УДК 528.72 : 004.93

М.Ю. Катаев, К.С. Ёлгин, И.Б. Сорокин

Методы технического зрения для картирования состояния сельскохозяйственных полей

Автоматизированная визуальная оценка состояния земли и растений, увядания и поражения вредителями листьев, показателей роста растений с использованием технического зрения (ТЗ) может использоваться в качестве основы в умном (точном) сельском хозяйстве (СХ). В настоящей статье рассматривается краткий обзор литературы по применению технического зрения для анализа состояния сельскохозяйственных полей и растущих на них растений. Внедрение систем ТЗ в реальную производственную сельскохозяйственную практику для прецизионных измерений связано с разработкой сложных математических подходов, которые должны быть устойчивы к разнообразным техническим и погодным изменениям. Необходимо преодолеть изменения изображения, вызванного атмосферными условиями и суточной и сезонной вариацией солнечного света. Предлагается подход, в основе которого лежит RGB-изображение, полученное с помощью типовой цифровой камеры. Приводятся результаты по использованию систем ТЗ при решении отдельных задач СХ.

Ключевые слова: техническое зрение, математические методы изображения, сельское хозяйство, классификация изображений, беспилотный летательный аппарат.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-75-80

В настоящее время не является секретом, что современные цифровые технологии (ЦТ) редко применяются в сельском хозяйстве (СХ) России. Мировой опыт показывает, что внедрение ЦТ в сельское хозяйство позволит обеспечить рост производительности труда, повысить качество продукции, снизить расходы и др. Современные телекоммуникационные, компьютерные и измерительные технологии дают возможность разрабатывать и внедрять автоматизированные технологические и компьютерные системы, позволяющие связывать сельскохозяйственных производителей, работников компьютерной сферы и управление в единый процесс. Для внедрения ЦТ в практику СХ в России разработано множество нормативных документов и программ, например: программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [<https://data-economy.ru>], «FoodNet» [<http://www.nti2035.ru/markets/foodnet>], «Цифровое сельское хозяйство» [<https://iotas.ru/projects/agriculture>] и др.

В рамках аграрной политики государство видит рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения с учетом обеспечения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, развитие растениеводства и др. Развитие растениеводства связано с проблемой контроля заброшенных земель и нецелевого использования пахотных СХ земель, перевод их под дачное или жилищное строительство, под промышленные площадки и др. Другой важной задачей является контроль за состоянием растений от момента их посадки до вызревания и уборки. Этот сегмент исследований, в основе которых находятся ЦТ, еще слабо проник в СХ производство. Контроль значительных по размеру и распределенных по пространству участков СХ земель является трудным и слабо реализуемым в современных хозяйствах классическими методами. Здесь проблемой является невозможность исследовать характеристики почвы и растений на частой

пространственной и временной сетках. Получаемая классическими методами информация является редкой по времени и пространству и более опирается на опыт агрономических работников.

Современные агрономические отчеты содержат лишь небольшие по объему данные измерений, что является проблемой при формировании статистики по изменению параметров в течение сезона и проведению аналитики изменения измеряемых параметров в зависимости от различных условий (например, метеорологии и др.). Указанные аспекты тем не менее позволяют решать производственные задачи, однако усложняют задачу получения детальной и своевременной информации о состоянии растений и использовании земель сельскохозяйственного назначения.

Решение перечисленных выше проблем возможно с помощью современной мониторинговой базы, основанной на использовании данных спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и информации, полученной с борта беспилотных летательных устройств (БПЛА). Полученная таким образом информация является уникальной в том плане, что обладает высоким временным и пространственным разрешением и информативна (наличие многоспектральной информации). Отметим, что преимущества ДЗЗ в СХ производстве широко известны, но информация о возможности применения БПЛА еще только начинает свое развитие. Получаемая информация с борта БПЛА обеспечивает возможность получения актуальной информации с высокой периодичностью (несколько раз в день), возможности охватывать измерениями большие территории с высоким пространственным разрешением (до нескольких сантиметров), получать данные в единообразном виде (изображения в RGB или многоспектральном виде).

