



ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ СМАРТФОНА ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ

✉ ^{1,2}Алейников А.Ф., ²Торопов В.И.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

²Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Описаны симптомы и биофизические процессы, протекающие в землянике садовой при поражении ее доминирующим видом болезни (до 80%), вызванной грибами-возбудителями. Показана неэффективность визуальной оценки степени поражения болезнями земляники по условной 5-балльной шкале или в процентном отношении по площади, пораженной грибами листовой пластины, с привлечением квалифицированных специалистов. Для создания средств диагностики, позволяющих заранее обнаружить грибные болезни земляники садовой, предложен один из методов компьютерного зрения путем подсчета пикселей изображения в пространстве цветовых каналов красного, зеленого и синего цвета (R, G, B). Данный метод дает возможность определять степень поражения грибными болезнями отдельного листа растения. Алгоритм включает захват изображения с помощью цифровой камеры путем фокусировки на листе растения, размещенном на подложке с равномерным фоном, обеспечивающим контрастное выделение объекта; преобразование цветного изображения в черно-белое; разделение изображения между областями с некротическими пятнами и здоровыми областями листа растения с помощью маскирования и удаления пикселей; подсчет количества пикселей в этих двух областях и расчет их соотношения. Приведены сведения о компьютерной программе определения степени поражения листа земляники садовой грибными болезнями. В качестве языка для разработки логической части информационной системы использован язык программирования Java (операционная система Android Studio 3.4.1). Для построения графического интерфейса использовано обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных модулей программного проекта LibGDX. Предлагаемый алгоритм реализован для персонального компьютера и может в виде программного приложения устанавливаться на смартфон, с помощью которого любой сельхозпроизводитель может осуществлять раннюю диагностику грибных болезней растений.

Ключевые слова: земляника садовая, диагностика, болезни, степень поражения, компьютерное зрение, смартфон

APP FOR SMARTPHONE FOR DETECTING FUNGUS DISEASES OF PLANT LEAVES

✉ ^{1,2}Aleynikov A.F., ²Toropov V.I.

¹Siberian Federal Research Centre of AgroBiotechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: fti2009@yandex.ru

²Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk

The symptoms and biophysical processes occurring in garden strawberry plants when they are affected by the dominant type of disease (up to 80%) caused by pathogenic fungi have been described. The ineffectiveness of the visual assessment of the degree of damage to strawberry diseases by a conventional 5-point scale or as a percentage of the leaf plate area affected by fungi, with the involvement of qualified specialists, has been shown. To create diagnostic tools that allow early detection of fungal diseases of garden strawberries, one of the methods of computer vision was proposed by counting image pixels in the space of color channels of red, green and blue (R, G, B), which makes it possible to determine the degree of fungal diseases affecting an individual plant leaf. The algorithm includes capturing an image with a digital camera by focusing on a plant leaf placed on a substrate with a uniform background providing a contrasting selection of the object; converting a color image to black and white; dividing the image between areas with necrotic spots and healthy areas of the plant leaf by masking and removing pixels; counting the number of pixels in these two areas and calculating their ratio. Information about a computer software for determining the degree of damage to a strawberry leaf by garden fungal diseases has been given. Java programming language (operating system Android Studio 3.4.1) was used as a language for the development of the logical part of the information system. In order to build a graphical interface, the software facilitating the development and integration of various modules of the LibGDX software project was used. The proposed algorithm is implemented for a personal computer and can be installed on a smartphone in the form of a software application, with the help of which any agricultural producer can carry out early diagnosis of fungal plant diseases.

Keywords: garden strawberry, diagnosis, diseases, degree of damage, computer vision, smartphone.

Благодарность

Работа поддержана бюджетным проектом СФНЦА РАН № 0533-2021-0007.

Acknowledgments

This work was supported by the budgetary project of SFSCA RAS No. 0533-2021-0007.

