финансовыми затратами, связанными с приобретением и обслуживанием оборудования, обучением персонала и обработкой данных. Однако, благодаря современным технологиям и автоматизированным возможностям, использование БПЛА может привести к улучшению урожайности и оптимизации процессов в точном земледелии. Например, автономное планирование миссий и разработка высокопроизводительных рабочих процессов позволяют повысить точность оценки NDVI и объединить данные с ручной камеры высокого разрешения, что в свою очередь способствует повышению точности и эффективности мониторинга роста сельскохозяйственных культур на уровне участка. Таким образом, использование БПЛА в сочетании с мультиспектральными камерами представляет собой целесообразный подход с точки зрения финансовых затрат, поскольку позволяет получать более точные данные о росте сельскохозяйственных культур и принимать более информированные решения в сельскохозяйственном производстве.

Целями этого исследования были: 1) разработать высокопроизводительный рабочий процесс вегетационного покрова для оценки NDVI на уровне участка с помощью беспилотного летательного аппарата и мультиспектральной камеры, 2) повысить точность NDVI БПЛА за счет объединения данных с ручной камеры высокого разрешения.

станции Казахского национального аграрного исследовательского университета (43°14'27" N, 77°10'37" E). Контрастные структуры растительного покрова были созданы тремя обработками почв (без обработки, навоз и минеральные удобрения), на трех культурах (кукуруза, пшеница, ячмень). Экспериментальное поле имело ширину 12 м и длину 31,5 м и было разделено на 3 экспериментальных блока, включающих в общей сложности 27 вариантов, каждый участок имел ширину 2 м (3 рядов) и длину 3,5 м. (рисунок 1).

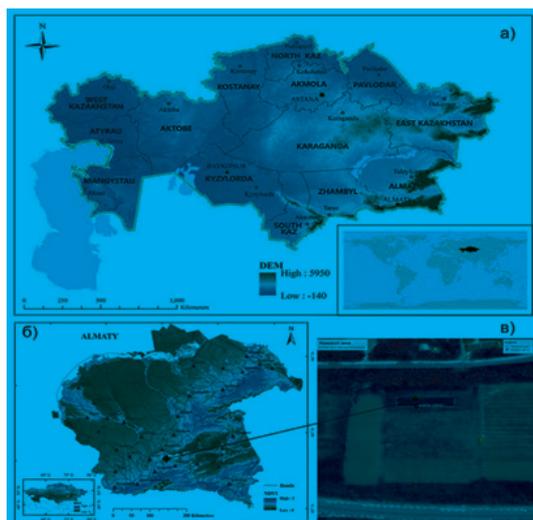


Рисунок 1 – Расположение исследовательского участка в Алматинской области: а) карта высот Казахстана; б) карта высот Алматинской области; в) исследовательский участок (снимок Google Earth)

Каждая обработка была разделена на два подблока для всех посевных обработок. В этом исследовании обсуждаются результаты по трем ключевым агрокультурам, поскольку они были выбраны показательным видом растения по покровным культурам. В каждом подблоке культуры были рандомизированы в три повторяющихся блока. Плотность растений составляла 150 растений м². Орошение прово-

дилось при всех обработках при посеве и через месяц после посева для всходов и развития на ранней стадии (всего 49 мм). Сезонное количество осадков составило 125 мм и 113,6 мм при обычном посеве соответственно. Средние дневные температуры в течение сезона (с апреля по октябрь) составляли максимум 29,8 °С и минимум 1,8 °С.

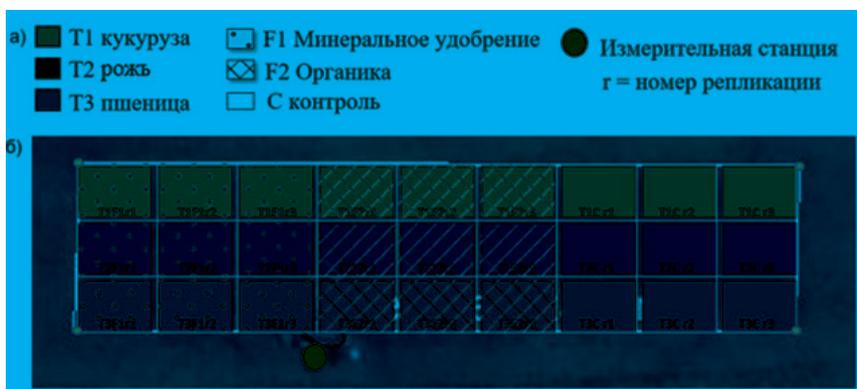


Рисунок 2 – Схема обработки полевого эксперимента в Алматинской области. Три блока представляют три обработки почв (без обработки, навоз и минеральные удобрения).

Среди агрокультур на схеме эксперимента были отмечены буквами определённого цвета: T1 (оранжевый) – кукуруза, T2 (зеленый) – рожь, T3 (желтый) – пшеница, также вид обработки почвы: F1 точки – внесение минерального удобрения, F2 линии – внесение органического удобрения, F3 пустой бланк – без внесение контроль. Красная точка – измерительная станция. г – номер репликации варианта

Съемка мультиспектральными камерами, установленными на БПЛА.

