

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ПО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В.В. Подлипов^{1,2}, В.Н. Щедрин³, А.Н. Бабичев³, С.М. Васильев³, В.А. Бланк^{1,2}

¹ ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 151,

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, д. 34,

³ Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Россия

Аннотация

Анализируется возможность определения влажности на основе использования спектральных распределений в диапазоне длин волн до 1 мкм. Рассматривается использование изображающих гиперспектрометров для точного земледелия. Описывается полевой эксперимент по определению индекса влажности почвы, покрытой растительностью. Описывается процедура точной калибровки гиперспектрометра на основе использования перестраиваемого лазера. Показана возможность практического определения влажности на основе использования спектров в диапазоне длин волн до 1 мкм.

Ключевые слова: обработка изображений, гистограмма распределений, дистанционное зондирование, NDVI, индекс влажности, изображающий гиперспектрометр, схема Оффнера, гиперспектральные изображения.

Цитирование: Подлипов, В.В. Экспериментальное определение влажности почвы по гиперспектральным изображениям / В.В. Подлипов, В.Н. Щедрин, А.Н. Бабичев, С.М. Васильев, В.А. Бланк // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 5. – С. 877-884. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-877-884.

Введение

Во второй половине 90-х годов в России началось уменьшение количества орошаемых и осушаемых земель. К концу 90-х годов в стране полностью прекратился выпуск дождевальной техники (Кубань, Фрегат, Волжанка, ДДА-100МА). Прекратились работы по совершенствованию как самой дождевальной техники, так и технологий её использования.

После этого аграрии России перешли к закупкам зарубежной дождевальной техники различных фирм. Вместе с дождевальной техникой стали закупать и технологии её применения. Однако зарубежные технологии орошения часто не соответствовали климатическим условиям России, поскольку в США и других европейских странах естественная влажность отличалась от орошаемых зон России.

Это привело в ряде случаев к неэффективному использованию приобретённой оросительной техники. При этом надо иметь в виду, что используемые технологии орошения в основном представлены в виде «чёрного ящика», корректировку и привязку к конкретным зональным условиям практически невозможно производить.

Вновь, как в 60-е годы, стали проблемы разработки российской дождевальной техники, базирующейся и учитывающей региональные природно-климатические условия.

При всех положительных технических характеристиках импортных дождевальных машин (далее – ДМ) необходимо отметить их недостаток – невыравненность влажности почвы после полива и большая её «пестрота» по сегментам поля. При последующих поливах разница во влажности почвы будет возрастать, и это, естественно, отражается на условиях роста и развития растений, а разница в величине урожайности по полю изменяется на 25–30% от средних показателей. Следовательно, необходима технология по-

лива, позволяющая в режиме реального времени определять влагу согласно карте влажности.

В настоящее время существует технология определения относительной влажности земной поверхности по анализу гиперспектральных изображений в так называемом SWIR-диапазоне [1–10]. Причём гиперспектральные методы мониторинга растительности работают как на сельскохозяйственных землях [2–6], так и при мониторинге лесной растительности [7–9], в том числе при оценке пожарной опасности состояния лесов [7].

Однако следует заметить, что в описываемых в литературе методах есть существенные недостатки. Во-первых, съёмка осуществляется со спутника, следовательно, невозможно оперативное получение информации. Во-вторых, абсолютное большинство публикаций по данной теме опираются на анализ спектров ИК-диапазона с длиной волны от 1,4 мкм до 3 мкм в английских публикациях (*Short-wavelength infrared, SWIR*) [10, 11], а светочувствительные матрицы SWIR-диапазона – очень дорогостоящие изделия.

Оперативность можно обеспечить, только используя гиперспектральную аппаратуру в непосредственной близости от области интереса, например, установив её на поливальную машину, но при этом крайне нежелательно использовать матрицу SWIR-диапазона, поскольку её стоимость будет сопоставима со стоимостью всей машины. В настоящей работе рассматривается метод измерения относительной влажности почвы по гиперспектральным изображениям, снятым в диапазоне от 0,4 до 1 мкм, для организации системы дифференцированного полива, с помощью гиперспектрометра оффнеровского типа [12, 13].

Дождевальная машина

Исследования ФГБНУ «РосНИИПМ» последних лет показали, что технологии орошения даже современными ДМ не всегда соответствуют агрономиче-

ским требованиям возделывания сельскохозяйственных культур и экологическим требованиям для обеспечения сохранения плодородия почвы. Так равномерность распределения слоя дождя по всей длине ДМ регулируется подбором дождевателей с индивидуальным фиксированным расходом воды, однако на практике они не обеспечивают необходимой равномерности увлажнения почвы как на круговых, так и на фронтальных ДМ. При этом наблюдается большая пестрота влажности почвы. На микроучастках (сегментах) площадью 0,2–0,5 га и более одного и того же поля из-за микрорельефа поверхности почвы, условий обработки почвы, состояния растений и сноса осадков ветром при поливе и других причин неоднородность увлажнения почвы достигает больших величин, что приводит к недобору урожая из-за несоблюдения рекомендованного режима орошения: недолив в одних местах и переполив в других, листья скручиваются и края листьев высыхают.