Для цитирования: Алейников А.Ф., Торопов В.И. Приложение для смартфона по обнаружению грибных болезней листьев растений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 2. С. 87–95. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-2-11>

For citation: Aleynikov A.F., Toropov V.I. App for smartphone for detecting fungus diseases of plant leaves. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 2. pp. 87–95. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-2-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Продукты из растительного сырья не только обеспечивают организм питательными веществами, но и содержат целый комплекс полезных минеральных веществ, витаминов, а также повышают устойчивость организма к различным заболеваниям, т.е. являются функциональными продуктами [1]. Земляника садовая питательна имеет обильный биохимический состав и обладает высокими вкусовыми качествами, ценными лечебными свойствами и привлекательным видом.

Однако землянику садовую поражают свыше 30 грибных, вирусных и бактериаль-

ных болезней. Большинство болезней (около 80%) вызываются грибами [2]. Болезни растений рассматриваются как производственные риски, поскольку их трудно обнаружить и идентифицировать заранее. Для сельхозпроизводителей важно выявлять болезни на ранней стадии, чтобы контролировать их распространение.

Наиболее ранними ответными реакциями клеток растений на действие возбудителей болезней и продуцируемых ими элиситоров (элиситоры – экзометаболиты возбудителя, которые связываются с рецептором организма-хозяина и запускают защитную реакцию) являются повышение в цитозоле содержания ионов кальция и протонов, изменение

параметров транспортной системы плазматической мембраны, включающей выпрямляющие селективные калиевые каналы, электрогенную водородную АТФазную помпу, кальций-проницаемые и неселективные катионные каналы, а также деполяризацию плазмалеммы и тонопласта [3]. Кроме того, элиситоры «включают» различные сигнальные системы клеток растений, что приводит к экспрессии защитных генов, синтезу соответствующих белков (антигенов), образованию фитоалексинов – вторичных метаболитов, никогда не присутствующих в здоровом растении, основная масса которых локализуется вокруг места поражения [3]. Фитоалексины приводят к замедлению синтеза ферментов грибного фитопатогена, замедлению его роста, а порой и его уничтожению. Синтез фитоалексинов берут на себя здоровые клетки, окружающие некроз. Именно в них эти вещества образуются, а затем направляются навстречу опасности – в некротизированные клетки, в которых находится паразит. Известно также, что при поражении возбудителями грибных болезней не происходит быстрой гибели хозяев, однако интенсивность фотосинтеза больных растений обычно значительно ниже нормы [4]. Это происходит в основном из-за нарушения структуры фотосинтетического аппарата клеток: резко уменьшаются число хлоропластов на единицу площади листа, объем хлоропластов, концентрация хлорофилла и соотношение хлорофиллов *a* и *b*.

Размер отдельного листа растения и его площадь – важные параметры, от которых зависит эффективность преобразования энергии видимого света (фотосинтеза) и поддержания водного баланса целого растения [1].

Реакцией растений на действие возбудителей грибных болезней является также образование на поверхности листьев растения специфических цветных некротических пятен и конфигурация их распределения [5]. Пятна возникают от нарушения деятельности хлоропластов и понижения содержания хлорофилла в листьях.

При разработке средства диагностики грибной болезни растения важно определить степень поражения этой болезнью конкретного листа выбранного образца земляники садовой. На практике степень поражения квалифицированные специалисты определяют органолептическим методом (по условной 5-балльной шкале или в процентном отношении по площади, пораженной грибами листовой пластины) [6]. Консультации с экспертами для выявления болезней растений обходятся дорого и требуют много времени. Определение степени поражения производителями в процессе вегетации земляники садовой субъективно, индивидуально и неоднозначно, так как проводится путем мысленного сличения цветных образцов некротических пятен с шаблонами из атласов [7].

Большинство методов диагностики болезней культурных растений требуют применения дорогостоящего громоздкого оборудования. Они инвазивны и длительны [1].