Общее время полета составило примерно 10 мин. Мультиспектральная камера (Micasense RedEdge, Сиэтл, США) была установлена в вертикальном формате. Камера делает 5 изображений с одинаковым разрешением

(1280 × 800) для 5 каналов (475 нм для синего с шириной полосы 20 нм (рассчитывается как половина максимальной ширины полосы), 560 нм для зеленого с шириной полосы 20 нм, 668 нм для красного с полосой пропускания 20 нм), 10 полоса пропускания нм, 840 нм для ближне-го инфракрасного диапазона (NIR) с полосой

пропускания 40 нм, 717 нм для красного края с полосой пропускания 10 нм, рисунок 3).

Расстояние наземной выборки (GSD) или размер пикселя от земли составляло приблизи-

тельно 1,8 см для полета на высоте 30 м и 3 см для полета на высоте 50 м. Наборы изображений были сделаны с интервалом в 1 секунду с записью GPS-геолокации.

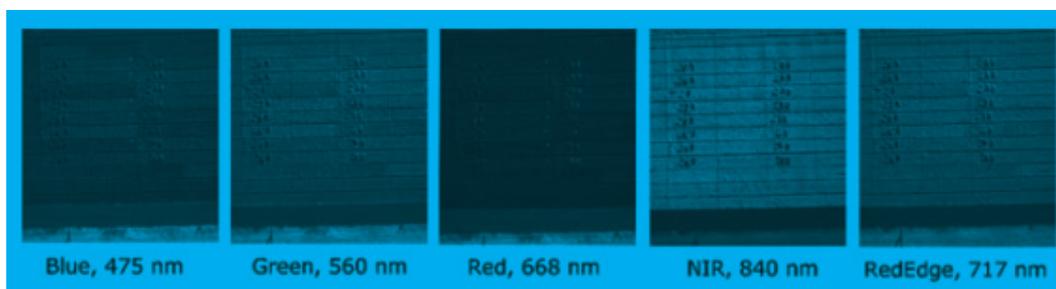


Рисунок 3 – Пример набора изображений был сделан камерой RegEdge, установленной на беспилотном летательном аппарате в вертикальном режиме. Примеры изображений были получены во время полета 31 августа 2021 года на высоте 50 м

Для повышения точности данных отражения дополнительные изображения калиброванной панели отражения на высоте 1 м были получены непосредственно перед и после каждого полета. Подробная информация о сборе данных с БПЛА приведена в таблице 1. Общее время полета составляет около 10 минут, ограничено зарядом батареи. GSD — это наземное расстояние выборки, усредненное для всех изображений в полете. Небольшое изменение GSD на одной и той же высоте полета вызвано колебаниями высоты дрона в воздухе.

Таблица 1 – Подробная информация о полетах беспилотного летательного аппарата с камерой RedEdge во время сезона выращивания пшеницы в 2021 году

Дата	Высота полета (м)	Фазы роста пшеницы	Номер изображения	GSD (см)
7 августа	50	прорастание	2800	3.0
4 сентября	50	кущение	2773	3.0
18 сентября	50	стеблевание	3385	3.0
25 сентября	30	колошение	2422	1,8
26 сентября	50	колошение	3000	3.1
2 октября	50	цветение	1950 г.	3.1
16 октября	30	созревание	2365	1,8

Реконструкция и сегментация мозаики

После получения наборов изображений с помощью БПЛА и камеры RedEdge, изображения были обработаны в веб-платформе Atlas (atlas.micasense.com) и 5-канальные ортомозаичные TIF-файлы были восстановлены для каждого из посевов.

Процессы включают коррекцию отражательной способности изображения на основе изображений калибровочной панели до и после полета. Ортомозаичные файлы были разбиты на отдельные участки в соответствии с методом Дуана и др. [11] Сценарий, написанный на языке R [12], был использован для очерчивания экспериментальной области с помощью четырех углов реконструированной

ортомозаики (рисунок 1 b) и разделения поля на отдельные участки в соответствии с планом эксперимента. Во избежание разрыва участков между делянками и побочных эффектов, края каждой разделенной делянки были обрезаны с помощью регулируемого входного параметра (10% в данном исследовании). Все области с деструктивным урожаем были исключены для дальнейшего расчета NDVI.

Измерение и оценка NDVI

NDVI рассчитывали, как нормализованное преобразованное отношение между коэффициентом отражения, измеренным в красном диапазоне длин волн, и в диапазоне длин волн NIR, используя следующую формулу [13]:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

В первоначальном исследовании красный и ближний инфракрасный диапазоны длин волн составляли 620-700 нм и 750-950 нм, соответственно. Восстановленный пятиполосный мозаичный TIF предоставил информацию в красном и ближнем инфракрасном диапазоне длин волн, с пиками на 668 и 840 нм и полушириной 10 и 40 нм соответственно [14]. NDVI можно рассчитать с помощью уравнения (1) для каждого пикселя мозаики. Для разделения результатов по отдельным участкам, средний необработанный NDVI (NDVI-H) рассчитывался как среднее и стандартное отклонение для каждого участка.