Растения картофеля получают стресс как от недостатка воды, так и от переувлажнения. Поэтому остро встал вопрос о необходимости разработки ДМ нового поколения, способного в автоматическом режиме регулировать распределение воды по полю и выравнивать влажность почвы на орошаемом участке при каждом поливе так же, например, как вносятся дозированно удобрения при использовании элементов точного земледелия.

Существующие на сегодняшний день импортные дождевальные машины и системы управления дождём регулируют равномерность распределения воды по всей длине машины, но не учитывают фактическую влажность почвы перед поливами на микроучастках с различным микрорельефом, поэтому часто наблюдается волнообразное развитие растений на поле, связанное с фактически неравномерным распределением воды по поверхности.

Для устранения этого негатива РосНИИПМ совместно с АО РКЦ «Прогресс», а также с Институтом систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллографии и фотоники» РАН и Самарским национальным исследовательским университетом им. академика С.П. Королева разрабатывают дождевальную машину (Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения, заявка на патент 2016104019/13 (006384), получено положительное решение), которая будет включать в себя приборное и программное обеспечение, способное регулировать и выравнивать влажность почвы по всему полю за счёт дождевателей, способных изменять расход и направление подачи воды [14–17].

Функциональная схема дождевальной машины нового поколения с возможностями прецизионного орошения приведена на рис. 1 (вид сбоку). Она состоит из следующих элементов: 1 – ферма ДМ; 2 – напорный трубопровод ДМ; 3 – тележки ДМ; 4 – колеса на тележке ДМ; 5 – камера приема отраженного излучения электромагнитных волн от поверхности почвы и растений перед движущейся машиной

из космоса, малой авиации или на ДМ; 6 – поверхность почвы с растениями; 7 – блок анализа принятой информации от камер; 8 – линия связи (проводной или беспроводной камеры с блоком управления ДМ); 9 – блок управления принятием решения; 10 – линии связи для подачи сигнала от блока управления на дождеватели; 11 – дождеватели с регулируемой нормой полива и направления струи; 12 – устройство для управления расходом воды на каждом дождевателе (встроенной в дождеватель или приставка к дождевателю); 13 – устройство для изменения направления полета струи на каждом дождевателе; 14 – недоувлажненный (недополивный) микроучасток поля в прошлый полив; 15 – переувлажненный (переполивный) микроучасток поля в прошлый полив; 16 – устройство для регулирования дозы подачи удобрений или пестицидов в дождеватель; 17 – емкость для жидких удобрений или пестицидов; 18 – трубопровод для подачи удобрений или пестицида из емкости к каждому дождевателю; 19 – факел распыления воды из дождевателя на поверхность почвы.

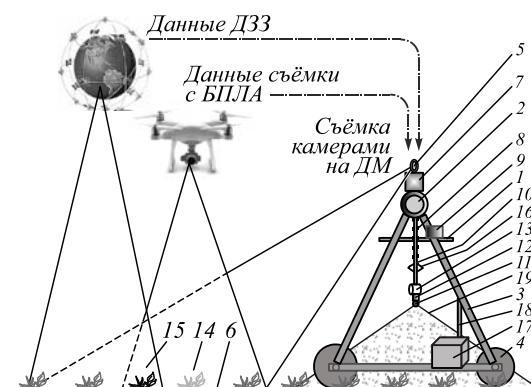


Рис. 1. Функциональная схема работы дождевальной машины нового поколения (вид сбоку)

Для определения адекватности предлагаемой концепции дождевальной машины, оснащённой системой сбора гиперспектральных данных, проводился эксперимент в ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» Октябрьского района Ростовской области на посевах лука репчатого и посадках картофеля. Измерения проводили до полива при влажности почвы 80% НВ (80% наименьшей влагоёмкости) в слое 0,4 м и непосредственно после полива. Почвенный покров однороден и представлен лугово-чернозёмными почвами.

Для определения относительной влажности участков, покрытых растительностью, была использована гиперспектральная камера на основе схемы Оффнера [2].

Учитывая индивидуальные особенности растений в разных областях поверхности Земли, на разных почвах и в разных климатических условиях, совершенно ясно, что никаких абсолютно точных показателей для определения влажности получить нельзя. Основная цель проводимых экспериментов – разработка метода, который позволил бы отделять политые участки зелёной растительности от неполитых в условиях одного поля (влажность почвы 80% НВ).

