



ЧЫМЫРОВ А.У., БЕКТУРОВ А.К., ИСМАИЛОВ Н.Ы., УРМАМБЕТОВА Т.К.

¹Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

CHYMYROV A.U., BEKTUROV A.K., ISMAILOV N.Y., URMAMBETOVA T.K.

¹Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture n.a. N.Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

akylbek2005@yahoo.com, adilet.bekturov@gmail.com, nur_ismailove@mail.ru,
tatygul_urmambetova@yahoo.com

МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ И АЭРОФОТОСНИМКОВ

AGRICULTURAL CROP MONITORING BY USING SATELLITE IMAGERY AND AERIAL PHOTOGRAPHY

Бул макалада Кыргызстандын айыл чарба өсүмдүктөрүн аныктоо жана мониторинг жүргүзүү боюнча заманбап ыкманы адаптациялоо жана өркүндөтүү жөнүндө сөз болот. Иштин максаты - өлкөнүн айыл чарбасын натыйжалуу башкаруу үчүн өсүмдүктөрдүн индекстеринин негизинде айыл чарба жерлерин көзөмөлдөөнүн заманбап ыкмаларын пайдалануу менен географиялык маалымат тутумдарын жана Жерди аралыктан байкаштыруу маалыматтарын колдонуу. Мындай иштин натыйжалары жер үстүндөгү тажрыйба иштерин аткарууну бир кыйла жеңилдетүүгө жана айыл чарба жерлерин жана башка жер тилкелерин картага түшүрүүнү тез арада жүргүзүүгө мүмкүндүк берет.

Өзөк сөздөр: Жерди аралыктан байкаштыруу, учкучсуз учуучу аппараттар, географиялык маалымат тутумдары, мониторинг, айыл чарба өсүмдүктөрү, өсүмдүктөрдүн индекстери, азык-түлүк коопсуздугу.

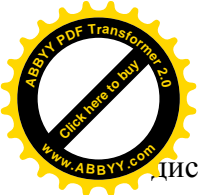
В статье рассматривается адаптация и улучшение современного подхода определения и мониторинга сельскохозяйственных культур в Кыргызстане. Целью данной работы является применения геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли с использованием современных методов мониторинга сельскохозяйственных угодий на базе вегетационных индексов для эффективного управления сельским хозяйством страны. Результаты таких работ дает возможность значительно сократить выполнение наземных экспериментальных работ и оперативно проводить картографирование сельскохозяйственных угодий и других земельных участков.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), беспилотные летательные аппараты (БПЛА), геоинформационные системы, мониторинг, сельскохозяйственные культуры, вегетационные индексы, продовольственная безопасность.

The relevance of this article is adaptation and improvement of the modern approach to identifying and monitoring agricultural crops in Kyrgyzstan. The purpose of this work is to apply geographic information systems and remotely sensed data by using modern methods of monitoring agricultural land based on vegetation indices for the effective management of the country's agriculture. The results of such work makes possible to significantly reduce the implementation of ground-based experimental work and quickly carry out mapping of agricultural land and other land areas.

Key words: remote sensing of the Earth (ERS), unmanned aerial vehicles (UAVs), geographic information systems, monitoring, agricultural crops, vegetation indexes, food security.

Введение. Информация о прогнозе урожая и производства сельскохозяйственных культур на больших территориях имеет важное значение для государственных служб, занимающихся импортом и экспортом продовольственных культур, для агентств, занимающихся продовольственной безопасностью и для отечественных и международных организаций по мониторингу производства продуктов питания и торговли. В 2007 году



дисбаланс в мировом производстве сельскохозяйственных культур из-за неурожая во многих странах мира вызвал значительный рост цен на сельскохозяйственные продукты. Эти события вызвали широкую озабоченность по поводу глобального сельскохозяйственного производства. Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) предупреждает о возможном снижении импорта продовольствия в Китае, что может сильно повлиять на цены на многие сельскохозяйственные товары. Более того, повышенный спрос на молочные продукты, мясо и продукты биотоплива, которые требуют зерновых и масличных культур, будут все больше конкурировать со спросом на продовольственные культуры. Как и в мире в целом, годовая распространенность отсутствия продовольственной безопасности (умеренного или острого) в регионе Европы и Центральной Азии (ЕЦА) с 2014 по 2019 год оставалась неизменной на уровне примерно 10,6 процента (в среднем за 2014-2019 годы). Однако распространенность отсутствия продовольственной безопасности (умеренного или острого) быстро увеличивается в трех субрегионах: Центральной Азии, Европейском Союзе Независимых Государств и на Кавказе [1]. На этом фоне необходимость государственной системы мониторинга для сельскохозяйственного производства является бесспорной и включена в приоритетные темы для министерства сельского хозяйства Кыргызской Республики [2, 3].