Для оценки почвенного покрова (GC) посевов каждую неделю делались фотографии (по две на делянку) в одном и том же месте на северной оконечности каждой целевой делянки с помощью ручной камеры (Canon EOS 4000 D, 2592 × 1728) при высоте около 0,6–0,7 м над пологом, которым покрыто более 80 % каждого участка. Процент напочвенного покрова на каждом участке рассчитывался с помощью эффективного алгоритма сегментации растительности, разработанного для циф-

Результаты

Было проведено семь полетов БПЛА на высоте 30–50 м в вегетационный период (таблица 1). Для обычного посева сроки отбора проб варьировались от 80 дней после посева (далее ДПП) (между 31 ДПП и цветением) до 151 ДПП (после созревания). Для позднего посева сроки отбора проб колебались от 48 ДПП (до 31 ДПП) до 119 ДПП (до созревания). Большинство рейсов совершались с интервалом в одну неделю в зависимости от погодных условий.

NDVI динамически отслеживали в семи временных точках в течение вегетационного периода с помощью платформы БПЛА (например, рисунок 5 А и С). Восстановленные изображения всего поля были сегментированы на отдельные участки для каждого полета. Визуальные результаты необработанного NDVI показали явное пространственное и временное изменение NDVI на каждом участке (например, NDVI при обработке с высоким содержанием азота и орошении при позднем посеве для трех сортов кукурузы, ячмень и пшеница на рисунок 4 А). Средний исходный NDVI (NDVI-H) трех культур колебался от $0,89 \pm 0,03$ до $0,94 \pm 0,02$

ровых изображений растений, полученных в их естественной среде [11]. Там, где время сбора данных NDVI и наземного наблюдения не совпадали (максимальная разница во времени сбора данных составляла менее одной недели), использовалась линейная сплайн-интерполяция для приведения наземного наблюдения в соответствие со временем сбора данных NDVI-H [15].

Из-за низкого разрешения снимков RedEdge (GSD 2-3 см в зависимости от высоты полета, таблица 1), не было возможности точной фильтрации ортомозаики на фон или растительности. В этом случае был разработан альтернативный метод для использования в качестве порога изображений покрытия земли с высоким разрешением. На каждом участке скорректированный NDVI (NDVI-C) был рассчитан после фильтрации пикселей, в которых NDVI был меньше определенного процентиля (т.е. 1 – доля напочвенного покрова). Затем также рассчитывали NDVI-C как среднее значение и стандартное отклонение для каждого участка.

от 48 до 78 ДПП соответственно, затем постепенно снижался до $0,69 \pm 0,10$ при 119 ДПП (рисунок 5 В). Изменение NDVI наблюдалось на том же участке, что, по-видимому, было связано с незначительной изменчивостью укоренения растений (рисунок 5 В). Выбросы на блочной диаграмме в основном исходили от сигналов фоновых пикселей (например, почвы и стареющих листьев). После корректировки NDVI по наземному покрытию (NDVI-C) вариации NDVI уменьшились на каждом участке с несколько большим NDVI, особенно на более поздних стадиях (от $0,9 \pm 0,02$ до $0,94 \pm 0,01$ при 48–78 ДПП соответственно, затем $0,76 \pm 0,06$). в 119 ДПП, рисунок 4 D). NDVI ячменя снижался быстрее, чем у кукурузы, несмотря на схожую дату цветения (рисунок 4), при этом снижение кукурузы с течением времени было более похоже на более позднее цветение сорта пшеница. Для наглядной демонстрации метода, результаты для одной повторности с высоким содержанием азота и обработкой орошением при позднем посеве можно увидеть на рисунке 4.

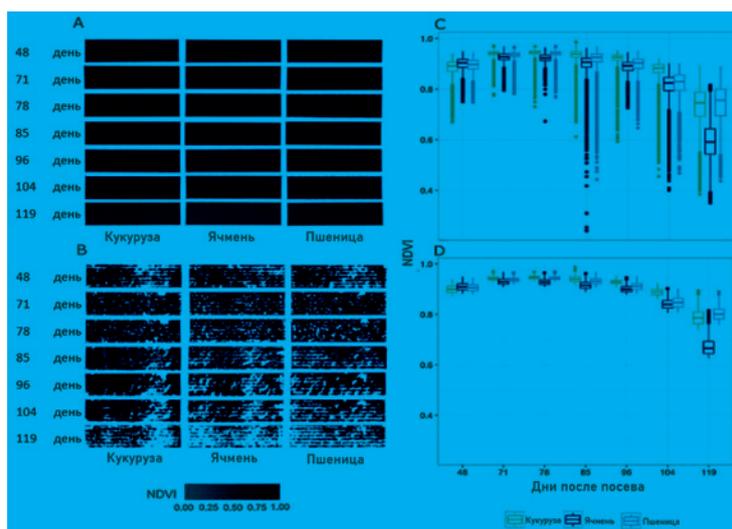


Рисунок 4 – Динамические изменения NDVI в течение вегетационного периода для 3 сортов (кукуруза, ячмень и пшеница). Подрисунки слева показывают NDVI в каждом пикселе (А и В). На диаграммах справа показано изменение NDVI (С и D). NDVI оцениваются с использованием двух методов, т. е. значений необработанных изображений (А и С), значений пикселей после удаления фона (В и D)