Современные цифровые камеры, устанавливаемые на БПЛА, обладают техническими характери-

стиками, позволяющими решать множество практических задач сельскохозяйственного производства. В данной работе приводится описание программного обеспечения, необходимого для решения задачи определения состояния сельскохозяйственных культур на больших площадях. Получение этой информации возможно благодаря набору отдельных изображений СХ территории с нескольких спектральных каналов цифровой RGB-камеры или с дополнительными спектральными каналами (ближней ИК- или ИК-области спектра). Наличие этой информации позволяет определять характеристики растений из расчета различных индексов (вегетационных, почвенных и др.), а также текстурного или цветового анализа.

Проведение измерений в разные периоды времени и получение разновременных данных позволяет определять динамику изменений характеристик сельскохозяйственных культур, что прямо связано с выполненными агротехническими работами. Такие исследования четко позволяют определять площади СХ территорий, где наблюдается отклонение от средних значений, например, ввиду деградации параметров почвы, близкого к поверхности горизонта воды и др. Наличие изображений полей позволяет ставить задачу о получении картографической информации состояния СХ территорий, учитывая тот факт, что на БПЛА можно поставить высокоточные приборы географической привязки. Такая геопрограммная информация позволяет решать задачи совмещения изображений по пространству и времени, а также встраивать изображения в геоинформационные системы (ГИС).

Наличие цветовых каналов RGB позволяет рассматривать цифровую камеру, как спектральное устройство, которое дает возможность делать расчеты индексов (Greenness), связанных с нормализованным разностным индексом растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Разница лишь в том, что для расчета NDVI требуется наличие спектральной информации в области 0,7–0,9 мкм, а красный канал цифровой камеры расположен в области 0,6–0,7 мкм. Тем не менее, подбирая цифровые камеры с необходимыми спектральными каналами, возможно получать достоверную информацию о состоянии сельскохозяйственных культур. Использование результатов расчета индекса Greenness в мониторинговых задачах оценки динамики характеристик позволяет получить пространственно-временные карты.

Наличие априорной информации о характеристиках почвы и метеорологической информации позволяет строить математические модели изменения состояния СХ культур (амплитуду и скорость роста в различные периоды вегетации). Наличие такой информации позволяет заранее прогнозировать возможный урожай, тип уборки урожая (учитывая время и территорию). Отметим, что периодичность съемки является важным параметром, определяющим точность прогноза и решения задач, контроля выполненных агротехнических работ, мониторинга уборки урожая и др.

Точное сельское хозяйство

Точное сельское хозяйство (ТСХ) начало свое существование в 1980-х годах с применения датчиков контроля состояния СХ земель и состояния воздуха. Развитие ТСХ проходило быстро, учитывая появление доступной аэрокосмической информации, доступных и миниатюрных датчиков и рост их надежности. Начиная с 1990-х гг. в область интересов ТСХ, помимо почвы, стали попадать растения. Управление качеством почвы требовало создания не отдельных точек, а сети приборов, данные которых регулярно собирались и обрабатывались. Начиная с 2000-х годов все большее внимание стало уделяться мониторингу с помощью наземных датчиков во взаимосвязи с аэрокосмической информацией. Точность и информативность спутниковых изображений стали больше, что позволило оценивать характеристики почвы и растений на высоком временном и пространственном разрешении. Однако появление большого количества данных привело к необходимости обеспечивать хранение данных и разрабатывать более совершенные методы и требования к обработке. Начиная с 2010 г. в практику ТСХ стали внедряться беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Информация мониторинга СХ полей

Большой объем данных, который собирается в измерениях при анализе территории СХ полей, дает более точную информацию после обработки и анализа, что приводит к улучшению качества и количества урожая, повышению производительности труда и минимизации вреда окружающей среде. Современные информационные технологии позволили перейти от рассмотрения пространственных данных к анализу пространственно-временных данных. Для обработки и анализа собираемых данных, необходимо разрабатывать соответствующие информационные системы (ИС), которые должны включать несколько этапов управления информацией, обработку и анализ данных, обеспечивать получение данных и их хранение, а также визуализацию в текстовом, табличном и графическом виде. Основой данных таких ИС являются спутниковые многоспектральные изображения, данные БПЛА (изображения и датчики), метеорологические и агрохимические данные. Датчики и цифровые камеры могут быть установлены на любых платформах, которые могут нести их, например: тракторы, комбайны, стационарное оборудование и др.

