Nagornov Stanislav – Full Doctor of Technical sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture", Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Levina Ekaterina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bauman Moscow State Technical University", Russia, Moscow.

Поступила в редакцию (Received): 19.11.2019 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2019

УДК 635.21: 005.58
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-6-91-99

ОПТИЧЕСКИЙ ПОЛЕВОЙ МОНИТОРИНГ В ОРИГИНАЛЬНОМ КАРТОФЕЛЕВОДСТВЕ

[1]Старовойтов Виктор Иванович
[1]Старовойтова Оксана Анатольевна
[2]Балабанов Виктор Иванович
[2]Манохина Александра Анатольевна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха»
[2]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Реферат. *Перспективным направлением развития сельскохозяйственного мониторинга является использование беспилотных летательных аппаратов. Анализ критериев по распознаванию растений в полевых условиях показал, что для оригинального семеноводства картофеля применимы и эффективны NDVI формулы вегетативного индекса растений. В работе проанализированы основные существующие формулы NDVI. Установлено, что при появлении всходов, в течение вегетационного периода, росту биомассы картофеля соответствует увеличение значений NDVI. С наступлением периода созревания снижается содержание хлорофилла и, соответственно, значения NDVI. NDVI характеризует плотность растительности, что позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Выявлено, что по индексу NDVI с высокой точностью можно прогнозировать урожайность посевов. Обосновано, что для картофеля из-за большой биомассы, прежде всего зеленых листьев и стеблей, интерес представляет использование критерия – GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленого нормализованного разностного вегетационного индекса. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется в зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Проанализированы существующие программные комплексы по интерпретации графических данных в области сельскохозяйственного мониторинга. Анализ сервисов для работы с БПЛА: Drone Deploy, Pix4D, AgVault, Agisoft Photo Scan, Drone Mapper, Farm Lens, Inpho UAS Master, ENVI, Analist 2017 показал, что все они основаны на подключении через мобильное приложение к пульту управления беспилотным летательным аппаратом и могут быть использованы для оптического полевого мониторинга в оригинальном картофелеводстве.*

Ключевые слова: *критерии, вегетационный индекс, мониторинг, БПЛА, растение, оптический спектр.*

OPTICAL FIELD MONITORING IN ORIGINAL POTATO FARMING

[1]Starovoitov Viktor
[1]Starovoitova Oksana
[2]Balabanov Victor
[2]Manokhina Aleksandra
[1]FSBSI "Lorch Potato Research Institute"
[2]FSBEI HE "Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy"

Abstract. *A promising area for the development of agricultural monitoring is the use of unmanned aerial vehicles. An analysis of the criteria for recognizing plants in the field showed that the NDVI formulas of the vegetative index of plants are applicable and effective for the original potato seed production. The main existing NDVI formulas are analyzed in the work. It was established that when seedlings appear during the growing season, an increase in potato biomass corresponds to an increase in NDVI values. The content of chlorophyll and, accordingly, the value of NDVI, decreases with the onset of the ripening period. NDVI characterizes the density of vegetation, which allows growers to evaluate the germination and growth of plants, the productivity of the land. It was revealed that crop yield can be predicted with high accuracy using the NDVI index. It is proved that for potatoes, due to the large biomass, primarily green leaves and stems, it is of interest to use the criterion - GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) - Green normalized difference vegetation index. It is proved that for potatoes, due to the large biomass, primarily green leaves and stems, it is of interest to use the criterion - GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) - Green normalized difference vegetation index. This indicator is similar to the NDVI indicator, except that it is measured in the green spectrum from 540 to 570 nm., instead of changes in the red spectrum. Existing software systems for interpreting graphic data in the field of agricultural monitoring are analyzed. Analysis of services for working with UAVs: Drone Deploy, Pix4D, AgVault, Agisoft Photo Scan, Drone Mapper, Farm Lens, Inpho UAS Master, ENVI, Analist 2017 showed that all of them are based on connecting to the control panel of an unmanned aerial vehicle and can be used for optical field monitoring in original potato growing.*

Keywords: *criteria, vegetation index, monitoring, UAV, plant, optical spectrum.*

Введение. Сегодня в сельскохозяйственное производство активно внедряются высокоточные технологии, к которым относятся и использование информации со спутников, и агромониторинг полей с помощью беспилотных дронов.