NDVI на каждом участке оценивался во времени с использованием мозаичных изображений (рисунок 5). Для NDVI-H все значения пикселей усреднялись для представления NDVI на каждом графике, затем для каждой обработки оценивались среднее значение и стандартное отклонение. NDVI-H следовал аналогичной тенденции и достигал максимальных значений в период цветения ($0,91 \pm 0,03$ и $0,92 \pm 0,02$, рисунок 5), затем постепенно снижался к стадии созревания ($0,23 \pm 0,02$ и $0,47 \pm$

$0,16$). Максимальный NDVI-H при обработке с органическим удобрением был немного выше, чем при обработке с минеральными удобрениями во время цветения ($NDVI-H:0,91 \pm 0,15$ и $0,88 \pm 0,10$ для органического и минерального удобрения соответственно, рисунок 5). Была большая разница в зрелости, которая не была статистически значимой при усреднении по обработкам ($0,46 \pm 0,15$ и $0,36 \pm 0,10$ для органического и минерального удобрения, соответственно, рисунок 5).

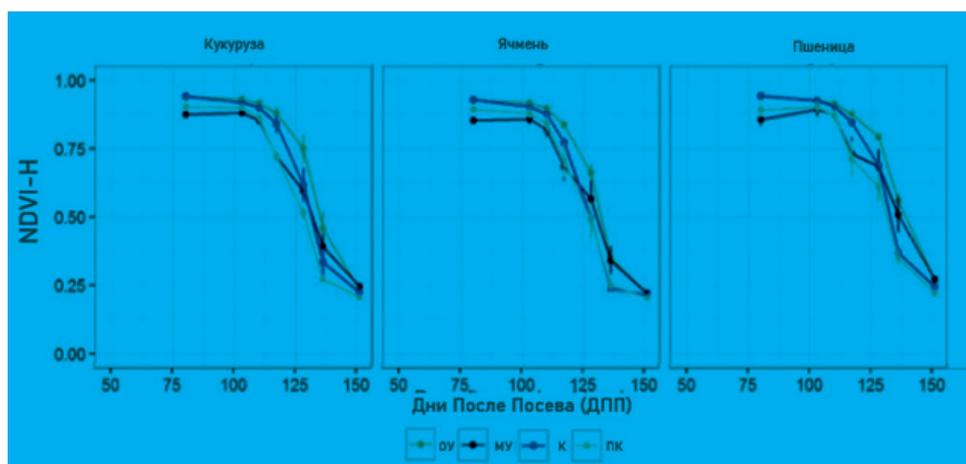


Рисунок 5 – Динамические изменения NDVI, которые оцениваются по необработанной ортомозаике (NDVI-H), построенной по аэрофотоснимкам, сделанным за семь дат. Полевые эксперименты включали три культуры (кукуруза, ячмень и пшеница), с внесением органического удобрения (ОУ), минерального удобрения (МУ), контроля (К) и с контрольный полив (ПК). Столбики погрешностей указывают стандартное отклонение от 3 повторов

Динамический рост почвенного покрова на уровне участка был извлечен из изображений, сделанных ручной RGB-камерой (рисунок 6). Для оценки почвенного покрова при позднем посеве было 10 полезных моментов времени (для 44–119 ДПП). Обратите внимание, что было более низкое значение GC около 58 ДПП из-за временного повреждения пестицидами полога от опрыскивания сразу после наблюдений

на 51 ДПП. В период более высокого GC (более 0,7 в течение примерно 50–100 ДПП, рисунок 6) разница между NDVI-H и NDVI-C была небольшой для ОУ, МУ, К и ПК соответственно (NDVI-C: 0,93). Однако по мере снижения GC (менее 0,7 на 100 ДПП, рисунок 5) наблюдалась разница между NDVI-C ($0,81 \pm 0,06$, $0,66 \pm 0,09$, $0,62 \pm 0,16$ и $0,58 \pm 0,14$, рисунок 5) для ОУ, МУ, К и ПК соответственно.

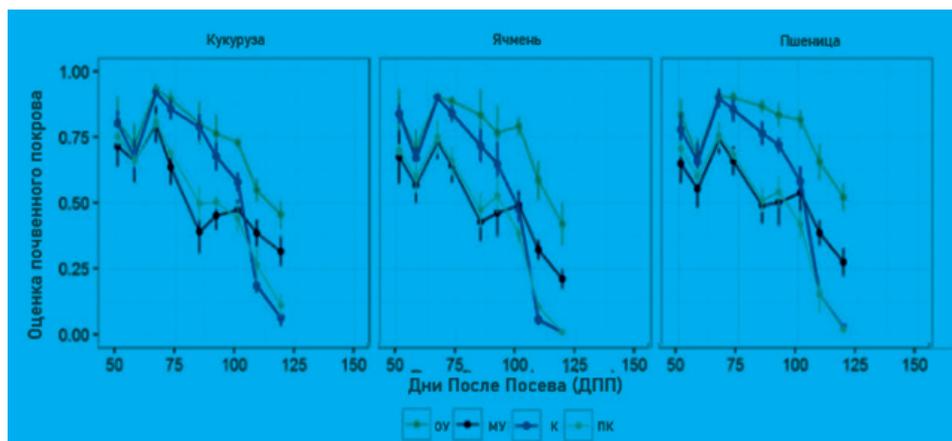


Рисунок 6 – Оценка динамических изменений NDVI по необработанным изображениям, с коррективкой с учетом покрытия почвы (NDVI-C)