Камера для полевого инструмента была установлена на штатив с возможностью регулировки высоты установки и угла наклона, а также с возможностью установить угловую скорость вращения камеры (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид гиперспектрометра на вращающейся установке для полевых исследований

В ходе эксперимента осуществлялась съёмка гиперспектральных изображений на местности с использованием вращающейся платформы на штативе с постоянной скоростью. В экспериментах рассматривались участки поля площадью по 40 м², на которых в 10–15 точках осуществлялось измерение относительной влажности. Данные измерения в определённой степени моделируют условия съёмки специализированной аппаратурой, которую предлагается устанавливать на дождевальную машину нового поколения кругового действия. На рис. 3 приведён пример одного из слоёв снятого гиперкуба. Это развертка кольца с внешним радиусом 5 м и внутренним радиусом 1 м с правильными пропорциями по обеим координатам.

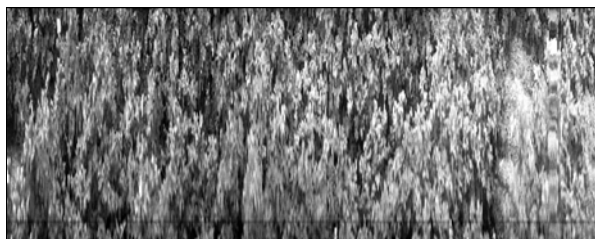


Рис. 3. Слой гиперкуба на длине волны 530 нм

С помощью специализированной программы происходила сборка гиперспектрального изображения местности (получение гиперкубов). Щель гиперспектрометра захватывает вертикальную полосу на объекте. Далее с определённой задержкой осуществляется захват кадра с камеры гиперспектрометра и сохране-

ние его в ПЗУ компьютера. В случае, если возникает ошибка получения кадра с буфера камеры (превышение таймаута или неполное заполнение буфера), осуществляется повторный запрос кадра из буфера камеры. В итоге в ПЗУ компьютера сохраняется набор кадров, полученных от гиперспектрометра. Каждый кадр содержит спектральную развертку одного столбца гиперспектрального изображения. Таким образом, разные столбцы содержатся в различных кадрах.

На рис. 4 представлен вид спектрального распределения для одного положения гиперспектрометра.



Рис. 4. Вид спектрального распределения, зарегистрированного на светочувствительной матрице, для одного положения гиперспектрометра

При формировании гиперспектрального изображения используется только часть кадра, как показано на рис. 4, описываемая некоторой зоной интереса (пунктирные линии).

Для сборки проводилась предварительная калибровка зоны интереса на изображениях. Полученное изображение показывает круговую развертку охватываемого при съёмке пространства. Каждому слою гиперкуба соответствует определённый спектральный канал, т.е. столбец на рис. 5.

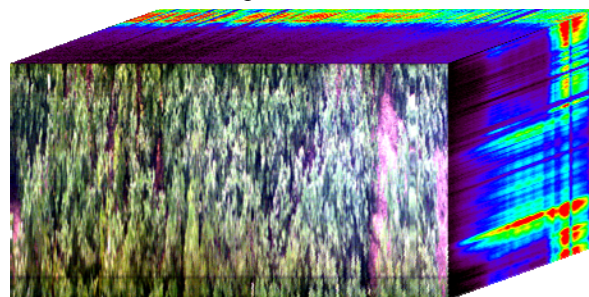


Рис. 5. Схематическое изображение гиперкуба

Для того чтобы поставить в соответствие каждому спектральному каналу определённую длину волны, проводилась калибровка гиперспектрометра с использованием перестраиваемого лазера NT 242, который позволяет менять длину волны выходящего лазерного пучка с шагом 1 нм. На рис. 6 представлена схема установки для калибровки гиперспектрометра.

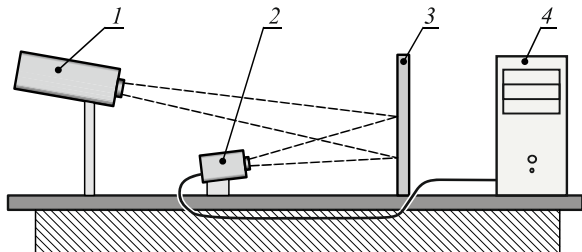


Рис. 6. Схема расположения оборудования для проведения эксперимента внутри помещения: 1 – гиперспектрометр по схеме Оффнера; 2 – перестраиваемый лазер NT 242; 3 – экран; 4 – компьютер

Затем формировался калибровочный файл, в котором точно указывается соответствие между номером столбца на матрице и длиной волны. Привести полностью этот файл не представляется возможным, т.к. в спектральном распределении более 200 каналов. В табл. 1 приведена часть этого файла, которая хорошо показывает линейность связи между номером пикселя и длиной волны.

Полученный калибровочный файл использовался при формировании гиперкубов. На рис. 7 представлен вид усреднённых спектров для различных сельскохо-

зяйственных культур, полученных по результатам съёмки нескольких участков.