Для получения снимков со спутников применяют различную съемочную аппаратуру. Спутниковые сканеры, принцип работы которых такой же, как и устройство для ввода изображений в компьютер в отличие от фотокамер работают во многих диапазонах электромагнитного спектра [1]. Микроскопические элементы, чувствительные к электромагнитному излучению, регистрируют яркость объектов, вырабатывая электрический сигнал. Он оперативно, практически мгновенно, передается в цифровом виде на земные приемные станции. С 23 июля 1972 года началась наиболее продолжительная программа по спутниковому картографированию поверхности планеты.

В настоящее время уже имеется определенный опыт использования беспилотников в сельском хозяйстве. Они позволяют получать актуальную и точную информацию о площади, рельефе, специфики грунта полей, сельскохозяйственных процессах [2 – 4].

Социально значимой культурой в России является картофель, он занимает большое значение в рационе питания россиян [5 – 7], поэтому использование высокоточных технологий при его производстве весьма актуально. Картофелеводство имеет свою специфику и важно провести анализ накопленных знаний. Оригинальное семеноводство картофеля – направление работ, где особенно важно получить качественный семенной материал, используя современные технологии.

Получение производных изображений по полученным снимкам путем обработки по специальным алгоритмам в избранных зонах спектра позволяет изучать продуктивность растений, биомассу и интенсивность фотосинтеза [8].

Наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) показали, что в спектральном признаковом пространстве каждый вид культуры в определенные сроки и в определенной фазе развития образует компактный кластер (совокупность однородных фотометрических точек) [9]. Количественной характеристикой состояния посевов служит нормализованный вегетационный индекс NDVI. В определенной точке изображения NDVI – это отношение разности интенсивностей отраженного света в инфракрасном и красном диапазонах спектра к их сумме. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а инфракрасная область отвечает за максимум отражения клеточными структурами листа [9].

При появлении всходов, в течение вегетационного периода, росту биомассы картофеля соответствует увеличение значений NDVI, а с наступлением периода созревания снижается

содержание хлорофилла и, соответственно, значения NDVI. Снижение значений NDVI в период активной вегетации (до наступления фазы цветения) свидетельствует о состоянии посадок картофеля, так же это может быть поражение посадок болезнями или вредителями, наличием сорняков, следствием стихийных явлений (град, ливни, засуха, пожары).

Исследования выявили, что при освещении клеток красным светом с длинной волны 650-680 нм уровень фотосинтеза был достаточно высоким. Однако при дальнейшем увеличении длины волны света свыше 685 нм, уровень фотосинтеза резко падал. Этот феномен называют «первым эффектом Эмерсона – эффектом красного падения». В настоящее время существует около 160 критериев оценки растений – различных вариантов вегетационных индексов. Таким экспериментальным образом (эмпирическим путем) создается электронная библиотека. Индексы подбираются, исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв. Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62-0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75-1,3мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. То есть, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Хорошо известно, отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов [10].

Цель – найти оптимальное программное обеспечение, отвечающее поставленным задачам: оценки развития посадок оригинального картофеля.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить существующие программные комплексы по интерпретации графических данных в области сельскохозяйственного мониторинга.

2. Изучить принцип и алгоритмы работы комплексов обрабатывающих данные.

3. Изучить основные формулы NDVI.

4. Оценить возможности использования разработанных критериев в оригинальном семеноводстве картофеля и дать предложения.

Результаты и их обсуждение.

Особенности формул. Наиболее популярный и часто используемый индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс растительности, впервые был описан Rouse B.J. в 1973 г. – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Проанализировав перечень вегетативных индексов и их параметров мы также пришли к выводу о необходимости использовать для наших дальнейших исследований вегетативный индекс NDVI.

По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны можно рассчитать только два индекса – NDVI и RVI. Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует плотность растительности, что позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений коэффициентов отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1 [11].

Сам по себе, NDVI существует гораздо дольше, чем другие показатели растительности. Он является самым распространённым показателем, вот почему о нём говорят чаще, чем о других. Простым языком, NDVI показывает уровень фотосинтеза в растениях. Однако если вы не проконтролировали все варианты, этот показатель вам не скажет ничего, как плохого, так и хорошего. NDVI это всего лишь часть мозаики – до самой же сути вам предстоит ещё добраться. Это требует определённых знаний [12].