NDVI-C корректируется в соответствии с покрытием земли, оцененным по изображениям с ручной камеры для каждого целевого участка. Полевые эксперименты проводились для трех культур (кукуруза, ячмень и пшеница), с внесением органического удобрения (ОУ), минерального удобрения (МУ), контроля (К) и с контрольный полив (ПК). Столбики погрешностей указывают стандартное отклонение от 3 повторов. В этих разнообразных вариантах и культур NDVI имел сильную корреляцию с урожайностью пшеницы для всех методов оценки NDVI.

Обсуждение

NDVI является индикатором комбинированного воздействия концентрации хлорофилла, площади полога листьев и урожайности [17]. Оценки NDVI могут быть использованы в качестве эталона для динамического мониторинга изменений биомассы в течение вегетационного периода пшеницы. Здесь мы разработали эффективный рабочий процесс для динамического мониторинга изменений NDVI в течение вегетационного периода пшеницы, кукурузы и ячменя (рисунок 4).

На оценки NDVI влияют многие факторы, включая время измерения, датчики и условия окружающей среды [19-20], и не существует абсолютно точного метода измерения для оценки NDVI. Повышение точности облегчит использование приложений для управления участком [17]. Для методов, основанных на

изображениях, большинство опубликованных NDVI включает почву и листву из-за низкого разрешения гиперспектральных камер. Теоретически удаление почвенного фона из изображений может дать более точные результаты для некоторых индексов. В данном исследовании, в связи с относительно низким разрешением камеры RedEdge, почвенный покров оценивался по отдельным наборам изображений, полученных с поверхности земли с помощью ручной визуальной камеры, на основе эффективного алгоритма сегментации растительности. На практике также можно использовать камеру высокого разрешения на БПЛА, а не делать фотографии на земле. Но в этом эксперименте БПЛА может нести только одну камеру за раз, и для этой работы он был выделен RedEdge.

Заключение

NDVI динамически отслеживался с использованием платформы БПЛА и мультиспектральной камеры в течение вегетационного периода для контрастной агрокультуры пшеницы, кукурузы и ячменя. Рабочий процесс в этом исследовании подходит для захвата изображений агрономического испытания и извлечения лучшей вариант в масштабе участка. NDVI в период цветения имел более высокую корреляцию с конечной урожайностью после корректировки с покрытием почвы, что указывает на то, как объединение данных из не-

скольких источников может дать более полное представление о механизмах адаптации сельскохозяйственных культур. Также в контексте данного исследования, получив результаты будущих испытаний, возможно провести дополнительное исследование, направленное на изучение влияния погодных условий на полученные результаты. Это позволит более полно понять, как погода может влиять на NDVI и конечную урожайность сельскохозяйственных культур.

Информация о финансировании

Данное исследование профинансировано Министерством образования и науки Республики Казахстан по проекту 2021-2023 гг., ИРН: AP09057853 «Оценка эффективности различных систем землепользования для смягчения изменения климата посредством снижения выброса парниковых газов и увеличение альбедо».

Список литературы

- 1 Железова С.В., Ананьев А.А., Вьюнов М.В., Березовский Е.В. Мониторинг посевов озимой пшеницы с применением беспилотной аэрофотосъемки и оптического датчика greenseeker® rt200 [Текст]/ С.В. Железова и др. // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2016. - № 6. - С. 56-61.
- 2 Сметнев А.С., Зимин В.К., Юдин Ю.Б., Скобеев И.Н. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственном производстве [Текст]/ А.С. Сметнев и др.// Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. -2015. -№ 18 (23). - С. 51–56.
- 3 Браун М.Е., Берс де К. М. Оценка мультисенсорных параметров полусушевого сельскохозяйственного сезона на основе NDVI и количестве осадков [Текст] / М.Е. Браун и др. // Дистанционное зондирование окружающей среды. – 2008. -№ 112. – С. 2261-2271.
- 4 Сторчак И. Г., Чернова И. В., Ерошенко Ф. В., Волошенкова Т. В., Шестакова Е. О. Использование NDVI для определения содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях Ставропольского края [Текст]/ И. Г. Сторчак и др. // Аграрный вестник Урала. -2019. -№12(191). -С.19–31. doi: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-19-30.
- 5 Kyratzis A., Skarlatos D., Fotopoulos V., Vamvakousis V., Katsiotis A. Investigating Correlation among NDVI Index Derived by Unmanned Aerial Vehicle Photography and Grain Yield under Late Drought Stress Conditions [Текст]/ А. Kyratzis // Procedia Environmental Sciences. -2015. - № 29. – P. 225-226.
- 6 Tucker C.J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation [Текст]/ C.J. Tucker // Remote Sensing of Environment. – 1979. -№ 8. – С. 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- 7 Гребень А.С., Красовская И.Г. Анализ основных методик прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины [Текст]/ А.С. Гребень и др. // Радіоелектронні і комп'ютерні системию. – 2012. - № 2(54). – С. 170-180.
- 8 Есимбекова М.А., Мукин К.Б., Абдрахманов К. Генетические ресурсы мягкой пшеницы – аспекты адаптивности и устойчивости к болезням – международное сортоиспытание [Текст]/ М.А. Есимбекова // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства. Изд-во: ТОО «Асыл Кітап», 2019 - С.29-34.