Современные методы и системы определения урожайности часто акцентируются в странах с развитой экономикой к примеру, они сосредоточены в Европе, западной части России, странах Магриба и Турции, а также отдельных регионах в Африке для обеспечения продовольственной безопасности. В последнее время определение урожайности с использованием БПЛА (беспилотный летательный аппарат) и данных дистанционного зондирования Земли расширяется во всей Российской Федерации, Центральной Азии, Китае и в некоторых других странах. Это расширение по отношению к Центральной Азии имеет свои последствия, поскольку этот регион характеризуется более континентальным климатом с суровыми условиями зимы и жарким и сухим летним периодом [4, 5].

Внедрение современных геоинформационных технологий и данных ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли) позволяют повысить эффективности уровень сельского хозяйства стран. [6]. В большинстве моделей, используемых для оперативного моделирования роста сельскохозяйственных культур, влияние осенних и зимних условий на вегетацию (к примеру озимой пшеницы) плохо учитывается или не учитывается вообще. Данные современных беспилотных летательных аппаратов и данных дистанционного зондирования (с высоким пространственным разрешением) [7] на базе определения вегетационных индексов дают возможность получить информацию о ключевых параметрах роста сельскохозяйственных культур. В этом случае данные дистанционного зондирования могут быть использованы для объективной оценки и мониторинга состояния сельскохозяйственных культур [8].

В Кыргызстане основную долю в структуре сельского хозяйства составляет растениеводство. Удельный вес растениеводства составляет более 50% и приоритетной стратегической задачей является эффективное использование посевных площадей и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Одним из наиболее передовых, эффективных и надежных источников информации о свойствах сельскохозяйственных земель и о состоянии посевов являются данные ДЗЗ. Спутниковые и аэрофотосъемки обеспечивают проведение инвентаризации сельскохозяйственных земель, выполнение оперативного контроля состояния посевов на различных стадиях, позволяют выявлять процессы деградации земельных ресурсов, определять потенциальные угрозы для посевов и решать многие другие задачи агропромышленного комплекса [9, 10]. Качественная оценка состояния сельскохозяйственных культур на различных стадиях вегетации, в том числе выявление полей, имеющих отклонения от норм развития, их оценка и систематизация - выполняется по серии разновременных снимков в течение вегетационного сезона [11].

Целью настоящей работы является внедрение геоинформационных систем и технологии дистанционного зондирования Земли для эффективного управления сельским хозяйством страны с использованием современных методов мониторинга сельскохозяйственных угодий на базе вегетационных индексов. При реализации проекта в 2019 году был изучен район исследований, собраны и оцифрованы картографические материалы и спутниковые снимки с их последующей классификацией.

Район исследований. Для исследования в рамках проекта выбран участок площадью 21,2 км² - территория Кара-Жыгачского Айыльного аймака (орган местного самоуправления) Аламединского района, Чуйской области Кыргызской Республики (рис. 1.)