Для того чтобы эффективно использовать данные NDVI для принятия управленческих решений, или для установления сути вопроса, нужно понимать специфику сортов сельскохозяйственных культур, полевые условия, уровень роста, процесс внесения удобрений и

пестицидов, а также среду, в которой созревают растения (в первую очередь влажность и температуру) [13].

Поскольку картофель обладает большой биомассой, в первую очередь зеленых листьев и стеблей, интерес представляет использование еще одного критерия – GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленый нормализованный разностный вегетационный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем нормализованный разностный вегетационный индекс НРВИ.

Индекс применим при оценке угнетенной и стареющей растительности. Эффективен при оценке содержания азота в листьях растений по мультиспектральным данным, у которых отсутствует крайний красный канал. GNDVI вычисляется по формуле:

$$GNDVI = (NIR – green) / (NIR + green),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области. Диапазон значений индекса -1 – 1.

Этот индекс может использоваться для анализа культур в средних и поздних стадиях роста.

DVI (Difference Vegetation Index) – это простой вегетационный индекс растительности. Этот индекс позволяет провести различие между почвой и растительностью, но не учитывает разницу между коэффициентом отражения и сияния, вызванные атмосферными эффектами или тени. Этот показатель может быть использован для культур на всех этапах роста. Вычисляется по формуле:

DVI = NIR – Red, где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red - отражение в красной области спектра.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – скорректированный почвенно-растительный вегетационный индекс. Был разработан как модификация индекса NDVI для устранения влияния яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в ранних или средних стадиях роста. На ранней стадии роста рекомендуется производить анализ, когда есть четко разделенные рядами растения и почва. Средний сезон развития растений рекомендуется производить анализ, когда растения не соприкасаются, находятся в разных рядах, и отбрасывают равномерную тень. Вычисляется по формуле:

$$SAVI = [(NIR – Red) / (NIR + Red + 0.5)]*(1 + 0.5),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,5 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Введен Huete в 1988 году.

OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) – является упрощенной версией скорректированного почвенно-растительный вегетационного индекса, чтобы минимизировать влияние яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине роста, в районах с относительно разреженной растительностью, где грунт виден через растительный покров. Вычисляется по формуле:

$$OSAVI = [(NIR – Red) / (NIR + Red + 0.16)]*(1 + 0.16),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,16 – поправочный коэффициент на яркость почвы.

Расшифровка формул. Green Leaf Index (GLI) – индекс «зелености» листа используется для анализа состояния цвета листовой поверхности исследуемого растительного покрова, может помочь агроному выявить состояние растений в конкретный момент и принять необходимые решения для исправления ситуации. Green Leaf Index (GLI) – индекс «зелености» листа был разработан, чтобы определить степень зеленого состояния и желтизны растений, в основном используется для систем мониторинга на небольшой высоте, таких как беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны. Этот показатель может быть использован на всех этапах роста. Имеет диапазон от -0,15 желтое растение до +0,39 полностью здоровое зеленое растение.

VARI (Visible atmospherically resistant index) – видимый атмосфероустойчивый вегетационный индекс, предназначается для создания атмосферной коррекции и является хорошим показателем для оценки доли растительности в видимом диапазоне спектра. Этот индекс может использоваться для анализа культур на всех стадиях роста.

Имеет диапазон от -1,0 отсутствие растительного покрова до +1,0 почва покрыта растениями.

ENDVI (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index) – улучшенный нормализованный разностный вегетационный индекс. Вам уже известен популярный среди агрономов

вегетационный индекс NDVI, который по мнению большинства из них в скором будущем станет промышленным стандартом. ENDVI является ближайшим эквивалентом или модифицированной версией индекса NDVI, предназначен для беспилотных летальных аппаратов. ENDVI является показателем живой зеленой растительности, и может быть использован для мониторинга выращивания культур на всех этапах роста.