Элементы технического зрения (устройства и программное обеспечение), обладая невысокой стоимостью и высокой эффективностью (надежностью) начинают применяться сельскохозяйственными производителями. Получаемые изображения с борта БПЛА, подкрепленные сопутствующими данными (датчики, расположенные на полях, метеорология и агрохимия), являются необходимой и достаточной информацией для точного и своевременного принятия решений. Знание истории изменения данных, в привязке к конкретному полю позволяет с помощью использования различных математических подходов

к обработке и анализу поступающей информации получать прогноз состояния СХ растений в зависимости от природных факторов.

Самый простой вариант использования системы ТЗ связан с применением цветной цифровой камеры и набора алгоритмов обработки и анализа изображений. Методы обработки могут быть оптимизированы для определения и контроля определенного растения, в условиях изменения окружающей среды (например, освещения и метеорологических параметров). Возможно применение и сложных измерительных устройств, таких как гиперспектральные спектрометры и лазеры, что дает возможность получать новые виды параметров (например, высота растения) и более точное определение параметров состояния СХ растений.

Описание программной системы

Задача измерений является центральной, однако без правильно организованной обработки и предоставления пользователю информации решения могут быть неточными. Поэтому разработка соответствующего программного обеспечения является важной задачей при организации системы мониторинга СХ территорий. Разработка автоматизированных информационных систем (АИС) сбора информации с борта БПЛА, обработки, анализа и визуализации должна базироваться на современных программно-алгоритмических технологиях. В основе АИС должны использоваться ГИС, так как получаемая информация связана с распределенными участками СХ территории. На рис. 1 представлена структура разрабатываемой в коллективе программы, которая обеспечивает получение изображений с борта БПЛА, хранение, обработку, анализ и визуализацию.

Рис. 1. Структура программы обработки изображений БПЛА

Основные элементы программы связаны с обработкой получаемых изображений, к которой относится предварительная и тематическая. На стадии предварительной обработки происходит совмещение набора изображений, полученных в ходе полета

БПЛА, в одно целое и привязка его к географическим опорным точкам. После этого поле разбивается на сектора (размер сектора зависит от высоты полета БПЛА и требований пользователя), каждый из которых обрабатывается независимо. На этой стадии обработки, каждое изображение приводится к единой яркостной величине первого измеренного изображения с помощью подхода «серый мир».

На этапе тематической обработки происходит выделение растений на изображении и расчет разнообразных индексов. Подобные расчеты проводятся для каждой серии измерений для каждого из полей. Далее происходит анализ накопленной информации и определение вегетационного цикла растений для каждого растения или сектора (по выбору пользователя). Выделение растений на изображении позволяет избавиться от влияния фона, который может быть сложным. Для этого происходит расчет индексов, на основе RGB-каналов и анализ индексов позволяет однозначно отделить растения от фона. Анализ полученной информации связан с расчетом площади растения, определением формы и состояния растения по его цветовым характеристикам (например, наличие желтого, коричневого цвета) и величине индекса.

Вегетационные индексы

Вегетационные индексы позволяют в количественной мере оценить состояние растения на момент измерения из сравнения значений спектральных каналов RGB. Известно, что в сине-зеленой области спектра растения имеют низкую отражательную способность, которая значительно вырастает в красной и ближней инфракрасной области спектра. Соответственно, сравнивая значения каналов RGB в пикселях, соответствующих растению, можно детектировать состояние растения. Приведем несколько вегетационных индексов, которые рассчитываются на основе каналов RGB: GCC – Green Chromatic Coordinate, RCC – Red Chromatic Coordinate, BCC – Blue Chromatic Coordinate, ExG – Excess Green, ExR – Excess Red и NDI – Normalized Difference Index.