Цель исследований – обосновать эффективность применения экспресс-метода компьютерного зрения для определения степени поражения листьев растений и создать на его основе портативное устройство для контроля фитосанитарного состояния посевов культурных растений в их производстве.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Портативная электронная техника – неотъемлемый спутник жизни современных людей. Это объясняется многофункциональностью таких устройств. Например, все выпускаемые смартфоны наделены функциями телефона, карманного персонального компьютера, музыкального плеера и фотоаппарата. Смартфон способен заменить источник света, пульт управления для различной электротехники, строительный уровень, GPS-навигатор и др. Эволюция портативной электронной техники имеет высокие темпы и развивается путем создания специальных программных приложений для потребностей людей в различных областях их деятельности.

Перспективное направление – использование смартфонов в качестве средств измерений и диагностики. В настоящее время в мире разрабатывают и уже используют смартфоны в качестве «диагностического центра» индивидуального здоровья путем его превращения в тонометр, термометр, глюкометр, электрокардиограф и в другие медицинские приборы и устройства. Например, благодаря развитию инновационных цифровых технологий и искусственного интеллекта смартфоны нашли широкое применение в традиционной диагностике заболеваний человека [8]. Прибор в реальном времени через приложение, которое установлено на смартфоне человека, ухаживающего за пациентом, передает данные о его здоровье: частоте сердцебиения и параметрах дыхания, уровне стресса и циклах сна и др.

Для реализации диагностики болезней растений в виде приложения к смартфону перспективны методы компьютерного зрения путем подсчета пикселей изображения в пространстве цветовых каналов красного, зеленого и синего цвета (R, G, B) [9–14]. Обычно используемым индикатором состояния растений является цвет листьев, который связан с содержанием в них хлорофилла.

Разработка алгоритма программы определения степени поражения листьев растения болезнями в виде приложений к смартфону основана на следующих методических аспектах.

Получение изображения – первый шаг для любой системы зрения до проведения процедуры анализа изображения. Цифровая камера смартфона используется для захвата изображений с требуемым разрешением. Для улучшения качества изображения необходимо поддерживать равный угол и освещенность. При приближении к листу камера фокусируется на листе, который располагают на подложке с равномерным белым или черным фоном, чтобы получить контрастный образ пораженного листа растения.

Цель предварительной обработки изображения состоит в гарантии следующего

условия: извлечение информативных параметров не влияет на фон, размер и форму листа, интенсивность источника света и характеристики камеры для диагностики болезни растения [15]. Предварительную обработку изображений также используют для выделения определенных функций и выявления деталей на изображении. При этом применяют различные методы, такие как фильтрация изображений, изменение размера, сегментация, морфологические и другие операции¹. Кроме того, захваченные изображения могут содержать некоторый шум. Удаление шума выполняется до анализа изображения с использованием фильтров верхних и нижних частот, медианных и линейных и др. Изображение также может быть улучшено, чтобы различать объект и фон. После захвата изображение преобразуется в пространственное представление другого цвета, если это требуется для дальнейшего анализа. В некоторых случаях для выявления болезней на листьях растений необходимо маскирование и удаление пикселей. Маскировка – это установка значения пикселя в изображении на какое-либо другое фоновое значение или на ноль. На этом этапе необходимо идентифицировать сильно окрашенные пиксели. Например, при идентификации болезни зеленые пиксели обозначают здоровую область листа. В связи с этим предпочтительно удалять зеленые пиксели и сохранять пиксели с зараженной части исследуемого пространства. Маскирование выполняется на основе заданного порогового значения. Красному, зеленому и синему компоненту пикселя присваивается нулевое значение, если зеленый компонент интенсивности пикселей меньше предварительно рассчитанного порогового значения. Маскирование значительно сокращает время обработки, поскольку сегментация заболевания получается путем присвоения нулевого значения части, не относящейся к болезням, и значения «1» для пораженной грибом-возбудителем болезни части листа.

Сегментация изображения – это разделение изображения на объект и область или

¹Tichkule S.K., Gawali D.H. Plant diseases detection using image processing techniques // Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET). 2016. DOI: 10.1109/get.2016.7916653.