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) – Зеленый нормализованный разностный вегетационный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI, за исключением того, что он измеряется зеленом спектре от 540 до 570 нм., вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем нормализованный разностный вегетационный индекс НРВИ. Показатель фотосинтетической активности растительного покрова, наиболее часто используемый при оценке влагосодержания и концентраций азота в листьях растений. Назначение: Индекс применим при оценке угнетенной и стареющей растительности. Эффективен при оценке содержания азота в листьях растений по мультиспектральным данным, у которых отсутствует крайний красный канал. GNDVI вычисляется по формуле:

$$GNDVI = (NIR - green)/(NIR + green),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области. Диапазон значений индекса -1 – 1. Авторы метода: Гительсон А., М. Мерзляк. «Дистанционное зондирование концентрации хлорофилла в листьях растений». Достижения в области космических исследований 22 (1998): 689-692. Этот индекс может использоваться для анализа культур в средних и поздних стадиях роста.

DVI (Difference Vegetation Index) – это простой вегетационный индекс растительности. Этот индекс позволяет провести различие между почвой и растительностью, но не учитывает разницу между коэффициентом отражения и сияния, вызванные атмосферными эффектами или тени. Этот показатель может быть использован для культур на всех этапах роста. Вычисляется по формуле: DVI = NIR – Red, где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) – скорректированный почвенно-растительный вегетационный индекс. Был разработан как модификация индекса NDVI для устранения влияния яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в ранних или средних стадиях роста. На ранней стадии роста рекомендуется производить анализ, когда есть четко разделенные рядами растения и почва. Средний сезон развития растений рекомендуется производить анализ, когда растения не соприкасаются, находятся в разных рядах, и отбрасывают равномерную тень. Вычисляется по формуле:

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)]*(1 + 0.5),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,5 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Введен Huete в 1988 году.

OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) – является упрощенной версией скорректированного почвенно-растительный вегетационного индекса, чтобы минимизировать влияние яркости почвы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине роста, в районах с относительно разреженной растительностью, где грунт виден через растительный покров. Вычисляется по формуле:

$$OSAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)]*(1 + 0.16),$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра, 0,16 – поправочный коэффициент на яркость почвы. Упоминается в работах М. Стивен, Ф. Барет. «Оптимизация почвенно-растительных вегетационных индексов». Дистанционное зондирование окружающей среды №55 (1996): 95-107.

RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index) – Ренормализованный разностный вегетационный индекс. RDVI использует преимущества DVI и NDVI, и нечувствителен к воздействию почвы и геометрии наблюдения солнца. Этот показатель не рекомендуется для обследования участков с редкой растительностью. Этот индекс может использоваться для анализа культур на всех этапах роста. Индекс использует разницу между ближней инфракрасной и красной длин волн, для выделения здоровой растительности. Вычисляется по формуле:

$$RDVI = \frac{(NIR - Red)}{\sqrt{(NIR + Red)}},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, Red – отражение в красной области спектра GDVI (Green Difference Vegetation Index) – Зеленый разностный вегетационный индекс. Этот индекс был изначально разработан с цветной инфракрасной фотографии для прогнозирования потребности азота для кукурузы. Этот показатель рекомендуется использовать для анализа культур в начале-середине их роста. Вычисляется по формуле:

$$GDVI = NIR - Green,$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области спектра.

NGRDI (Normalized Green Red Difference Index) – нормализованный зелено-красный разностный индекс. Этот показатель схож с показателем NDVI за исключением того, что он измеряетсся в зеленом спектре от 540 до 570 нм вместо красного спектра. Этот показатель более чувствителен к концентрации хлорофилла, чем НРВИ. Используется для обнаружения наиболее зеленых участков растительного покрова. Вычисляется по формуле:

$$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области, GREEN – отражение в зеленой области спектра.

Подсчитанные значения индекса включают: RGB (GLI, VARI, NGRDI), BGNIR (ENDVI, GNDVI, GSAVI), RGNIR (NDVI, MNLI, OSAVI), Micasense (MTVI-1, LAI, гари).

По оценкам компании AUVSI (крупнейшая в мире некоммерческая организация, посвященная исключительно продвижению беспилотных систем и робототехники) за ближайшие 10 лет 80 % рынка БПЛА будут востребованы в сельском хозяйстве.