9 Gutman G.G. On the use of long-term global data of land reflectances and vegetation indices derived from the advanced very high-resolution radiometer [Текст] /G.G. Gutman // J. Geophys. Res. Atmos., -1999. -№104. -P.6241-6255. 10.1029/1998JD200106

10 Bendig J., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Eichfuss S., Bareth G. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) Derived from UAV-based RGB imaging [Текст]/ J. Bendig, A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, S. Eichfuss, G. Bareth // Remote Sens., -2014. -№6. -P.10395-10412. 10.3390/rs61110395

11 Duan T., Zheng B., Guo W., Ninomiya S., Guo Y., Chapman S.C. Comparison of ground cover estimates from experiment plots in cotton, sorghum and sugarcane based on images and ortho-mosaics captured by UAV [Текст] / T. Duan, B. Zheng, W. Guo, S. Ninomiya, Y. Guo, S.C. Chapman. // Funct. Plant Biol. -2017. -№ 44. -P. 169-184. 10.1071/FP16123

12 R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Текст]/ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. – 2012

13 Рауз-младший, Дж., Хаас, Р., Шелл, Дж., Диринг, Д. Мониторинг систем растительности на Великих равнинах [Текст]/ Дж. Рауз-младший, Р. Хаас, Дж. Шелл, Д. Диринг // Специальная публикация НАСА. - № 351. – С.309.

14 RedEdge-M User Manual [Текст]/ https://support.micasense.com/hc/en-us/article_attachments/115004168274/RedEdge-M_User_Manual.pdf. // MicaSense, Inc. 2017. –P. 47.

15 Свечко М.В. Метод сплайн-аппроксимации и интерполяции графических характеристик сложных энергетических объектов в расчетных моделях с помощью ERTS [Текст]/ М.В. Свечко // Фундаментальные науки. Информатика. – 2007.- №3. – С. 85-89.

16 Haun J.R. Visual quantification of wheat development1 [Текст]/ J.R. Haun // Agron. J., -1973. -№ 65. -P.116-119.

17 Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals [Текст] / J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak // Weed Res., -1974.- № 14. - P. 415-421.

18 Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Связь вегетационного индекса NDVI с содержанием хлорофилла в растениях озимой пшеницы [Текст] / Ф.В. Ерошенко, И.Г. Сторчак, Е.О. Шестакова // Аграрный вестник Урала. – 2018. - № 4(171). – С.10-17.

19 Crusiol L.G.T., Carvalho J. de F.C., Sibaldelli R.N.R., Neiverth W., Ferreira A. do Rio, L.C., Procópio S. de O., Mertz-Henning L.M., Nepomuceno A.L., Neumaier N., Farias J.R.B. NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars [Текст] / L.G.T. Crusiol, J. de F.C. Carvalho, R.N.R. Sibaldelli, W. Neiverth, A. do Rio, L.C. Ferreira, S. de O. Procópio, L.M. Mertz-Henning, A.L. Nepomuceno, N. Neumaier, J.R.B. Farias // Precis. Agric. – 2016. - P.1-21. 10.1007/s11119-016-9465-6

20 Амантаев Б.О., Кипшакбаева Г.А., Кульжабаев Е.М., Лушак П.В. Жаздық жұмсақ бидай сорттарының себу мерзімі мен мөлшеріне және коректендіру жағдайына байланысты биомасса қалыптастыру ерекшеліктері [Текст] / Б.О.Амантаев, Г.А. Кипшакбаева, Е.М. Кульжабаев, П.В. Лушак // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. - 2023. - №1 (116). - С. 242-255.

References

1 ZHelezova S.V., Anan'ev A.A., V'yunov M.V., Berezovskij E.V. Monitoring posevov ozimoy pshenicy s primeneniem bespilotnoj aerofotos"yomki i opticheskogo datchika greenseeker® rt200 [Текст]/ S.V. ZHelezova i dr.// Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. -2016. - № 6. - S. 56-61.

2 Smetnev A.S., Zimin V.K., YUdin YU.B., Skobeev I.N. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Текст] / A.S. Smetnev i dr.// Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta. - 2015. - № 18 (23). - S. 51–56.

3 Braun M.E., Bers de K. M. Ocenka mul'tisensornyh parametrov poluzasushlivogo sel'skohozyajstvennogo sezona na osnove NDVI i kolichestve osadkov [Текст]/ M.E. Braun i dr. // Distancionnoe zondirovanie okruzhayushchej sredy. – 2008. -№ 112. – S. 2261-2271.

4 Storchak I. G., Chernova I. V., Eroshenko F. V., Voloshenkova T. V., Shestakova E. O. Ispol'zovanie NDVI dlya opredeleniya sodержaniya azota v rasteniyah ozimoy pshenicy v usloviyah Stavropol'skogo kraya [Tekst] / I. G. Storchak i dr. // Agrarnyj vestnik Urala. -2019. -№ 12(191). -S.19–31. doi: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-19-30.