фон. При идентификации заболевания она используется для разделения изображения между областями с некротическими пятнами и здоровыми областями в листьях [16]. В некоторых случаях зараженная часть после того, как она была извлечена, сегментируется на несколько пятен одинакового размера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Алгоритм реализации предложенного метода компьютерного зрения первоначально реализован на персональном компьютере с использованием ранее полученных цветных изображений листьев земляники садовой (см. рис. 1).

Это обусловлено необходимостью тщательной отработки алгоритма программы, поскольку дисплей компьютера имеет более высокое разрешение и большую площадь отображения окна программы, чем дисплей смартфона. Кроме того, при анализе доста-

точного количества изображений с помощью создаваемой программы появится возможность выявления неточностей ее операций и корректировки или модификации программы по полученным данным с использованием опыта экспериментатора.

В качестве языка для разработки логической части информационной системы использован язык программирования Java (операционная система Android Studio 3.4.1). Для построения графического интерфейса использовали обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных модулей программного проекта LibGDX. Проект LibGDX – кроссплатформенный фреймворк для разработки игр и визуализации, основанный на языке программирования Java с некоторыми компонентами, написанными на C и C++ для повышения производительности определенного кода. В настоящее время поддерживает Windows, Linux, Mac OS X, Android, iOS и HTML5 как целевые платформы².

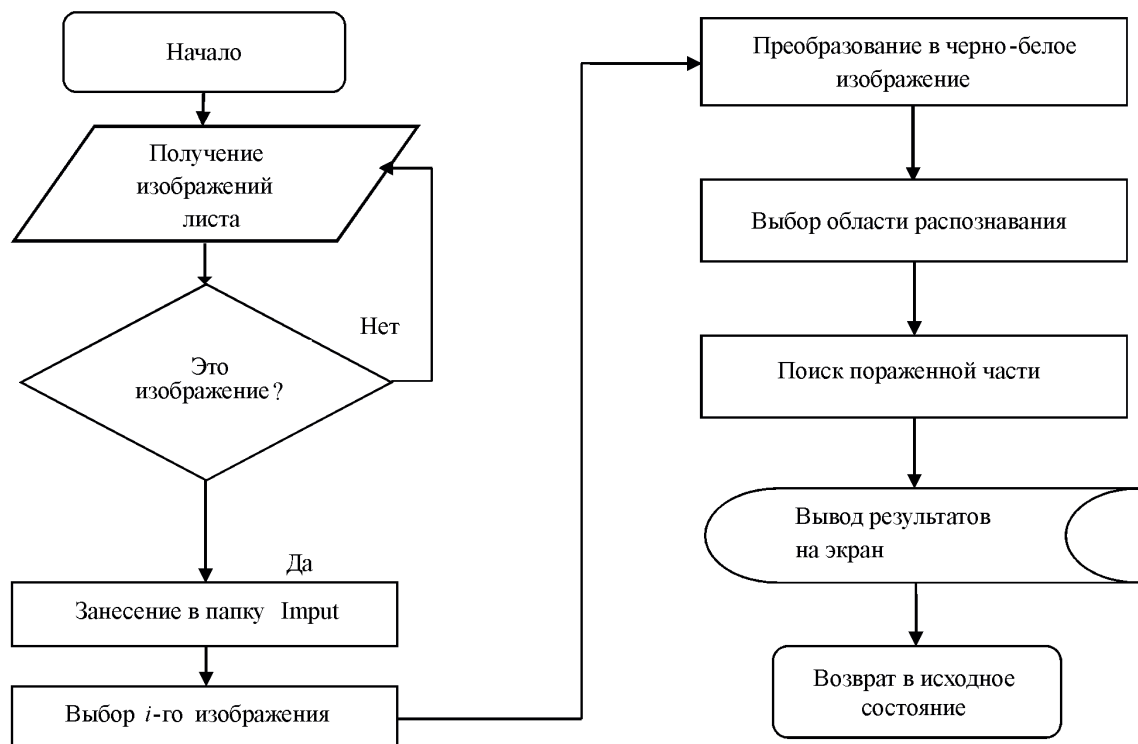


Рис. 1. Алгоритм программы определения степени поражения листа земляники садовой

Fig. 1. Algorithm of the program for determining the degree of damage to the leaf of garden strawberry

²libGDX – кроссплатформенный фреймворк для разработки игр и визуализации // On-line руководство разработчика URL: <http://www.libgdx.ru/p/guide.html> (дата обращения 10.02.2021).