По данным многочисленных научных публикаций, по индексу NDVI с высокой точностью можно прогнозировать урожайность посевов. Вегетационный индекс NDVI изменяется весь сезон и его значения различны во время роста, цветения и созревания растений. В начале вегетационного сезона индекс нарастает, в момент цветения его рост останавливается, затем по мере созревания, NDVI снижается. В зависимости от почвенного плодородия, метеоусловий и технологии возделывания посевов скорость развития биомассы будет разной. Поэтому по среднему значению NDVI на поле легко сравнивать состояние посевов во время вегетации: на одних полях посевы развиваются быстрее (лучше), на других – медленнее (хуже).

Помимо использования NDVI, возможно использование и других формул распознавания [14].

Карты вегетационных индексов и снимки высокого разрешения – источники актуальной информации о состоянии посевов. По этим данным легко обнаружить участки с угнетенной растительностью, нарушения процесса высева, подверженные эрозии области.

Для сопровождения точного земледелия карты вегетационного индекса используются как исходные данные при определении однородных по плодородию зон. В сочетании с агрохимическим анализом почвы, эти данные позволяют создавать файлы предписаний для дифференцированного внесения минеральных удобрений. В отсутствии данных агрохимического обследования, те же карты зон плодородия используются для оптимизации пробоотбора: вместо отбора по регулярной сетке, пробы отбираются по зонам, что сокращает количество проб и уменьшает влияние случайных факторов на результаты анализа.

Простейший замер NDVI может показать плотность растений на определенном участке.

«Чем плотнее урожай, тем меньше удобрений вам необходимо применить». Информация полезна, поскольку чрезмерное применение удобрений может привести к загрязнению, когда она попадает в водоемы. В оригинальном семеноводстве растения, как правило, имеют выровненный потенциал урожайности, габитус и биомассу. Это позволяет создавать исходную электронную библиотеку сортов картофеля и репродукций.

Пользу в сельском хозяйстве от БПЛА можно извлечь не только замерами NDVI здоровья растений, но и созданием 3D карты, карты рельефа местности.

Примером является обнаружение сорняков путем замера высоты растений. В оригинальном семеноводстве высота и плотность растений имеют малую дисперсию, так что внезапные провалы или пики в профиле обозначают возможное присутствие сорняков. Здесь помощником стало точное 3D изображение местности и карта высот, рельеф местности.

Также, оценка высоты растений имеет важное значение для картофелеводов, данные такого плана позволяют убедиться в равномерном росте растений. Когда некоторые растения растут быстрее, чем другие, они имеют тенденцию заслонять медленно растущие растения, уменьшая их доступ к солнечному свету и превращая их в сорняки. Понятно, что «вручную» оценить высоту растений на всей площади поля невозможно. Фермеры будут просто анализировать сегмент участка, а затем теоретически будут давать оценку всего поля на основе данных с тестируемого участка. БПЛА решает эту проблему за счет сокращения времени на мониторинг и получение точных данных со всего поля.

Анализ сервисов для работы с БПЛА.

1. Drone Deploy – наверное, самый популярный сервис в этой сфере, прост в использовании, работает в облаке (доступ с любого места, с любого устройства), достаточно функциональный и удобный.

2. Pix4D – один из самых функциональных сервисов, работает как в облаке, так и на ПК. За счет этого сильно меняется функционал. Десктопное приложение, наверное одно из самых функциональных в области. Что примечательно, еще несколько сервисов используют технологии Pix4D в своей работе.

3. AgVault – конкретно ориентирован на точное земледелие и на работу с БПЛА, есть мобильное приложение для хранения и контроля полученной информации. Продают мультиспектральную камеру для БПЛА DJI Phantom 4. Есть десктопное приложение.

4. Agisoft Photo Scan – крайне функциональное профессиональное ПО для создания ортофото, карт рельефа, 3D моделей, обработки мультиспектральных снимков. Для создания объектов в 3D это самый функциональный и самый наверное сложный продукт.

5. Drone Mapper – предлагает достаточно широкий функционал для обработки снимков с БПЛА. Ориентируются именно на беспилотники, есть все необходимые функции: ортофото, карты рельефа, карты NDVI.