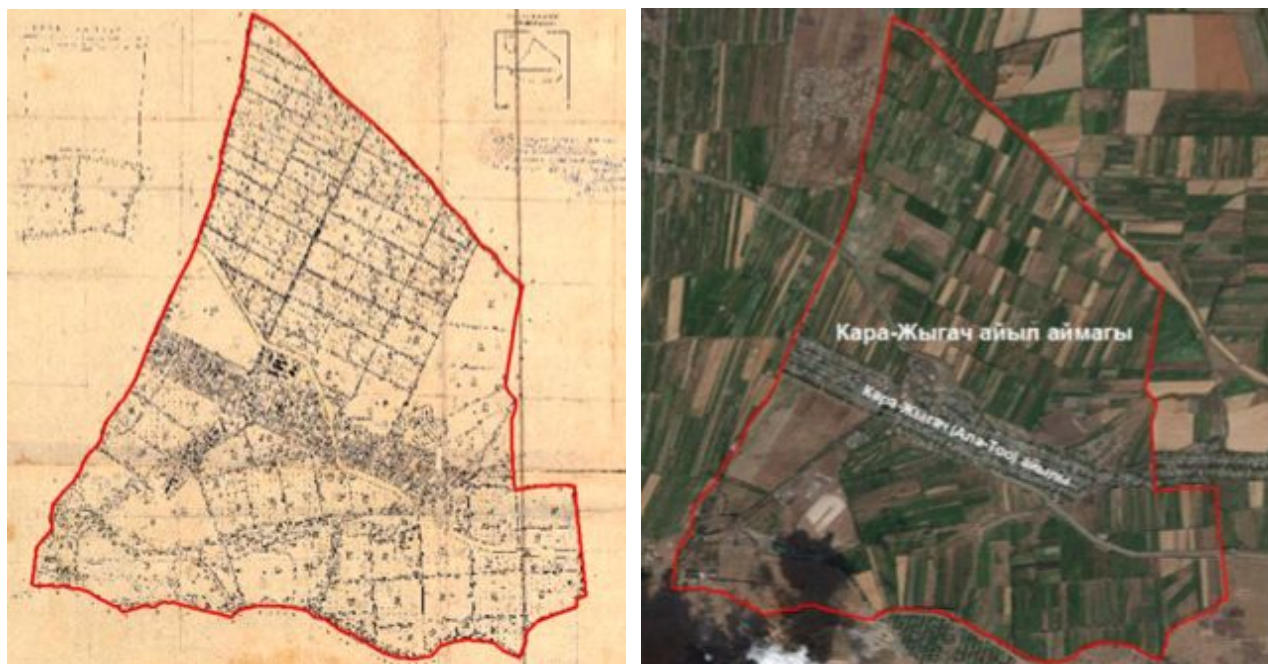


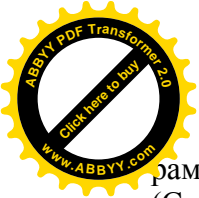
Рис. 1. План землепользования (1990 г.) и спутниковый снимок (2020 г.) района

Выбранный участок для исследований расположен на юго-восточной части г.Бишкек в примерно 20 км от центра города на северной и южной сторонах с. Кара-Жыгач (бывшее с. Ала-Тоо). Рельеф участка равнинный с небольшим уклоном на северо-восток, центр участка находится на высоте 890 м над уровнем моря в Чуйской долине у подножья Кыргызского Ала-Тоо. На территории имеется ряд сельскохозяйственных культур (пшеница, овес, клубника, картофель, сады, и др.), дороги, каналы и населенный пункт. Основную часть района исследований занимают пахотные и орошаемые плодородные земли, которые в настоящее время принадлежат жителям айыльного аймака и фермерам. Существующая ирригационная сеть действует и снабжает поливной водой обрабатываемые земельные наделы. При выборе участка было принято во внимание расстояние до района исследований, разнообразие и хороший уровень обработки сельскохозяйственных растений. Установлены рабочие контакты с представителями местных органов самоуправления и сообществ.

Исследование существовавшего ранее землепользования было реализовано с использованием плана землепользования Кара-Жыгачского айыльного аймака (АА). Необходимо отметить, что в настоящее время местные фермерские и домашние хозяйства обрабатывают небольшие земельные наделы, которые значительно отличаются от землепользования во время существования бывшего Винсовхозкомбината «Ала-Тоо».

Космические снимки системы Landsat играют очень большую роль в исследованиях окружающей среды и в решении огромного числа различных научных и прикладных задач. Спутники Landsat принадлежат NASA – Национальному космическому агентству США, которое ведёт проект с 1972 года с целью съёмки всего земного шара для научных исследований. Именно снимками Landsat сплошную покрыт весь мир и они весьма широко применяются в самых различных сферах, начиная от сельского хозяйства и до разнообразных исследований. Целью использования спутниковых снимков Landsat 8 с разрешением 30 м в данной работе является долговременный анализ изменения видов землепользования и растительного слоя района исследований и получение 11 тематических карт, в том числе изменения видов землепользования [12].

Также были использованы спутниковые снимки Sentinel-2A - семейства спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, созданного в



рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды и безопасности «Коперник» (Copernicus) с более высоким 10 м разрешением. Спутники Sentinel-2 предназначены для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов, также могут применяться при ликвидации последствий стихийных бедствий. Первый спутник, Sentinel-2A, запущен 23 июня 2015 года [13].

Методы исследования и полевые работы. Полевые работы по проекту были выполнены для изучения видов и состояния посевов в районе исследований и выполнения аэрофотосъемки с использованием БПЛА. В связи с объявлением чрезвычайной ситуации из-за пандемии коронавируса полевые работы были отложены и возобновлены с облегчением ограничительных мер в стране.

Были проведены полевые работы участниками проекта в районе исследований 27 мая 2020г., 9 октября 2020 г. и выполнены следующие виды работ:

- уточнение границ земельных участков с различными видами сельскохозяйственных растений (Рис. 2);
- составление каталога земельных участков с различными видами сельскохозяйственных растений;
- встреча с фермерами и работниками местных сельхоз предприятий;
- размещение и спутниковое позиционирование опознавательных знаков-маркеров для аэрофотосъемки с применением GNSS приёмника Trimble R8 в режиме сетевого RTK измерения;
- выполнение аэрофотосъемки выбранного участка района исследований с применением БПЛА DJI Phantom 4 (Рис. 3);
- фотографирование сельхозугодий и разных видов землепользования.