Табл. 1. Калибровка положения спектральных каналов на светочувствительной матрице

Длина волны лазера	Номер столбца на матрице	Шаг на 1 нм (пиксели изображения)
420	3	–
440	11	0,4
460	20	0,45
480	29	0,45
500	38	0,45
520	47	0,45
540	56	0,45
560	65	0,45
570	70	0,45
600	82	0,4
630	95	0,43
650	105	0,5
670	114	0,45
690	123	0,45
710	132	0,45
750	150	0,45
770	159	0,45
790	168	0,45
810	177	0,45
830	186	0,45
843	192	0,45
850	195	0,45

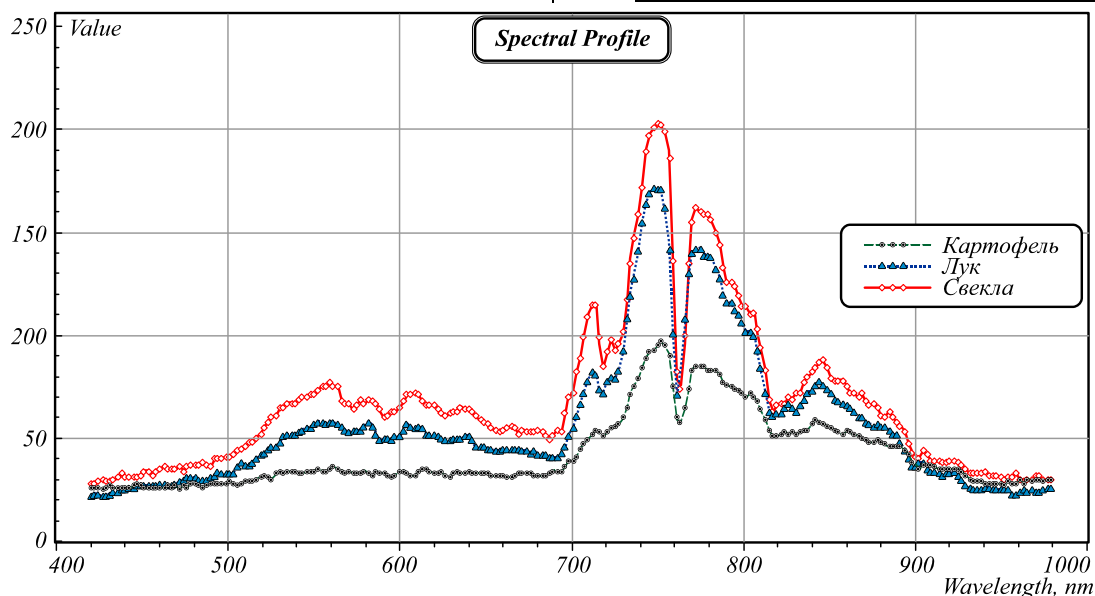


Рис. 7. Спектры, полученные по гиперспектральным изображениям. Сверху вниз: свекла, лук, картофель

На спектрах можно заметить линию поглощения, присутствующую на изображениях всех сельскохозяйственных культур, она соответствует длине волны 761 нм. По данным источников линия поглощения кислорода в пределах 760 нм, что говорит о хорошей точности калибровки сканирующего изображающего гиперспектрометра, ширина одного спектрального

канала которого 2,24 нм и ограничена дискретностью используемой ПЗС-матрицы (CMV4000).

В видимой и ближней инфракрасной областях спектра практически нет линий или полос поглощения водяного пара. Газообразная вода поглощает излучение в основном в диапазоне длин волн более 1400 нм, поэтому получить точные данные о влажно-

сти, используя спектральные распределения в диапазоне длин волн 0,4÷1,0 мкм, практически невозможно, и основная задача рассматриваемого метода – в бинарном разделении относительно влажных и относительно сухих участков.

Дальнейшая обработка полученных гиперспектральных изображений осуществлялась путём определения индекса влажности WBI (1) в каждой точке гиперспектрального изображения, где присутствует зелень:

$$WBI = \frac{I_{0,9}}{I_{0,97}}, \tag{1}$$

где $I_{0,9}$ – спектральная яркость на длине волны 0,9 мкм, $I_{0,97}$ – спектральная яркость на длине волны 0,97 мкм (рис. 8).

На рис. 8а представлено изображение (256 градаций серого, представленные в виде гистограммы на рис. 8б), яркость которого пропорциональна индексу WBI. На рис. 8в представлена гистограмма распределения этого индекса по изображению на рис. 8а, т.е. количество точек с определённым значением индекса WBI, нормированное на максимальное значение. В целом, как по среднему значению индекса, так и по распределению в гистограмме участки с повышенной влажностью отличаются от участков сухих (рис. 9).