Вычисление индексов GCC, BCC и RCC проводится по формулам:

$$GCC = \text{Green} / (\text{Blue} + \text{Green} + \text{Red}), \quad (1)$$

$$BCC = \text{Blue} / (\text{Blue} + \text{Green} + \text{Red}), \quad (2)$$

$$RCC = \text{Red} / (\text{Blue} + \text{Green} + \text{Red}), \quad (3)$$

$$\text{ExG} = 2 \cdot \text{GCC} - \text{RCC} - \text{BCC}, \quad (4)$$

$$\text{ExR} = 1.4 \cdot \text{RCC} - \text{GCC}, \quad (5)$$

$$\text{NDI} = (\text{Red} - \text{Green}) / (\text{Red} + \text{Green}), \quad (6)$$

где Red, Blue, Green – значения каналов для каждого пикселя изображения.

Растения на изображении выделялись с помощью эмпирически подбираемых порогов, для каждого из индексов (1–6). Далее проводилось сравнение индексов и среди всех результатов выбирался индекс со средними характеристиками.

Полученные результаты

Для проверки работоспособности предлагаемых алгоритмов авторами был проведен модельный эксперимент, связанный с выращиванием растений в специально подготовленных комнатных условиях. Наблюдение за ростом растения (пшеница) прово-

дилось ежедневно в полдень в течение двух месяцев. За это время растение прошло все стадии своего вегетационного цикла от созревания, до увядания (рис. 2, а, в). Полученные ежедневные изображения были обработаны на разработанном программном обеспечении согласно структуре, приведенной на рис. 1. Программа разрабатывалась на языке программирования C# с применением библиотек технического зрения. Результаты обработки изображений, связанные с выделением растений, приведены на рис. 2, б, г. Из рис. 2, а–г видно, что растения хорошо выделяются на изображениях.

Для использования полученных результатов на практике сельского хозяйства нами выполнялись расчеты числа пикселей, соответствующих растению. Результаты расчетов для проведенного эксперимента приведены на рис. 3. Видно, что растение на стадии роста увеличивает площадь листьев, затем наступает насыщение (площадь листьев не меняется) и далее происходит увядание растения, при котором площадь листьев сокращается.

Рис. 2. Выделение растений на изображении в различные промежутки времени: а, в – исходные изображения и б, г – выделенные растения

Параллельно с расчетом числа пикселей, соответствующих растению, нами проводился учет одного из вегетационных индексов ExG (рис. 4). Из рисунка видно, что кривая вегетационного цикла имеет сложную структуру, которая связана с метеорологическими условиями (открытое окно, воздействие солнца и др.). Это говорит о чувствительности индексов к воздействию освещения и метеорологическим параметрам, что непосредственно может быть использовано на практике. Возможно проведение серии калибровочных тестовых измерений (получение изображений) с одновременной фиксацией различных метеорологических условий. На основе полученных измерений можно получить функции изменения вегетационных индексов в зависимости от различных условий роста растений.

Число пикселей

Рис. 3. Вегетационный цикл растения, определенный по числу пикселей, соответствующих растению

Рис. 4. Вегетационный цикл растения, определенный по индексу ExG

Данная работа выполняется в центре космического мониторинга Земли ТУСУРа, в рамках проекта РФФИ №16-05-00901 «Механизмы, закономерности и особенности формирования стратосферного и мезосферного аэрозоля над территорией Сибири и Дальнего Востока» и государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 8.8184.2017/8.9 «Методология создания систем энергогенерирующих и энергопреобразующих устройств для наземных и бортовых комплексов наземного, космического и подводного базирования».

Заключение

В статье кратко приведены исторические аспекты развития точного земледелия и появления в практике сельского хозяйства БПЛА. Показаны основные элементы технического зрения, необходимые для анализа состояния СХ растений. Говорится о том, что для верификации получаемых данных с борта БПЛА необходимо учитывать метеорологические условия и изменения освещенности солнечным светом. Приведена структура программного обеспечения, необходимая для полного решения поставлен-

ной задачи оценки состояния растений. Представлены результаты обработки данных измерений тестового выращивания растений в комнатных условиях. Показано, что предлагаемый подход, в основе которого лежит RGB-изображение, позволяет получить информацию о состоянии растения на всем временном отрезке вегетационного цикла. Предлагается возможным предложить данный подход для практического использования в реальных условиях сельскохозяйственных полей.