6. Farm Lens – система все-в-одном: планирование полета, сбор информации, обработка происходит при помощи приложения и серверов компании. В отличии от Skycatch (Skycatch – система все-в-одном: планирование полета, сбор информации, обработка происходит при помощи приложения и серверов компании. Изначально ориентируются на работу именно с БПЛА в сегменте строительства. Кроме того, предлагают собственного дрона. В своем сегменте предлагают очень хороший сервис, единственное, сейчас не предлагают работы в сфере точного земледелия.) работают в сегменте сельского хозяйства. Тоже предлагают своего дрона.

7. Inpho UAS Master – программа от известной компании Trimble. Разработана для работы с БПЛА. Предлагает полный спектр работ с информацией, получаемой с беспилотника: создание ортофотопланов, карт рельефа, карт NDVI. Полная интеграция с другими фотограмметрическими модулями Inpho.

8. ENVI – приложение предлагает широкий функционал для обработки данных, работает практически со всеми типами сенсоров. Есть набор узкоспециализированных модулей, что позволяет расширить функционал под конкретную область применения.

9. Analist 2017 – профессиональное программное обеспечение для обработки информации получаемой с БПЛА. Присутствует весь необходимый функционал, есть модуль ориентированный на сельское хозяйство.

Основной принцип работы большинства программ такого типа является: подключение ПО через мобильное приложение к пульту управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), регулировка данных облета, настройка миссии (на данном этапе производится регулировка высоты полета БПЛА, угол наклона камеры, скорость полета летательного аппарата, схема облета, частота съемки и регулировка камеры адекватно погодным условиям) и запуск БПЛА для обследования, производится фотосъемка необходимых зон и объектов и облет автоматически. После завершения миссии, каждое полученное изображение имеет конкретную привязку к GPS координатам.

Полученный материал загружается в облако хранения информации и автоматически после загрузки отправляется на составление подробной карты местности с привязкой к геолокации (Google Maps). Обработка информации занимает от 2-х до 36 часов времени и на выходе получаем запрашиваемые данные на платформе. Данные получаем в нескольких форматах и имеем

возможность отправлять на цифровые устройства по средствам сети интернет в компьютер начальника отдела контроля находящегося в офисе.

Помимо функций изображения, данные имеют и цифровые значения (высота над уровнем моря, координаты точек, возможность измерения расстояния, площади и объема объектов на местности). Возможность в самом функционале делать пометки, в том числе и онлайн пометки по принципу Google документы.

Выводы. Таким образом, анализ критериев по распознаванию растений в полевых условиях показывает, что для оригинального семеноводства картофеля применимы и эффективны NDVI формулы вегетативного индекса растений.

Список литературы.

1. Черепанов А.С. Вегетационные индексы: справочные материалы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98-102.

2. 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 // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 6. – С. 56-61.

3. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images[Электронный ресурс]. – 2003. – URL: PLos One. 2013. V 8. Issue 10.e.77151 · DOI: 10.1371/journal.pone.0077151 · Source: PubMed.

4. Colomina I and Molina P. Unmaned Aerial Systems for Photogrammetry and Remove Sensing: A review// ASPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014.– №92. – p.79-97.

5. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. Переработка картофеля экономически целесообразна // Картофель и овощи. – 2008. – № 7. – С. 2-3.

6. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Манохина А.А., Жовребенко Т.В., Леденев В.П. Внедрение инноваций в агропромышленный сектор – ключ к развитию экономики России // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 4. С. 36-40.

7. Старовойтова О.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И., Овэс Е.В., Коршунов А.В., Манохина А.А., Балабанов В.И. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля.: Росинформагротех, 2018.– 233 с.

8. Агропрактик [Электронный ресурс] URL: http: // agropraktik.ru/personal_blog/discussed/?perio d=all

9. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Щербенко Е.В. Разработка методов мониторинга пахотных земель России по данным спутниковых наблюдений радиометром MODIS. – М.: ИКИ РАН, 2007. – 222 с.

10. Википедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERDAS_Imagine

11. Нейштадт И.А., Барталев С.А., Ершов Д.М. и др. Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений Terra/Modis для мониторинга сельскохозяйственных земель // Геоинформатика. – 2004. – С. 205-209.

12. Хворова Л.А., Брыксин В.М. Применение математических методов и математического моделирования для оценки агроклиматического потенциала территорий // Известия Алтайского государственного университета. – 2002. – № 1(23). – С. 41-45.

13. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28-32.

14. Жевора С.В., Рубин Д.Т., Старовойтов В.И., Кладко С.Г., Андряков Д.А., Жорин Ф.В., Ворончихин В.В. Перспективы использования программных комплексов сельскохозяйственного мониторинга в картофелеводстве // В сборнике: Картофелеводство Материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. – 2017. – С. 27-39.

References

1. CHerepanov A.S. Vegetacionnye indeksy: spravochnye materialy // Geomatika. – 2011. – № 2. – S. 98-102.

2. ZHelezova S.V., Anan'ev A.A., V'yunov M.V., Berezovskij E.V. Monitoring posevov ozimoj pshenicy s primeneniem bespilotnoj aerofotos"emki i opticheskogo datchika GreenSeeker RT200 // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 6. – S. 56-61.

3. Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images[Elektronnyj resurs]. – 2003. – URL: PLos One. 2013. V 8. Issue 10.e.77151 • DOI: 10.1371/journal.pone.0077151 • Source: PubMed.

4. Colomina I and Molina P. Unmaned Aerial Systems for Photogrammetry and Remove Sensing: A review// ASPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014.– №92. – p.79-97.

5. Starovojtov V.I., Starovojtova O.A. Pererabotka kartofelya ekonomicheski celesoobrazna // Kartofel' i ovoshchi. – 2008. – № 7. – S. 2-3.

6. Starovojtov V.I., Starovojtova O.A., Zvyagincev P.S., Manohina A.A., ZHovrenenko T.V., Ledenev V.P. Vnedrenie innovacij v agropromyshlennyj sektor – klyuch k razvitiyu ekonomiki Rossii // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2015. № 4. S. 36-40.

7. Starovojtova O.A., ZHevora S.V., Starovojtov V.I., Oves E.V., Korshunov A.V., Manohina A.A., Balabanov V.I. Konkurentosposobnye tekhnologii semenovodstva, proizvodstva i hraneniya kartofelya.: Rosinformagrotekh, 2018.– 233 s.

8. Agropraktik [Elektronnyj resurs] URL: http: // agropraktik.ru/personal_blog/discussed/?period=all

9. Bartalev S.A., Lupyan E.A., Nejshtadt I.A., SHCHerbenko E.V. Razrabotka metodov monitoringa pahotnyh zemel' Rossii po dannym sputnikovyh nablyudenij radiometrom MODIS. – M.: IKI RAN, 2007. – 222 s.

10. Vikipediya [Elektronnyj resurs] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERDAS_Imagine

11. Nejshtadt I.A., Bartalev S.A., Ershov D.M. i dr. Algoritmy analiza dannyh sputnikovyh nablyudenij Terra/Modis dlya monitoringa sel'skohozyajstvennyh zemel' // Geoinformatika. – 2004. – S. 205-209.

12. Hvorova L.A., Bryksin V.M. Primenenie matematicheskih metodov i matematicheskogo modelirovaniya dlya ocenki agroklimaticheskogo potenciala territorij // Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2002. – № 1(23). – S. 41-45.

13. CHerepanov A.S., Druzhinina E.G. Spektral'nye svojstva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy // Geomatika. – 2009. – № 3. – S. 28-32.

14. ZHevora S.V., Rubin D.T., Starovojtov V.I., Kladko S.G., Andryakov D.A., ZHorin F.V., Voronchihin V.V. Perspektivy ispol'zovaniya programmnyh kompleksov sel'skohozyajstvennogo monitoringa v kartofelevodstve // V sbornike: Kartofelevodstvo Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. Pod redakciej S.V. ZHevory. – 2017. – S. 27-39.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Старовойтов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково, e-mail: agronir2@mail.ru.

Старовойтова Оксана Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха», Россия, п. Красково.

Балабанов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Манохина Александра Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: alexman80@list.ru

Author credentials

Affiliations

Starovoitov Viktor - Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo, e-mail: agronir2@mail.ru.

Starovoitova Oksana – Candidate of agricultural sciences, leading researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Lorch Potato Research Institute”, Russia, Kraskovo.

Balabanov Victor - Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Manokhina Alexandra – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: alexman80@list.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.10.2019 Принята к публикации (Accepted): 29.11.2019