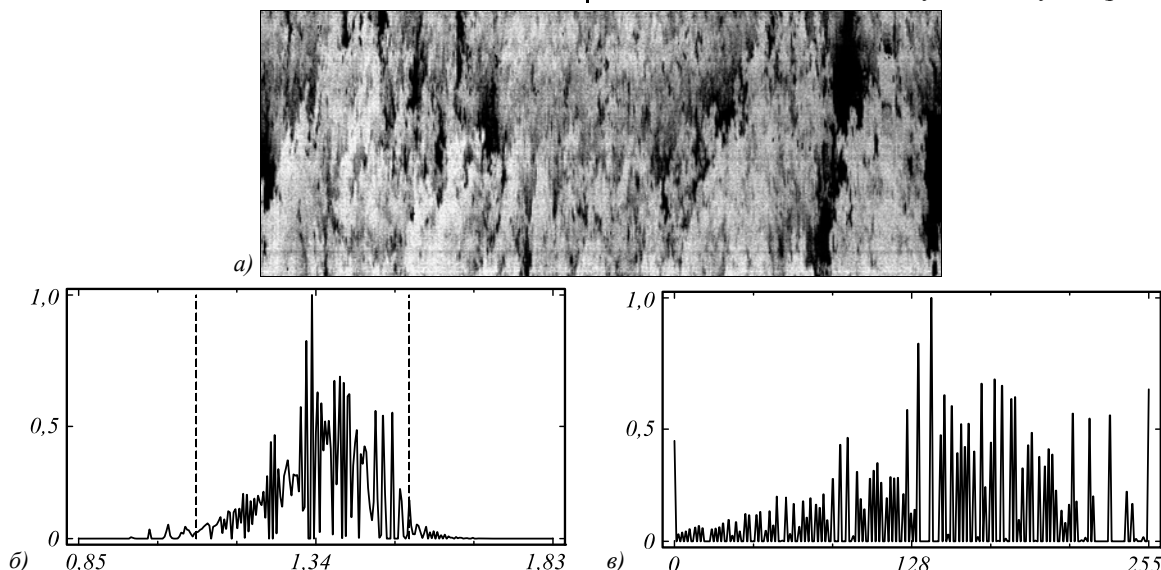


Рис. 8. Распределение индекса влажности по изображению растительности (картофель) (а), гистограмма распределения индекса влажности (б) и (в) – гистограмма распределения яркости пикселей на изображении, соответствующей значению индекса WBI

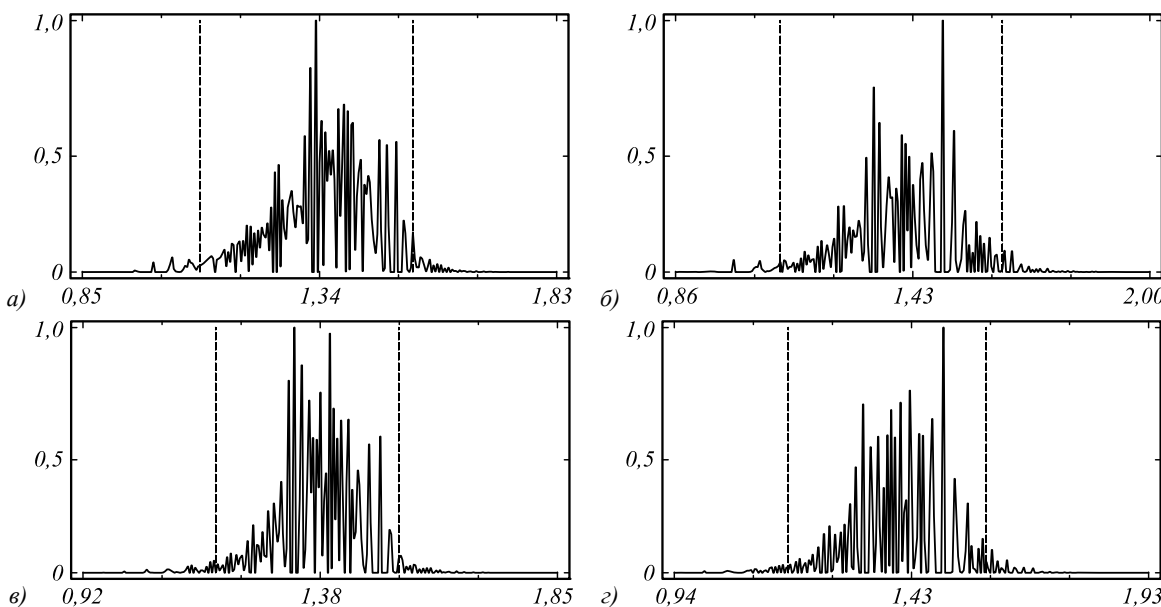


Рис. 9. Распределение индекса влажности в яркостной аппроксимации. По изображению (а) гистограмма для картофеля до полива (влажность почвы 80% НВ), среднее значение индекса WBI 1,34, (б) гистограмма для картофеля после полива (влажность почвы 100% НВ), среднее значение индекса 1,43, (в) гистограмма для лука до полива (влажность почвы 80% НВ), среднее значение индекса 1,38, (г) гистограмма для лука после полива, среднее значение индекса 1,43 (влажность почвы 100% НВ).