5 Kyrtzis A., Skarlatos D., Fotopoulos V., Vamvakousis V., Katsiotis A. Investigating Correlation among NDVI Index Derived by Unmanned Aerial Vehicle Photography and Grain Yield under Late Drought Stress Conditions [Tekst]/ A. Kyrtzis // Procedia Environmental Sciences. -2015. -№ 29. – P. 225-226.

6 Tucker C.J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation [Tekst] / C.J. Tucker // Remote Sensing of Environment. – 1979. -№ 8. – S.127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

7 Greben' A.C., Krasovskaya I.G. Analiz osnovnyh metodik prognozirovaniya urozhajnosti s pomoshch'yu dannyh kosmicheskogo monitoringa, primenitel'no k zernovym kul'turam stepnoj zony Ukrainy [Tekst]/ A.C. Greben' i dr. // Radioelektronni i komp'yuterni sistemiyu, – 2012. -№ 2 (54). – S. 170-180.

8 Esimbekova M.A., Mukin K.B., Abdrahmanov K. Geneticheskie resursy myagkoj pshenicy – aspekty adaptivnosti i ustojchivosti k boleznyam – mezhdunarodnoe sortoispytanie [Tekst]/ M.A. Esimbekova // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu Kazahskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zemledeliya i rasteniyevodstva. Izd-vo: TOO «Asyl Kitap», 2019. - C.29-34.

9 Gutman G.G. On the use of long-term global data of land reflectances and vegetation indices derived from the advanced very high resolution radiometer [Tekst] /G.G. Gutman // J. Geophys. Res. Atmos., -1999. -№104. -P.6241-6255. 10.1029/1998JD200106

10 Bendig J., Bolten A., Bennertz S., Broscheit J., Eichfuss S., Bareth G. Estimating biomass of barley using crop surface models (CSMs) Derived from UAV-based RGB imaging [Tekst] / J. Bendig, A. Bolten, S. Bennertz, J. Broscheit, S. Eichfuss, G. Bareth // Remote Sens., -2014. -№6. -P.10395-10412. 10.3390/rs61110395

11 Duan T., Zheng B., Guo W., Ninomiya S., Guo Y., Chapman S.C. Comparison of ground cover estimates from experiment plots in cotton, sorghum and sugarcane based on images and ortho-mosaics captured by UAV [Tekst] / T. Duan, B. Zheng, W. Guo, S. Ninomiya, Y. Guo, S.C. Chapman. // Funct. Plant Biol. -2017. -№ 44. -P. 169-184. 10.1071/FP16123

12 R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Tekst]/ R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012.

13 Rauz-mladshij, Dzh., Haas, R., Sheil, Dzh., Diring, D. Monitoring sistem rastitel'nosti na Velikih ravninah [Tekst]/ Dzh. Rauz-mladshij, R. Haas, Dzh. Sheil, D. Diring // Special'naya publikaciya NASA. - № 351. – P.309.

14 RedEdge-M User Manual [Tekst] / https://support.micasense.com/hc/en-us/article_attachments/115004168274/RedEdge-M_User_Manual.pdf. // MicaSense, Inc. 2017. –P. 47.

15 Svechko M.V. Metod splajn-approximacii i interpoljacii graficheskikh karakteristik slozhnyh energeticheskikh ob'ektov v raschetnyh modelyah s pomoshch'yu ERTS [Tekst] / M.V. Svechko // Fundamental'nye nauki. Informatika. – 2007. -№3. – S. 85-89.

16 Haun J.R. Visual quantification of wheat development I [Tekst] / J.R. Haun // Agron. J., 1973.- № 65. -P. 116-119.

17 Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals / [Tekst] / J.C. Zadoks, T.T. Chang, C.F. Konzak // Weed Res., -1974. - № 14. –P. 415-421.

18 Eroshenko F.V., Storchak I.G., Shestakova E.O. Svyaz' vegetacionnogo indeksa NDVI s sodержaniem hlorofilla v rasteniyah ozimoy pshenicy [Tekst] / F.V. Eroshenko, I.G. Storchak, E.O. Shestakova // Agrarnyj vestnik Urala. – 2018. - № 4 (171). – S.10-17.

19 Crusiol L.G.T., Carvalho J. de F.C., Sibaldelli R.N.R., Neiverth W., Ferreira A. do Rio, L.C., Procópio S. de O., Mertz-Henning L.M., Nepomuceno A.L., Neumaier N., Farias J.R.B. NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars [Tekst] / L.G.T. Crusiol, J. de F.C. Carvalho, R.N.R. Sibaldelli, W. Neiverth, A. do

Rio, L.C. Ferreira, S. de O. Procópio, L.M. Mertz-Henning, A.L. Nepomuceno, N. Neumaier, J.R.B. Farias // *Precis. Agric.* – 2016. – P. 1-21. 10.1007/s11119-016-9465-6

20 Amantaev B.O., Kipshakbaeva G.A., Kul'zhabaev E.M., Lushchak P.V. ZHazydyқ zhұmsaq bidaj sorttarynuң sebu merzimi men mөлsherine zhәне қоректенdiru zhardajyna bajlanysty biomassa қалыptastyru erekshelikteri [Tekst]/ B.O.Amantaev, G.A. Kipshakbaeva, E.M. Kul'zhabaev, P.V. Lushchak // *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina.* - 2023. -№1 (116). - S.242-255.