Аэрофотосъемки 27 мая 2020г. и 9 октября 2020 г. с применением БПЛА DJI Phantom 4 были выполнены для одного и того же участка с целью изучения изменения растительного покрова.

Геопривязка и оцифровка планов землепользования. Все доступные топографические карты и планы землепользования были отсканированы и обработаны с использованием программных комплексов для графического редактирования. Далее было выполнена геопривязка отсканированных карт и планов с применением данных спутникового позиционирования. Высокоточное спутниковое позиционирование опорных точек в районе исследований было реализовано с применением GNSS приёмника Trimble R8 в режиме сетевого RTK измерения. Сантиметровая точность спутниковых измерений обеспечивалась службой КугPOS - Центром управления постоянно действующими референц-станциями (CORS) Государственного учреждения «Кадастр» при Государственном агентстве по земельным ресурсам при Правительстве Кыргызской Республики [14].

Обработка пространственных данных, в том числе геопривязка топографических карт, планов землепользования и спутниковых снимков была выполнена с использованием программных комплексов ArcGIS 10.4 и QGIS 3.4.

Спутниковые снимки Landsat 8 и Sentinel-2A были обработаны с использованием программных комплексов ENVI, ArcGIS 10.4 и QGIS 3.4. Также были использованы спутниковые снимки картографических сервисов Google Maps, Google Earth Pro, OSM и SAS.Planet для детального изучения и оцифровки границ землепользования.



Рис. 2. Исследование и инвентаризация посевов сельскохозяйственных культур



Рис. 3. Аэро-фотосъемка с применением БПЛА

В связи с постоянным совершенствованием качества и разрешения многоспектральных оптических сенсоров, доступности бесплатных или недорогих спутниковых снимков неуклонно растет число пользователей, которые применяют разные вегетационные индексы, с том числе в сельском хозяйстве. К таким индексам относятся нормализованный разностный вегетационный индекс – (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), усовершенствованный вегетационный индекс (Enhanced Vegetation Index, EVI), инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage VI, IPVI), разностный вегетационный индекс (Difference VI, DVI), взвешенный разностный вегетационный индекс (Weighted Difference VI, WDV) и др.[15].

Изучение состояния вопроса и выполненных исследований показало, что основным видом данных дистанционного зондирования в данной работе были использованы бесплатные снимки Sentinel-2A за 2018 - 2020 гг. Эти спутники пролетают и снимают определённый участок Земли каждые пять дней предоставляя их для открытого доступа. 12 спектральных каналов и высокое пространственное разрешение каналов RGB и NIR снимков, равное 10 м, делает эти снимки одними из основных в изучении растительного покрова Земли и сельхозугодий.

В ходе реализации научно исследовательской работы были получены ежемесячные изображения NDVI для сельскохозяйственных посевов на основе спутниковых снимков Sentinel-2A (Рис. 4). Были определены максимальные и минимальные величины NDVI для района исследований в зависимости от вегетационного периода.

Классификация спутниковых снимков по виду землепользования. Процесс роста и созревания разных видов растений имеет свои особенности, связанные с различным распределением их зеленой массы во времени. Поэтому возможно разделение типов