Литература

1. Тихонова А.В. Государственное регулирование основных факторов производства в АПК / А.В. Тихонова. – М.: ИНФРАМ, 2017. – 122 с.
2. Кочубей С.М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики / С.М. Кочубей, Н.И. Кобец, Т.М. Шадшина. – Киев: Наукова думка, 1990. – 136 с.
3. Антонов В.Н. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В.Н. Антонов, Л.А. Сладких // Геоматика. – 2009. – № 4. – С. 50–53.
4. Кондратьев К.Я. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности / К.Я. Кондратьев, П.П. Федченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
5. Войнов О.А. Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами. – К.: ИТГИП, 2005. – 392 с.
6. Катаев М.Ю. Возможности космического мониторинга для целей сельского хозяйства Томской области / М.Ю. Катаев, А.А. Скугарев, И.Б. Сорокин // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 186–190.
7. Анпилов В.Р. Рынок дистанционного зондирования Земли: индустрия и сервисы на рынке ДЗЗ. – М.: ВИСАТ-ТЕЛ. – 2015. – 58 с.
8. Долгирев А.В. Современные методы мониторинга сельскохозяйственных угодий / А.В. Долгирев, Е.Н. Калашникова // Инновационные технологии и технические средства для АПК. – Воронеж, 2015. – С. 83–88.
9. Антипов И.Т. Об использовании цифровых средне- и малоформатных камер для аэрофотосъемки / И.Т. Антипов, Е.А. Кобзева // Геодезия и картография. – 2013. – № 11. – С. 29–34.
10. Кравцова В.И. Возможности использования многозональных снимков в исследовании почвенного покрова / В.И. Кравцова, С.А. Николаева // Космическая съемка и тематическое картографирование. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – С. 148–154.
11. Пузаченко М.Ю. Многомерный анализ почвенного покрова на основе полевой и дистанционной информации // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. – М., 2012. – С. 252–269.
12. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.
13. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
14. Труфляк Е.В. Точное земледелие / Е.В. Труфляк, Е.И. Трубилин. – СПб.: Лань, 2017. – 376 с.
15. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 кн. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с., кн. 2. – 480 с.
16. Гарсия Г.Б. Обработка изображений с помощью OpenCV / Г.Б. Гарсия, О.Д. Суарес. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 210 с.
17. Ide R. Use of digital cameras for phenological observations / R. Ide, H. Oguma // Ecological Informatics. – 2010. – No. 5. – P. 339–347.
18. Woebbecke D.M. Color Indexes for Weed Identification under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions / D.M. Woebbecke, G.E. Meyer, K. Vonbargen, D.A. Mortensen // Trans. ASABE. – 1995. – Vol. 38. – P. 259–269.

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), профессор Юргинского технологического института, ф-ла Национального исследовательского Томского политехнического университета
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36, +7 (960) 975-27-85
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Ёлгин Кирилл Станиславович

Магистрант ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: kirill1996200922@yugs.ru

Сорокин Игорь Борисович

Д-р с.-х. наук, директор
ФГБУ «Станция агрохимической службы «Томская»
Беринга ул., д. 12а, г. Томск, Россия, 634063
Тел.: +7 (382-2) 90-49-45
Эл. почта: sastom@mail.ru

Kataev M.Yu., Elgin K.S., Sorokin I.B.

Computer vision methods for mapping the state of agricultural fields

Automated visual assessment of the state of the earth and plants, withering and damage by pests of leaves, plant growth indicators, using computer vision (CV), can be used as a basis in intelligent (accurate) agriculture (AC). This article discusses a brief review of the literature on the application of technical vision to analyze the state of agricultural fields and the plants growing on them. The introduction of CV systems into real production agricultural practice, for precision measurements, is associated with the development of complex mathematical approaches that must be resistant to various technical and weather changes. It is necessary to overcome image changes caused by atmospheric conditions and daily and seasonal variation of sunlight. An approach based on the RGB image obtained using a typical digital camera is proposed. The results of using CV systems in solving individual problems of AC.

Keywords: computer vision, mathematical methods, images, agriculture, image classification, unmanned aerial vehicle (UAV).

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-753-80

References

1. Tikhonova A.V. State regulation of the main factors of production in the agro-industrial sector: monograph. M., INFRAM, 2017, 122 p. (in Russ.).