АГРОНОМИЯЛЫҚ СЫНАУДАҒЫ АГРО ДАҚЫЛДАРДЫ ҰШҚЫШСЫЗ ӘУЕ КӨЛПІН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ NDVI ДИНАМИКАСЫН БАҚЫЛАУ

Кусаинова Майра Джумагуловна

*Ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: maira.kussainova@kaznaru.edu.kz*

Таменов Тимур Борисович

*Техника және технология магистрі
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: timur.tamenov@kaznaru.edu.kz*

Тойшиманов Максат Рисбекович

*Техника ғылымдарының магистрі, докторант
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: 507957@kaznaru.edu.kz*

Сыздық Әнел Батырқызы

*Ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: Anel.Syzdyk@kaznaru.edu.kz*

Гульназ Искакова

*Докторант
Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: gulnaz.iskakova@gmail.com*

Нұрғали Нұрсұлтан Даниярұлы

*Студент
Колледж AlmaU
Алматы қ., Қазақстан
E- mail: NurgaliNursultan14@gmail.com*

Түйін

Жер шарындағы халық санының жыл сайын артып келе жатқаны егін шаруашылығына өнімді арттыру үшін жоғары технологияларды енгізуді талап етеді. Перспективалы бағыттардың бірі – электронды егістік карталарын жасау, ауыл шаруашылық жерлерін түгендеу, зиянды зиянкестермен күресу үшін ауыл шаруашылық дақылдарын пестицидтермен өңдеу, нақты уақыт

режимінде мониторинг жүргізу сияқты әртүрлі мәселелерді шешуге қолданылатын арнайы пайдалы жүктері бар ұшқышсыз ұшу аппараттарын және арнайы бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалану. дақылдардың жай-күйін, ауыл шаруашылығы дақылдарының өнуін бағалау, ауыл шаруашылығы жерлерін қорғау және т.б. Ауыл шаруашылық дақылдарының агротехникалық сынақтарында NDVI (Нормалдандырылған айырмашылық индексі) динамикалық мониторингі ауыл шаруашылығы өндірісінің сапасы мен тиімділігін арттырудың маңызды құралы болып табылады.

Бұл мақалада жүгері, бидай және арпа сияқты дақылдарда NDVI мониторингі үшін дрондарды пайдалану талқыланады. NDVI мониторинг әдісі тыңайтқыш пен суды пайдалануды оңтайландыру және арамшөптердің өсуін болдырмау үшін пайдаланылуы мүмкін жоғары және төмен өсімдіктер тығыздығы аймақтарын анықтайды. Алынған мәліметтерді ауыл шаруашылығы саласында маңызды шешімдер қабылдауға және өнімді арттыруға пайдалануға болады.

Кілт сөздер: NDVI; ұшқышсыз ұшатын аппарат (ҰҰА); бидай, жүгері; арпа; топырақ жамылғысы.

DYNAMIC MONITORING OF NDVI IN AGRONOMIC TESTING OF AGRO CROPS USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Maira Kussainova

PhD

Kazakh National Agrarian Research University

Almaty, Kazakhstan

E- mail: maira.kussainova@kaznaru.edu.kz

Timur Tamenov

Master of Engineering and Technology

Kazakh National Agrarian Research University

Almaty, Kazakhstan

E- mail: timur.tamenov@kaznaru.edu.kz

Maxat Toishimanov

Master of Engineering, Doctoral Student

Kazakh National Agrarian Research University

Almaty, Kazakhstan

E- mail: 507957@kaznaru.edu.kz

Anel Syzdyk

Master of Agricultural Sciences

Kazakh National Agrarian Research University

Almaty, Kazakhstan

E- mail: Anel.Syzdyk@kaznaru.edu.kz

Gulnaz Iskakova

Master of Information Systems, Doctoral Student

Kazakh National Agrarian Research University

Almaty, Kazakhstan

E- mail: gulnaz.iskakova@gmail.com

Nursultan Nurgali

AlmaU College

Almaty, Kazakhstan

E- mail: NurgaliNursultan14@gmail.com

Abstract

The annually growing population of the planet requires the introduction of high technologies in agriculture to increase the yield. One of the promising areas is the use of unmanned aerial vehicles with specialized payloads and specialized software that can be used to solve various problems, such as creating electronic field maps, inventorying farmland, treating crops with pesticides to combat harmful pests, real-time monitoring of the condition of crops, assessment of the germination of agricultural crops, protection of farmland, etc. Dynamic monitoring of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) in agronomic tests of crops is an important tool for improving the quality and efficiency of agricultural production.

This paper discusses the use of drones for NDVI monitoring in crops such as corn, wheat and barley. The NDVI monitoring technique identifies areas of high and low vegetation density, which can be used to optimize fertilizer and water use and to prevent weed growth. The data obtained can be used to make important decisions in the field of agriculture and increase yields.

Key words: NDVI; unmanned aerial vehicle (UAV); wheat; corn; barley; soil cover.