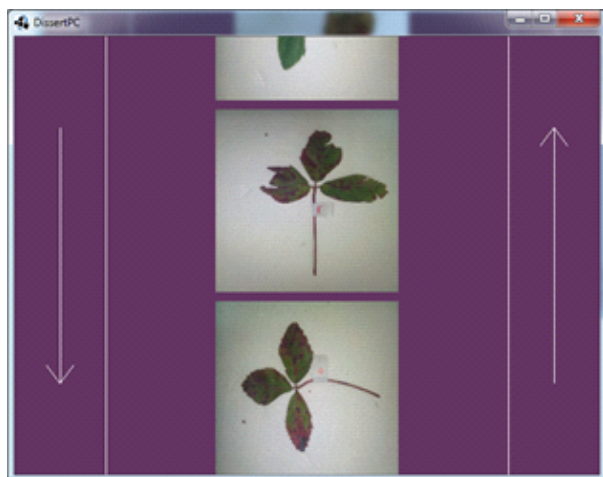


Рис. 2. Выбор изображения для распознавания
Fig. 2. Selecting an image for recognition

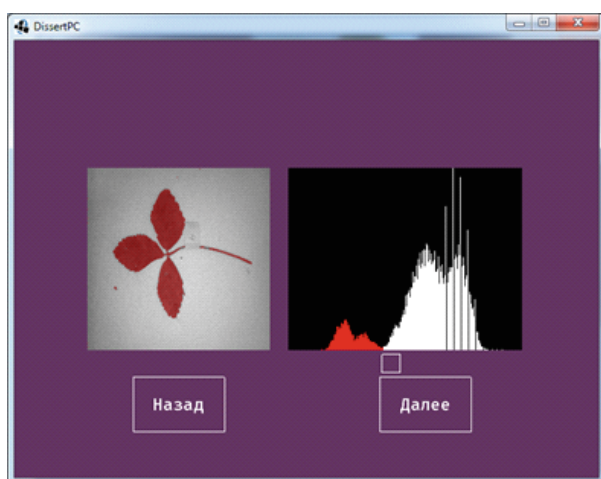


Рис. 3. Пример выбора распознаваемой области
Fig. 3. An example of recognized area selection

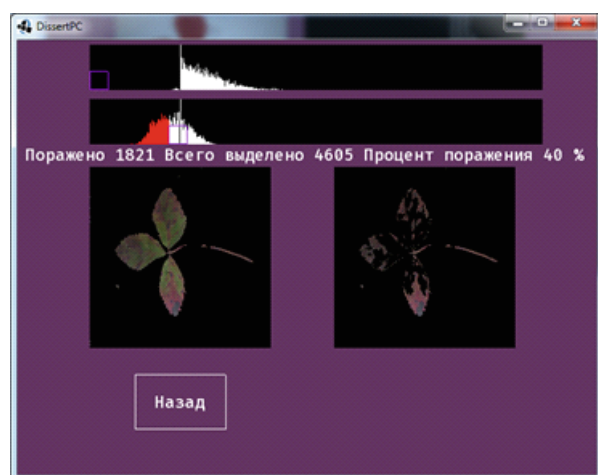


Рис. 4. Пример вывода результата обнаружения пораженной болезнями области растения
Fig. 4. An example of the result output of detecting a diseased plant area

С помощью фотокамеры формируется цветное изображение листа растения. Далее полученное изображение копируют в папку Input. Выбор изображения из папки осуществляют с помощью вертикальных ползунков клика мышью (см. рис. 2).

Затем изображение приводится к базовому формату в пикселях, чтобы оно полностью разместилось на экран программы LibGDX.