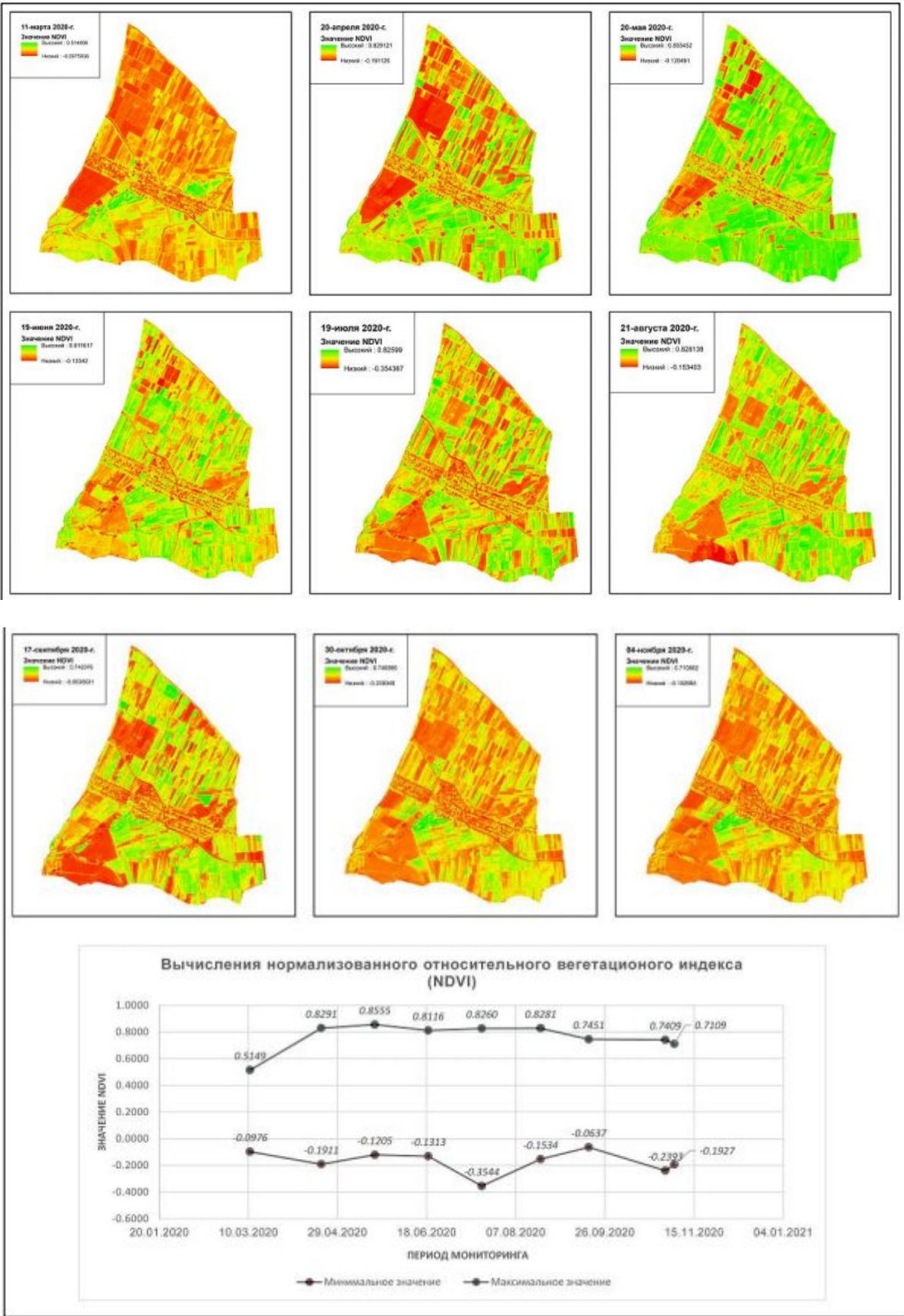


Рис. 4. Изображения ежемесячных индексов NDVI района исследований для вегетационного периода (март – ноябрь 2020 г.)