Как видно из рис. 9, гистограммы значений индекса WBI и средние значения индекса влажности существенно отличаются не только для изображения, где растительность занимает почти всю площадь изображения (рис. 9а, б), но и в том случае, когда на изображении довольно большие участки, не покрытые зелёной массой (рис. 9в, г). Всего было проанализировано от 6 до 10 участков для каждой культуры, и средние значения индекса WBI несущественным образом менялись от измерения к измерению (абсолютное СКО по всем измерениям – менее 0,02). Таким образом, несмотря на невозможность анализа SWIR-диапазона (1,4–3 мкм), возможно бинарное детектирование влажности почвы методами гиперспектрального анализа. Это принципиально важный результат, поскольку стоимость стандартных ПЗС матриц на видимый и ближний инфракрасный диапазон на два порядка отличается от стоимости матриц SWIR-диапазона, что не даёт возможности использовать их на технике сельхозназначения.

Заключение

Проведённый эксперимент по вычислению индекса влажности WBI показал, что использование стандартной ПЗС-матрицы позволяет определить этот индекс с достаточной точностью для разделения участков почвы с относительной влажностью 80% НВ и участков почвы с относительной влажностью 100% НВ, покрытых зелёной растительностью. Более того, этот результат довольно устойчив и позволяет работать даже на участках, где зелёная масса не заполняет всю площадь кадра.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26) (методика определения влажности), по Государственному заданию Самарского университета (3.3025.2017/4.6) (метод формирования гиперкуба), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 16-29-11744 офи_м, 16-29-09528 офи_м) (метод калибровки), гранта Президента НШ-6307.2018.8 (изготовление элементов).

Литература

1. **Achata, E.** A study on the application of near infrared hyperspectral chemical imaging for monitoring moisture content and water activity in low moisture systems / E. Achata, C. Esquerre, C. O'Donnell, A. Gowen // *Molecules*. – 2015. – Vol. 20, Issue 2. – P. 2611-2621. – DOI: 10.3390/molecules20022611.
2. **Донец, В.В.** Создание полевого спектрального аппаратно-программного комплекса для подспутниковой валидации дистанционного исследования растительности / В.В. Донец, С.М. Кочубей, В.А. Яценко, Т.А. Казанцев, В.В. Бровченко // *Системы обработки информации*. – 2013. – Т. 8, № 115. – С. 36-42.
3. **Черепанов, А.С.** Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // *Геоматика*. – 2009. – № 3. – С. 28-32.
4. **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.
5. **Майорова, В.И.** Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съёмки / В.И. Майорова, А.М. Банников, Д.А. Гришко, И.С. Жаренов, В.В. Леонов, А.Г. Топорков, А.А. Харлан // *Наука и образование*. – 2013. – № 7. – С. 199-228. – DOI: 10.7463/0713.0577991.
6. **Genc, H.** Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat / H. Genc, L. Genc, H. Turhan // *African Journal of Biotechnology*. – 2008. – Vol. 7, Issue 2. – P. 173-180. – DOI: 10.5897/AJB2008.000-5018.
7. **Пушкин, А.А.** Использование материалов космической съёмки для оценки пожарной опасности в лесах / А.А. Пушкин, Н.Я. Сидельник, С.В. Ковалевский // *Труды БГТУ*. – 2015. – № 1(174). – С. 36-40.
8. **Пушкин, А.А.** Спектральные индексы для оценки пожарной опасности лесов по материалам космической съёмки с использованием ГИС-технологий в условиях рационального природопользования / А.А. Пушкин, Н.Я. Сидельник, С.В. Ковалевский, М.А. Ильючик, П.Г. Мельник // *Биоэкономика и экобиополитика*. – 2016. – № 1(2). – С. 163-170.
9. **Митрофанов, Е.В.** О применении узкоспектральных вегетационных индексов для оценки состояния лесной растительности / Е.В. Митрофанов, И.В. Шашнев, Д.И. Бубненко // *Вестник МГОУ*. – 2012. – № 4. – С. 118-122.
10. **Виноградов, А.Н.** Бортовой гиперспектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазона с высоким пространственным разрешением / А.Н. Виноградов, В.В. Егоров, А.П. Калинин, А.И. Родионов, И.Д. Родионов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2012. – Т. 9, № 3. – С. 101-107.
11. **Виноградов, А.Н.** Разработка и исследование гиперспектрометра ближнего инфракрасного диапазона БИК1 / А.Н. Виноградов, В.В. Егоров, А.П. Калинин, А.И. Родионов, А.И. Родионов, И.П. Родионова – М: ИКИ РАН, 2017. – 20 с. – ISBN: 978-5-00015-015-3.
12. **Карпеев, С.В.** Исследование дифракционной решётки на выпуклой поверхности как диспергирующего элемента / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, С.И. Харитонов // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39, № 2. – С. 211-217. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-211-217.
13. **Карпеев, С.В.** Юстировка и исследование макетного образца гиперспектрометра по схеме Оффнера / С.В. Карпеев, С.Н. Хонина, А.Р. Мурдагулов, М.В. Петров // *Вестник СГАУ*. – 2016. – Т. 15, № 1. – С. 197-206. – DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-197-206.
14. **Балакай, Г.Т.** Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения [Электронный ресурс] / Г.Т. Балакай, С.М. Васильев, А.Н. Бабичев // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2017. – № 2(26). – 18 с. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=476&id=477> (дата обращения 05.03.2018).
15. **Бабичев, А.Н.** Оперативное управление режимом орошения при программировании урожайности сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] / А.Н. Бабичев, Г.Т. Балакай, В.А. Монастырский // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2017. – № 3(27). – С. 83-96. – URL:

- <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=498> (дата обращения 05.03.2018).
16. **Балакай, Г.Т.** Методика расчёта и корректировки сроков полива сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс] / Г.Т. Балакай, Н.И. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1(25). – С. 32-49. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=458&id=461> (дата обращения 05.03.2018).
17. **Щедрин, В.Н.** О направлениях развития мелиорации и её роли в обеспечении продовольственной безопасности России [Электронный ресурс] / В.Н. Щедрин, Г.А. Сенчуков, В.Д. Гостищев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 4(12). – С. 1-14. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=205&id=206> (дата обращения 06.03.2018).

Сведения об авторах

Подлипов Владимир Владимирович, инженер НИЛ-35 и ассистент кафедры технической кибернетики Самарского университета, инженер лаборатории микро- и нанотехнологий Института систем обработки изображений РАН – филиала Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (ИСОИ РАН). Область научных интересов: математическое моделирование, электронно-лучевая литография и оптимизация технологических процессов травления в микроэлектронике, дифракционной оптике, технологии обработки и контроля поверхности, дистанционное зондирование земли, гиперспектральные изображения. E-mail: podlipnovv@ya.ru.

Щедрин Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, академик Российской академии наук, профессор. Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». Должность: директор. E-mail: rosniipm@yandex.ru.

Бабичев Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук. Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». Должность: начальник отдела управления продуктивностью орошаемых агробиоценозов. E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru.

Васильев Сергей Михайлович, доктор технических наук. Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». Должность: заместитель директора по науке. E-mail: rosniipm@yandex.ru.

Бланк Вероника Александровна, 1992 года рождения, в 2015 получила степень магистра в СГАУ по специальности «Прикладные математика и физика». Область научных интересов: дифракционная оптика, спектроскопия. E-mail: veronika_b@smr.ru.

ГРНТИ: 29.31.29.

Поступила в редакцию 7 июня 2018 г. Окончательный вариант – 15 октября 2018 г.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SOIL MOISTURE ON HYPERSPECTRAL IMAGES

V.V. Podlipnov^{1,2}, V.N. Shchedrin³, A.N. Babichev³, S.M. Vasilyev³, V.A. Blank^{1,2}

¹IPSI RAS – Branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” RAS, Molodogvardeyskaya 151, 443001, Samara, Russia,

²Samara National Research University, Moskovskoye shosse 34, 443086, Samara, Russia,

³Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

Abstract

The possibility of humidity determination based on the use of spectral distributions in the wavelength range of up to 1 μm is analyzed. We discuss the use of an imaging hyperspectrometer for precision farming. A field experiment to determine the soil moisture index under the vegetation cover is described. A procedure of precise calibration of the hyperspectrometer based on the use of a tunable laser is described. We show the possibility of the practical determination of humidity based on the use of spectra in the wavelength range of up to 1 μm .

Keywords: hyperspectrometer, image processing, distribution histogram, remote sensing, NDVI, water band index, the Offner scheme, hyperspectral images.

Citation: Podlipnov VV, Shchedrin VN, Babichev AN, Vasilyev SM, Blank VA. Experimental determination of soil moisture on hyperspectral images. Computer Optics 2018; 42(5): 877-884. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-42-5-877-884.

Acknowledgements: The work was supported by the Ministry of science and higher education of the Russian Federation in the framework of the work of the of state-assigned task (agreement No. 007-GB/Ч3363/26) (method of determining moisture content), of state-assigned task (3.3025.2017/4.6) (method of forming a hypercube), by the Russian Foundation for basic research (grants 16-29-11744 ofi_m, 16-29-09528 ofi_m) (calibration method), and by President's grant NSH-6307.2018.8 (production elements).