Далее происходит процесс преобразования цветного изображения в черно-белое. Преобразование изображения сегментируют путем анализа распределения интенсивности черно-белого цвета на гистограмме, чтобы соответствовать требованиям набора данных о болезнях растений. Гистограмма представляет собой график с яркостью, размещенной на оси абсцисс x с максимальным размером в 256 пикселей. На оси ординат y отложена последовательность пикселей от 1 до 200 с соответствующим уровнем яркости.

Как только изображение сегментировано, извлеченную область обрабатывают для удаления пиксельных областей, в которых преобладает зеленый цвет, т.е. места, где лист считается однозначно здоровым.

После этого с помощью ползунка под графиком выделяют пиксели нужной яркости от 0 до 255, где 0 – черный цвет, 255 – абсолютно белый. На этом этапе выделяют пиксели площади листа растения без фона (см. рис. 3).

Затем определяется степень поражения растения (см. рис. 4). Эту процедуру выполняют путем анализа каждого пикселя сравнением его цветовых сигнатур, например сравнение красного цвета с зеленым, синего с зеленым.

Для более точной оценки созданы две гистограммы-графика с осью абсцисс x от 1 в 500 пикселей и с осью ординат y для отображения на них по вертикали соотношения пикселей красный/зеленый и синий/зеленый, которые отвечают за удаление пиксельных областей, в которых преобладал красный или синий цвет (см. рис. 4).

При движении ползунка вправо по оси x количество пикселей на экране уменьшается

пропорционально пику на гистограмме (на рис. 4 справа отображена уже отфильтрованная часть).

Приведем пример расчета пика на гистограмме. Возьмем пиксель со следующими значениями: красный = 70, зеленый = 50, синий = 60. Этот пиксель добавится в элемент массива пика (красный/зеленый), равный $(70/50) \times 100 = 140$, и пик с координатами по оси абсцисс x , равный 140, станет выше на единицу.

На гистограммах значений элементов массива пикселей есть пики. Чем выше пик на гистограмме, тем больше он имеет пикселей с данным соотношением. Таким образом, мы уменьшаем количество пикселей, близких к зеленым и, следовательно, находим пораженные болезнью области. Затем удаляем пиксели, где значение зеленого больше, чем значение красного и синего цвета. Эти сомнительные пиксели со значениями в массиве от 0 до 499 под гистограммой удаляют ползунком. После удаления сомнительных пикселей высчитывают пораженную часть и выводят на экран.

Введение описанных выше операций с использованием двух гистограмм и ползунков позволит осуществлять раннюю диагностику болезней, когда ее симптомы еще мало заметны для наблюдателя.

Приведенный алгоритм и программное обеспечение представлены в виде базового блока, который будет совершенствоваться в процессе дальнейших исследований и экспериментальных работ.

При испытании базового блока программы в полевых условиях появится возможность учета наблюдений и пожеланий экспертов по защите растений, агрономов, производителей и других специалистов по выращиванию конкретных сельскохозяйственных культур и его дальнейшей корректировки и трансформации. Например, в связи со значимостью такого признака растений, как площадь, в фотосинтетическом

процессе и регулировании водного баланса возникает необходимость определения ее размеров.

В дальнейшем необходимо решать и другие более сложные задачи, например определение доминирующей грибной болезни растения³, задачи классификации болезней [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разновидности метода компьютерного зрения, осуществляющего подсчет пикселей изображения в пространстве цветовых каналов красного, зеленого и синего цвета (R, G, B), разработан алгоритм и программный продукт для автоматизированного определения степени поражения грибными болезнями листьев земляники садовой, более точный, чем распространенный органолептический визуальный экспертный метод.

Алгоритм и программное обеспечение представлены в виде базового блока, который может дополняться и совершенствоваться в процессе экспериментальных работ и решать смежные задачи по определению хозяйственно важных признаков растений.