2. Kochubey S.M., Kobets N.I., Shadshina T.M. *Spectral properties of plants as a basis for remote diagnostics methods*. Kiev. Naukova Dumka, 1990, 136 p. (in Russ.).
3. Antonov V.N., Sweet L.A. Monitoring sostoyaniya posevov i prognozirovanie urozhajnosti yarovoj pshenicy po dannym DZZ. *Geomatics*, 2009, № 4, pp. 50–53. (in Russ.).
4. Kondratyev K.Ya., Fedchenko P.P. *Spectral reflectivity and vegetation recognition*. L., Hydrometeoizdat. 1982, 216 p. (in Russ.).
5. Voinov O.A., Warriors O.A. *Monitoring of the state of agroecosystems by aerospace methods*. K. ITGIP, 2005, 392 p. (in Russ.).
6. Kataev M.Yu., Skugarev A.A., Sorokin I.B. *Vozmozhnosti kosmicheskogo monitoringa dlya celej sel'skogo hozjajstva Tomskoj oblasti* [перевод]. Proceedings of TUSUR University, 2017, vol. 20, no. 3, pp. 186–190 (in Russ.).
7. Anpilov V.R. *Earth remote sensing market: industry and services in the remote sensing market*. M., VISAT-TEL. 2015, 58 p. (in Russ.).
8. Dolgirev A.V., Kalashnikova E.N. *Sovremennye metody monitoringa sel'skohozyajstvennyh ugodij*, Voronezh, 2015, pp. 83–88 (in Russ.).
9. Antipov, I.T., Kobzeva E.A. Ob ispol'zovanii cifrovyyh sredne- i maloformatnyh kamer dlya aehrofotos"emki. *Geodesy and Cartography*, 2013, no. 11, pp. 29–34 (in Russ.).
10. Kravtsova V.I., Nikolayev S.A. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya mnogoazonal'nyh snimkov v issledovanii pochvennogo pokrova*. M., Publishing House of Moscow. un-that. 1979, pp. 148–154 (in Russ.).
11. Puzachenko M.Yu. *Mnogomernyj analiz pochvennogo pokrova na osnove polevoj i distancionnoj informacii*. M., 2012, pp. 252–269 (in Russ.).
12. Cherepanov A.S. *Vegetacionnye indeksy*. *Geomatics*, 2011, no. 2, pp. 98–102 (in Russ.).
13. Cherepanov A.S., Druzhinin E.G. *Spektral'nye svojstva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy*. *Geomatics*, 2009, No. 3, pp. 28–32 (in Russ.).
14. Truflyak E.V., Trubilin E.I. *Tochnoe zemledelie*. SPb, Lan publishing house, 2017, 376 p.
15. Pratt U. *Digital image processing*. In 2 books. M. Mir, 1982, t. 1, 312 p., t. 2, 480 p.
16. Garcia G.B., Suarez O.D. *Image processing using OpenCV*. – M.: DMK Press, 2016, 210 p.
17. Ide R., Oguma H. Ossee et al., H. Oguma *Ecological Informatics*. 2010, no. 5, pp. 339–347.
18. Woebbecke D.M., Meyer G.E., Vonbargen K., Mortensen D.A. *Soil, Residue, and Lighting Conditions*. Trans. ASABE, 1995, vol. 38, pp. 259–269.
-
- Kataev Mikhail Yurievich**
Doctor of Engineering, Professor
Department Automated Control Systems (ACS)
Tomsk State University of Control Systems
and Radio Electronics (TUSUR)
Professor at Yurga Technological Institute,
Branch of the national research Tomsk Polytechnic University
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85
Email: kmy@asu.tusur.ru
- Yolgin Kirill Stanislavovich**
Undergraduate Student
Department Automated Control Systems (ACS)
Tomsk State University of Control Systems
and Radio Electronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 70-15-36
Email: kirill1996200922@yugs.ru
- Sorokin Igor Borisovich**
Doctor of Agricultural Sciences,
Director of FSBI «Agrochemical Service Station», Tomsk
12a, Bering st., Tomsk, Russia, 634063
Phone: +7 (382-2) 90-49-45
Email: sastom@mail.ru