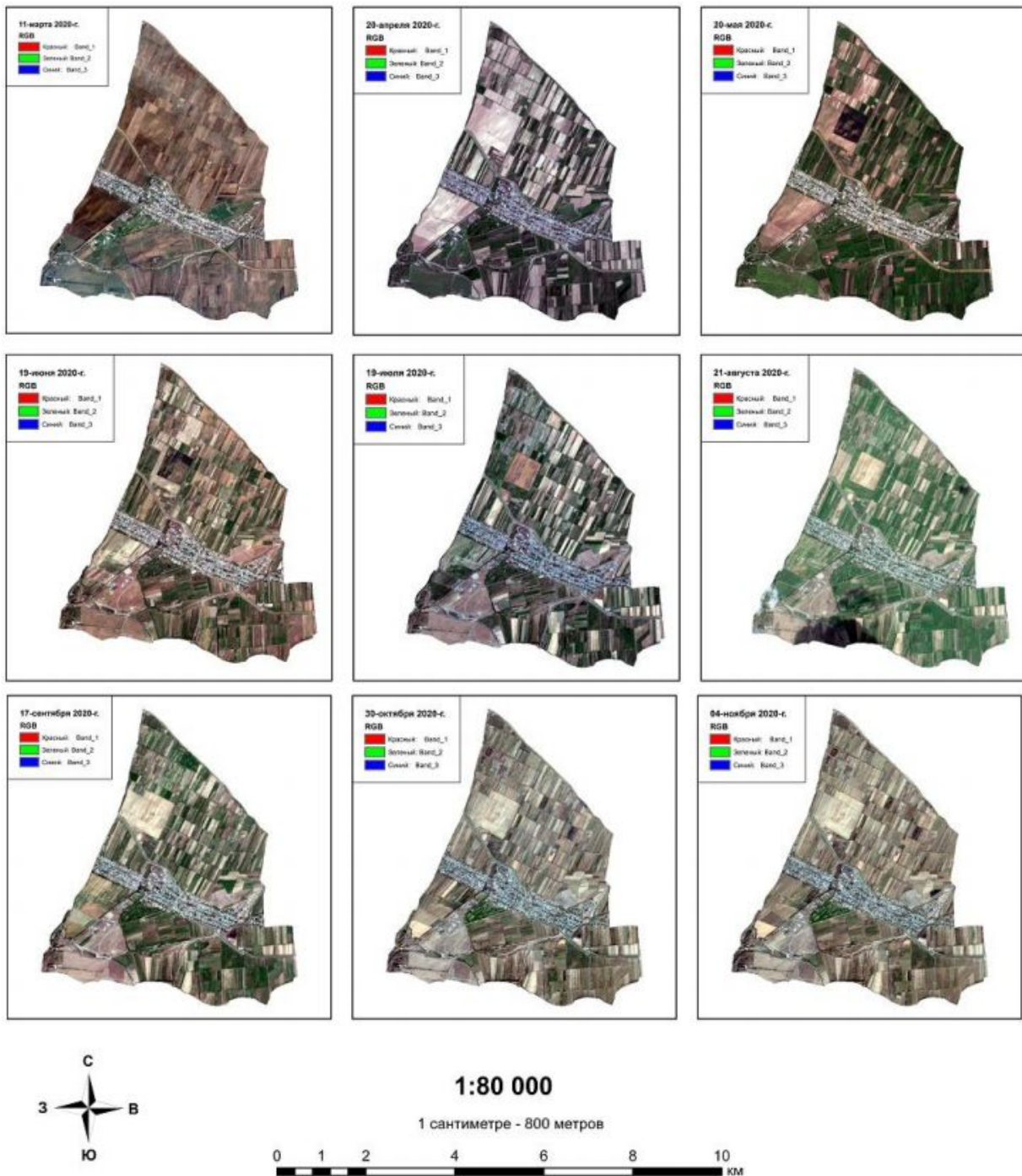
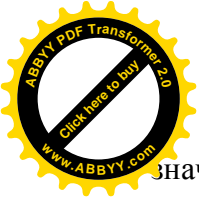


Рис. 5. Композитное изображение района исследований в естественном цвете для вегетационного периода

растительности на основе изучения значений вегетационных индексов в различные периоды вегетации, построенных по космическим изображениям [16]. Обработка многоканальных снимков спутниковых систем Sentinel-2A на каждый месяц вегетационного периода 2020 года позволила получать изображения NDVI для каждого из них для дальнейшей классификации. Выполнены работы по классификацию землепользования, определению состояния сельскохозяйственных растений и контурному дешифрированию земельных наделов по спутниковым снимкам Sentinel-2.

Для выбора значения NDVI с целью наиболее эффективного распознавания конкретных сельскохозяйственных культур необходимо оценить средние значения индекса каждой культуры за все анализируемые временные срезы, а затем определить, в какой период, или периоды, значения NDVI культур различаются максимально. Соответственно



значения индекса этого периода целесообразно будет использовать для детектирования посевов. Независимой переменной выступает состав посевных площадей, а зависимой – сезонные значения вегетационного индекса.

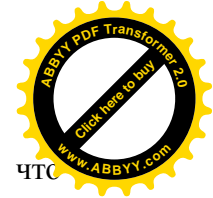
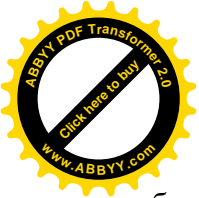
Созданный алгоритм устранения влияния атмосферы, облачности и последующей классификации показывал аналогичные профили NDVI для многих видов сельскохозяйственных растений. Например, посевы пшеницы и ячменя или эспарцета и люцерны целесообразно объединить в одну группу, высеваемых и убираемых в одно время года. Для визуального дешифрирования спутниковых снимков, дополнительно к наземным полевым работам, были использованы композитные снимки естественного цвета, соответствующие ежемесячным изображениям NDVI сельскохозяйственных посевов (Рис. 5).