Результаты исследования позволили создать программное приложение, которое может быть установлено на личный смартфон любого специалиста сельского хозяйства. Данное приложение будет полезно при обнаружении на ранней стадии развития грибных болезней различных сельскохозяйственных культур, а также при мониторинге фитосанитарного состояния посевов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Díaz S., Kattge J., Cornelissen J.H.C., Wright I.J., Lavorel S., Dray S., Gorné L.D.* The global spectrum of plant form and function // *Nature*. 2016. Vol. 529. P. 167–171. DOI: 10.1038/nature16489.
2. *Алейников А.Ф.* Метод неинвазивного определения грибных болезней земляники са-

³*Kumar S., Raghavendra B.K.* Diseases Detection of Various Plant Leaf Using Image Processing Techniques: A Review // 5-th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS). 2019. P. 313–316. DOI: 10.1109/ICACCS.2019.8728325.

- довой // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 3. С. 71–83. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-105.
3. Zhang Y., Yang X., Liu Q., Qiu D., Zhang Y., Zeng H., Yuan J., Mao J. Purification of novel protein elicitor from *Botrytis cinerea* that induces disease resistance and drought tolerance in plants // *Microbiological Research*. 2010. Vol. 165. N 2. P. 142–151. DOI: 10.1016/j.micres.2009.03.004.
 4. Алейников А.Ф., Минеев В.В. Изменение флуоресценции хлорофилла земляники садовой при воздействии гриба *Ramularia tulasnei* Sacc // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 2. С. 94–102. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-12.
 5. Schrader J., Pillar G., Kreft H. Leaf-IT: An Android application for measuring leaf area // *Ecology and Evolution*. 2017. Vol. 7 (22). P. 9731–9738. DOI: 10.1002/ece3.3485.
 6. Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н. Грибные болезни земляники и клубники: монография. М.: Проспект, 2016. 142 с.
 7. Хохряков М.К., Доброзракова Т.Л., Степанов К.М., Летова М.Ф. Определитель болезней растений: монография; 3-е изд., испр. СПб.: Лань, 2003. 592 с.
 8. Kanchi S., Sabela M.I. Bissetty Smartphone based bioanalytical and diagnosis applications: A review // *Biosensors and Bioelectronics*. 2018. Vol. 102. P. 136–149. DOI: 10.1016/j.bios.2017.11.021.
 9. Annamalai P., Lee W.S., Burks T. Color vision system for estimating citrus yield in real-time // An ASAE/CSAE Meeting Presentation. 2004. P. 43–54. DOI: 10.13031/2013.16714.
 10. Camargo A., Smith J.S. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms // *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 102. N 1. P. 9–21. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.09.030.
 11. Gong A., Wu X., Qiu Z., He Y. A handheld device for leaf area measurement // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013. Vol. 98. P. 74–80. DOI: 10.1016/j.compag.2013.07.013.
 12. Li Z., Paul R., Tis B.T., Saville A.C., Hansel J.C., Yu T., Ristaino J.B., Wei Q. Non-invasive plant disease diagnostics enabled by smartphone-based fingerprinting of leaf volatiles // *Nature Plants*. 2019. Vol. 5 (8). P. 856–866. DOI: 10.1038/s41477-019-0476-y.
 13. Padhye P., Rajani K. Machine vision guided system for classification and detection of plant diseases using support vector machine // *International Journal of Computational Science and Engineering*. 2014. Vol. 5. P. 249–254.
 14. Raut S., Fulsunge A. Plant Disease Detection in Image Processing Using MATLAB // *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2017. Vol. 6 (6). P. 73–103. DOI: 10.15680/IJIRSET.2017.0606034.
 15. Patil J.K., Kumar R. Advances in image processing for detection of plant diseases // *Journal of Advanced Bioinformatics Applications and Research*. 2011. Vol. 2. P. 135–141.
 16. Renugambal K., Senthilraja B. Application of image processing techniques in plant disease recognition // *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2015. Vol. 4 (3). P. 919–923.
 17. Khan M.A. Detection and Classification of Plant Diseases Using Image Processing and Multiclass Support Vector Machine // *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*. 2020. Vol. 68 (4). P. 5–11. DOI: 10.14445/22312803/IJCTT-V68I4P102.