References

- [1] Achata E, Esquerre C, O'Donnell C, Gowen A. A study on the application of near infrared hyperspectral chemical imaging for monitoring moisture content and water activity in low moisture systems. *Molecules* 2015; 20(2): 2611-2621. DOI: 10.3390/molecules20022611.
- [2] Donets VV, Kochubey SM, Yatsenko VA, Kazantsev TA, Brovchenko VV. Creation of the spectral hardware-software complex for subsatellite validation of the controlled from distance research of vegetation [In Russian]. *Information processing systems* 2013; 8(115): 36-42.
- [3] Cherepanov A, Druzhinina E. Spectral characteristics of vegetation and vegetation indexes [In Russian]. *Geomatics* 2009; 3: 28-32.
- [4] Antonov V, Sladkih L. Crop monitoring and spring wheat yields forecasting basing on remote sensing data. *Geomatics* 2009; 4(5): 50-53.
- [5] Maiorova VI, Bannikov AM, Grishko DA, Jarenov IS, Leonov VV, Toporkov AG, Harlan AA. Monitoring condition of agricultural fields based on prediction of NDVI with the use of multi-spectral and hyper-spectral data from space imagery [In Russian]. *Science and Education* 2013; 7: 199-228. DOI: 10.7463/0713.0577991.
- [6] Genc H, Genc L, Turhan H. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat. *African Journal of Biotechnology* 2008; 7 (2): 173-180. DOI: 10.5897/AJB2008.000-5018.
- [7] Pushkin AA, Sidelnik NYa, Kovalevskiy SV. The using of the satellite imagery for the assessment of the forest fire danger. *Proceedings of BSTU* 2015; 1(174): 36-40.
- [8] Pushkin AA, Sidelnik NYa, Kovalevskiy SV, Iljuchik MA, Melnik PGr. Spectral indices for forest fire danger assessment based on satellite imagery and with using GIS-technologies in conditions of the rational nature use [In Russian]. *Bioeconomy and ecobiopolitic* 2016; 1(2): 163-170.
- [9] Mitrofanov E, Shashnev I, Bubnenkov D. Application of narrowband vegetation indices for assessment of forest greenery [In Russian]. *Bulletin MSRU* 2012; 4: 118-122.
- [10] Vinogradov AN, Egorov VV, Kalinin AP, Rodionov AI, Rodionov ID. On board visual and near UV-band hyperspectrometr with high spatial resolution [In Russian]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* 2012; 9(3): 101-107.
- [11] Vinogradov AN, Egorov VV, Kalinin AP, Rodionov AI, Rodionov ID, Rodionova IP. Design and examination of the near infrared band hyperspectrometer BIK1 [In Russian]. Moscow: SRI RAS; 2017. ISBN: 978-5-00015-015-3.
- [12] Karpeev SV, Khonina SN, Kharitonov SI. Study of the diffraction grating on the convex surface as a dispersive element [In Russian]. *Computer Optics* 2015; 39(2): 211-217. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-2-211-217.
- [13] Karpeev SV, Khonina SN, Murdagulov AR, Petrov MV. Alignment and study of prototypes of the Offner hyperspectrometer [In Russian]. *Vestnik of Samara University* 2016; 15(1): 197-206. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-151-197-206.
- [14] Balakay GT, Vasilyev SM, Babichev AN. The concept of new generation irrigation machines for precision irrigation technology. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems* 2017; 2(26): 1-18. Source: (<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=476&id=477>).
- [15] Babichev AN, Balakay GT, Monastyrskiy VA. Irrigation regimes real time control in crop yield productivity programming. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems* 2017; 3(27): 83-96. Source: (<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=498>).
- [16] Balakay GT, Balakay NI. Calculation and correction methodologies of crop irrigation schedule. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems* 2017; 1(25): 32-49. Source: (<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=458&id=461>).
- [17] Shchedrin VN, Senchukov GA, Gostishchev VD. Prospects of land reclamation and its role for providing Food Security in Russia. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems* 2013; 4(12): 1-14. Source: (<http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=205&id=206>).

Authors' information

Vladimir Vladimirovich Podlipnov, an engineer at Samara National Research University's Lab-35, an engineer of the laboratory of Micro- and Nanotechnology of Image Processing Systems Institute of the RAS – Branch of the FSRC “Crystallography and Photonics” of the Russian Academy of Sciences. His research interests: mathematical modeling, electron-beam lithography, optimization of etching procedures in microelectronics, diffractive optics and techniques for surface processing and inspection. E-mail: podlipnovvv@ya.ru.

Vyacheslav Nikolayevich Shchedrin. Degree: Doctor of Technical Sciences. Title: Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor. Position: Director. Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. E-mail: rosniipm@yandex.ru.

Alexandr Nikolaevich Babichev. Degree: Doctor of Agricultural Sciences. Position: Head of Productivity Management of Irrigated Agrocoenosis department. Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. E-mail: BabichevAN2006@yandex.ru.

Sergey Mikhaylovich Vasilyev. Degree: Doctor of Technical Sciences. Title: Associate Professor. Position: Deputy Director of Science. Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. E-mail: rosniipm@yandex.ru.

Veronika Alexandrovna Blank (b. 1992). She received her master in Applied Mathematics and Physic (2015) in SSAU. Her research interests are currently diffractive optics and spectroscopy. E-mail: veronika_b@smr.ru.

Received June 7, 2018. The final version – October 15, 2018.