Создание ортофотоплана района исследований с применением беспилотного летательного аппарата. Обработка данных аэрофотосъемки с БПЛА (беспилотный летательный аппарат) была реализована с применением компьютерной программы Agisoft Photoscan. Площадь аэрофотосъемки на местности составляет 70 га. Созданный ортофотоплан позволяет выполнять уточнение границ и площади посевов, мониторить виды разных сельхозкультур, и визуально анализировать состояние растительности. Применение БПЛА в сельском хозяйстве позволяет осуществлять контроль за территорией при полете на высотах от нескольких сантиметров до нескольких сотен метров в реальном режиме времени с получением фотографических материалов. Полученная информация является основой для создания цифровых карт полей в виде ортофото и векторных планов; инвентаризации сельхозугодий; мониторинга состояния посевов; различных индексов растительного покрова. [17,18].



Рис. 6. Ортофотоплан на основе данных фотосъемки с БПЛА

Заключение. Исследования показали, что данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) могут быть использованы для эффективного управления сельским хозяйством с использованием современных методов мониторинга сельскохозяйственных угодий на базе вегетационных индексов. Спутниковые снимки Landsat 7-8, Sentinel-2A являются современными продуктами ДЗЗ с достаточно высокими и качественными показателями пространственного, временного и радиометрического разрешения. В настоящее время снимки со спутников Sentinel-2A начинают играть особо важную роль в исследованиях и мониторинге окружающей среды и сельскохозяйственных культур. Выбранный район исследований был детально изучен во время камеральных и полевых работ, в результате которых были уточнены границы участков по видам землепользования и составлен каталог культивируемых сельскохозяйственных растений.



Первичный анализ результатов обработки спутниковых снимков и показал, что большие земельные наделы, которые имеются на старом плане бывшего Винсовхозкомбината «Ала-Тоо» (сегодня это Кара-Жыгачский Айылыный аймак) были сильно раздроблены на небольшие частные земельные доли жителей АА. Большинство таких земельных долей имеют форму сильно растянутых прямоугольников с шириной от 15-20 метров до 30-50 метров, что создает определенные трудности при классификации растительного покрова и определении видов сельскохозяйственных культур при пространственном разрешении спутниковых снимков, равных 30 м (Landsat) и 10 м (Sentinel-2). В данной работе был использован нормализованный разностный индекс растительности - NDVI, который является одним из самых популярных вегетационных показателей с 1970-х годов. Шкала величины NDVI варьируется в пределах от -1 до 1. Отрицательные значения NDVI дают водные поверхности, строения, горы, облака, снег. Открытой почве обычно соответствует индекс 0,1- 0,2, а в случае растений он всегда имеет всегда положительные значения от 0,2 до 1. Показатель здоровой, растительности должен быть выше 0,5; для разреженной – величина NDVI будет колебаться от 0,2 до 0,5. Однако, такое определение состояния растительности приблизительное, так как следует принимать во внимание конкретный сезон, тип культур и региональные особенности, чтобы точно понять, что означают полученные данные.

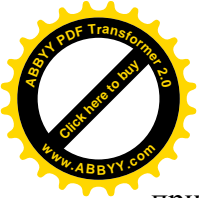
Исследование также показало существующие определенные ограничения. Например, на ранних стадиях развития растений, когда зеленые листья занимают малую площадь или они посажены рядами, расстояние между которыми составляет 50-70 см (клубника, перец, помидоры и др.) результаты подвергаются влиянию почвенного фона. Показатели также могут сбиваться на последующих этапах, когда растения образуют сомкнутый полог. В этом случае расчет может быть неточным. Результаты анализа камеральных и полевых работ позволяют рекомендовать районы исследований с земельными участками с большими площадями посевов с наименьшей стороной более 100-150 м, что необходимо учитывать при планировании и реализации дальнейших научно-исследовательских работ.

В данной работе возникли сложности с классификацией и картированием небольших или узких земельных участков со сторонами размерами 15-50 м с использованием открытых спутниковых снимков со средним и высоким разрешением (10-30 м). Дальнейший анализ сезонных значений NDVI показал целесообразности объединения сельскохозяйственных растений в зависимости от сроков их высева или посадки и уборки. Например, их можно разделить на озимые и яровые культуры (пшеница, ячмень), многолетние травы (эспарцет, клевер) полукустарниковые (малина, виноград), овощи (помидор, перец) и необрабатываемые участки. Для повышения эффективности дешифрирования и классификации посева следует анализировать на основе сезонных значений NDVI по вышеприведенным группам растений.

Результаты исследований показывают, что разработанная методика позволяет проводить идентификацию и классификацию разных типов растительности по спутниковым изображениям. И тем самым, дает возможность значительно сократить выполнение наземных экспериментальных работ и оперативно проводить крупномасштабное картографирование сельскохозяйственных угодий и других земельных участков.