REFERECCES

1. Díaz S., Kattge J., Cornelissen J.H.C., Wright I.J., Lavorel S., Dray S., Gorné L.D. The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 2016, vol. 529, pp. 167–171. DOI: 10.1038/nature16489.
2. Aleynikov A.F. Method of non-invasive determination of fungal diseases of common garden strawberry. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no 3, pp. 71–83. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-105.
3. Zhang Y., Yang X., Liu Q., Qiu D., Zhang Y., Zeng H., Yuan J., Mao J. Purification of novel protein elicitor from *Botrytis cinerea* that induces disease resistance and drought tolerance in plants. *Microbiological Research*, 2010, vol. 165, no. 2, pp. 142–151. DOI: 10.1016/j.micres.2009.03.004.
4. Aleynikov A.F., Mineev V.V. Effect of the fungus *Ramularia tulasnei* Sacc on chlorophyll fluorescence in garden strawberry. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no 2,

- pp. 94–102. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-12.
5. Schrader J., Pillar G., Kreft H. Leaf-IT: An Android application for measuring leaf area. *Ecology and Evolution*, 2017, vol. 7 (22), pp. 9731–9738. DOI: 10.1002/ece3.3485.
 6. Govorova G.F., Govorov D.N. *Fungal diseases of strawberries*. Moscow, Prospekt Publ., 2016, 142 p. (In Russian).
 7. Hohryakov M.K., Dobrozrakova T.L., Stepanov K.M., Letova M.F. *List of plant diseases*. St. Petersburg, Lan' Publ., 2003, 592 p. (In Russian).
 8. Kanchi S., Sabela M.I. Bisetty Smartphone based bioanalytical and diagnosis applications: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 2018, vol. 102, pp. 136–149. DOI: 10.1016/j.bios.2017.11.021.
 9. Annamalai P., Lee W.S., Burks T. Color vision system for estimating citrus yield in real-time. *An ASAE/CSAE Meeting Presentation*, 2004, pp. 43–54. DOI: 10.13031/2013.16714.
 10. Camargo A., Smith J.S. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. *Biosystems Engineering*, 2009, vol. 102, no. 1, pp. 9–21. DOI: org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.030.
 11. Gong A., Wu X., Qiu Z., He Y. A handheld device for leaf area measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, vol. 98, pp. 74–80. DOI: 10.1016/j.compag.2013.07.013.
 12. Li Z., Paul R., Tis B.T., Saville A.C., Hansel J.C., Yu T., Ristaino J.B., Wei Q. Non-invasive plant disease diagnostics enabled by smartphone-based fingerprinting of leaf volatiles. *Nature Plants*, 2019, vol. 5 (8), pp. 856–866. DOI: 10.1038/s41477-019-0476-y.
 13. Padhye P., Rajani K. Machine vision guided system for classification and detection of plant diseases using support vector machine. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 2014, vol. 5, pp. 249–254.
 14. Raut S., Fulsunge A. Plant Disease Detection in Image Processing Using MATLAB. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2017, vol. 6 (6), pp. 73–103. DOI: 10.15680/IJIR-SET.2017.0606034.
 15. Patil J.K., Kumar R. Advances in image processing for detection of plant diseases. *Journal of Advanced Bioinformatics Applications and Research*, 2011, vol. 2, pp. 135–141.
 16. Renugambal K., Senthilraja B. Application of image processing techniques in plant disease recognition. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2015, vol. 4 (3), pp. 919–923.
 17. Khan M.A. Detection and Classification of Plant Diseases Using Image Processing and Multiclass Support Vector Machine. *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, 2020, vol. 68 (4), pp. 5–11. DOI: 10.14445/22312803/IJCTT-V68I4P102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Алейников А.Ф.**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник:
адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: fti2009@yandex.ru

Торопов В.И., магистрант

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexander F. Aleynikov**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: fti2009@yandex.ru

Viktor I. Toropov, Master's degree student

Дата поступления статьи / Received by the editors 11.02.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 29.03.2021
Дата публикации / Published 25.05.2021