Список литературы

1. Региональный обзор состояния продовольственной безопасности и питания [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.fao.org/3/cb3849ru/cb3849ru.pdf>. Дата обращения 06.07.2021
2. K.Obara, D.Abzhamilova, E.Zheentaev, A.Chymyrov, A.Nazarkulova, Mapping food security and vulnerability statistics to inform policymaking: use of the integrated context analysis in the Kyrgyz Republic. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. - 2016. - №3(53). - С.174-182.
3. Асанов М.А. Интеграция сельскохозяйственной промышленности регионов как элемент системы продовольственной безопасности Кыргызстана [Текст] / М.А. Асанов // ВЕСТНИК КЭУ им. М.Рыскулбекова. - 2019. - № 2(47). - С.23-26.



4. Дин Фэн Обследование природных ресурсов и сельского хозяйства Кыргызстана при изменении климата [Текст] / Дин Фэн, Ма Сюецинь, Пу Шэнхай, Гэн Цинлун, Шань Нана, Ван Синъюн // Вестник Кыргызского Национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. - 2014. - 3(32). - С.54-56.
5. Карабаев Н.А. Воздействие антропогенного фактора и глобального изменения климата на плодородие сероземов Кыргызстана [Текст] / Н.А.Карабаев, С.А.Маматканов, Ж.А.Бекболотов, Ма Сюецинь // Вестник Кыргызского Национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. - 2014. - 3(32). - С.49-53.
6. Бутрова Е.В. Дистанционное зондирование Земли и современные концепции управления на примере сельскохозяйственной отрасли [Текст] / Е.В.Бутрова, Ю.В.Денисов, Д.В.Ковков, А.Е.Скляр // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2019. Т. 170. № 3. С. 28-39.
7. Торсунова О.Ф. «Использование данных космической съемки сверхвысокого разрешения для решения задач территориального зонирования» [Текст] / О.Ф.Торсунова // Вестник СГУГиТ. - Том 3. - №2. - С.219-229.
8. Михайленко И.М. Дистанционное зондирование земли в сельском хозяйстве [Текст] / И.М.Михайленко, В.П.Якушев // Вестник российской сельскохозяйственной науки [S.1.]. – 2016. - № 6. - С. 12-16.
9. Муллаярова П.И. «О модернизации существующей методики инвентаризации зеленых насаждений с учетом современных достижений аэрокосмических исследований и гис-технологий» [Текст] / П.И.Муллаярова // Вестник СГУГиТ. - Том 23. - №1. - 2018. - С.134.
10. Цыганков Д. Н. Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] / Д.Н.Цыганков, В.И.Сысенко // Ученые записки Электронный научный журнал Курского государственного университета. - 2012. - №2 (22). Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-dannyhdistsionnogo-zondirovaniya-dlya-monitoringa-ispolzovaniya-zemelselkohozyaystvennogo-naznacheniya> (дата обращения: 05.12.2020).
11. Хабаров Д.А. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли [Текст] / Д.А.Хабаров, Т.С. Адиев, О.О. Попова, В.А. Чугунов, В.А. Кожевников // Московский экономический журнал. - 2019. - №1. - С. 181-190.
12. «Landsat: The cornerstone of global land imaging» GIM International 2019 issues 1 vol.33. p. 10-15.
13. Табунщик В.А. Применение спутниковых снимков Sentinel-2 для анализа земель используемых в сельском хозяйстве (на примере Раздольненского района Республики Крым) [Текст] / В.А.Табунщик, Е.А. Петлюкова, М.О. Хитрин // Труды Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН. - 2018. - № 1 (5). - С. 43-57.
14. Чымыров А.У. Технология спутникового позиционирования с применением сетевого RTK сервиса KugPOS [Текст] / А.У.Чымыров, А.К. Бектуров, М.А. Анарбаев, Ш.С. Саргазакова // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2019. - №4(43). - С.42-49.
15. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы Обработка данных ДЗЗ [Текст] / А.С.Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. - №3. - С. 32.
16. Чымыров А.У. Исследование и оценка лесов бассейна реки Нарын методами дистанционного зондирования [Текст] / А.У.Чымыров, Т.К. Урмамбетова, Н.Ы. Исмаилов // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. - 2016. - № 1 (37). - С. 195-201.
17. Скубиев С.И. Опыт применения БПЛА для мониторинга состояния посевов риса в Краснодарском крае [Текст] / С.И.Скубиев, Д.А. Шаповалов, П.П. Лепехин / Рисоводство. - 2018. - № 4 (41). - С. 51-55.
18. Курченко Н.Ю. Технология применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве [Текст] / Н.Ю. Курченко // British journal of innovation in science and technology. - 2018. - Т. 3. - №3. - С. 37-42.