

АНАЛИЗ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ И КУКУРУЗЫ ПО НАЗЕМНЫМ ДИСТАНЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

© 2015. А.Ф. Сидько, И.Ю. Ботвич, Т.И. Письман, А.П. Шевырнов

Институт биофизики СО РАН, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50

E-mail: Sidko@ibp.krasn.ru

Поступила в редакцию 25.05.15 г.

Представлен анализ исследований поляризационной компоненты фактора отражения R_q и степени поляризации P посевов кукурузы и пшеницы в зависимости от длины волны. Регистрацию поляризационных характеристик проводили в полевых условиях оптическим дистанционным методом с автовышки (высота от 10 до 18 м) в июне–июле. Измерения выполняли с помощью двулучевого спектрофотометра с применением поляризационного светофильтра в спектральном диапазоне от 400 до 820 нм. Угол визирования составлял не более 20° от надира. Исследованы спектры отражения посевов кукурузы и пшеницы, полученные при использовании поляризатора, когда происходит передача максимального и минимального количества света (R_{\max} и R_{\min}). На их основе определены и проанализированы поляризационные характеристики исследуемых культур, различающиеся в видимой и инфракрасной областях спектра.

Ключевые слова: поляризационные характеристики, посевы, оптические дистанционные методы.

В настоящее время актуальной задачей для развития спутникового мониторинга, наземных дистанционных оптических методов исследования агроценозов суши являются методические разработки, связанные с идентификацией сельскохозяйственных угодий [1]. Из известных в оптике формул Френеля следует, что свет, отраженный гладкими поверхностями листьев растений, является поляризованным. Величина поляризованной составляющей зависит от угла падения световых лучей на лист, показателя преломления воскового слоя и его шероховатости [2]. В одной из ранних работ исследовано количество линейно поляризованного света, отраженного посевом пшеницы, при двух длинах волн (478 и 668 нм) и зенитных углах, равных 60° , 70° и 80° . Измерения проводили в направлении «против солнца». Установлено, что степень поляризации достоверно различается для разных стадий роста при зенитных углах 70° и 80° в голубой области спектра [3]. Приводятся исследования поляризационных характеристик отраженного и рассеянного света в видимом диапазоне излучения для посева пшеницы [4]. Степень линейной поляризации пшеницы рассчитана в зависимости от длины волны и стадии развития растений. В результате исследований на листьях показано, что основным механизмом, определяющим поляризацию отраженного света, является зеркальное отражение от внешней поверхности листа [5]. Дистанционные поляризационные измерения растительности, несомненно, являются потенциальным источником полезной информации, но они в основном проводились на отдельных фи-

тоэлементах [6]. Ранее исследованы спектрально-поляризационные свойства растительных покровов для оценки возможности применения наземных дистанционных методов при анализе оптической информации отраженного и поляризованного света [7,8].

Данная работа посвящена исследованию и анализу поляризационных характеристик (поляризованной составляющей и степени поляризации) при отражении света от посевов пшеницы и кукурузы по результатам наземных дистанционных измерений.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом полевых исследований были посевы пшеницы (*Triticum aestivum*) и кукурузы (*Zea mays* L. ssp. *mays*). При этом высота растений посевов пшеницы составляла 30–50 см, кукурузы – 90–120 см. Проективное покрытие почвы растениями достигало 100%. Данные сельскохозяйственные культуры наиболее распространены на территории Красноярского края. Исследование посевов пшеницы проводилось на стадии ее выхода в трубку, кукурузы – в стадии 10–12 листьев. Пшеница имеет узкую линейную форму листа, кукуруза – широкую. В этот период верхний слой пшеничного покрова образуют флаговые листья, которые являются хорошими зеркальными отражателями. Площади исследуемых участков агроценозов составляли 200 га и более. Регистрацию спектров яркости

агроценозов, используемых в дальнейшем для измерения и расчетов поляризационных характеристик, проводили с использованием автовышки с высоты от 10 до 18 м в ясную безоблачную погоду двухлучевым спектрофотометром ПДСФ в конце июня–июле (рис. 1) [9,10]. Использованный двухлучевой дифференциальный спектрофотометр является собственной разработкой [11]. С помощью спектрофотометра регистрировали спектры яркости посевов пшеницы и кукурузы с площади 1,2–1,3 м².

Для получения поляризованных составляющих R_{max} и R_{min} спектров яркости растительности в канале измерения использовали поляризационную насадку, которая вращалась относительно оси измерительного канала на 360° с шагом 2°, согласно методике, описанной ранее [8]. Значения R_{max} и R_{min} соответствуют отражательной способности посева с поляризатором в канале измерения спектрофотометра, при котором возможно передавать максимальные и минимальные количества света, отраженного от исследуемых растений. Ориентация поляризатора для максимального и минимального пропускания света была определена экспериментально [7,8]. Значения R_{max} и R_{min} являются основой для расчета поляризационной компоненты фактора отражения R_q по уравнению (1) и степени поляризации P по уравнению (2):

$$R_q = (R_{max} - R_{min}) / 2, 0, \quad (1)$$

$$P = 100\% (R_{max} - R_{min}) / (R_{max} + R_{min}). \quad (2)$$

Угол визирования спектрофотометра составлял не более 20° от надира. Измерения спектрально-поляризационных характеристик растительности на исследуемых полигонах были проведены, когда высота Солнца была от 33 до 39° (июнь, июль) с 11 до 15 ч. В этот период спектральная яркость растительности наиболее стабильна. С учетом неоднородности растительных покровов регистрировали от 20 до 30 спектров, по которым рассчитывали средние значения. Регистрируемые спектры яркости были оцифрованы и занесены в специально разработанную «Информационную базу данных спектров отражения растительных покровов» в формате Microsoft Access [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2. представлены значения R_{max} и R_{min} для посевов кукурузы и пшеницы в зависимости от длины волны. В видимой области спектра (400–700 нм) значения R_{max} и R_{min} для посевов пшеницы выше аналогичных значений для посевов кукурузы. Это связано с различным физиологическим состоянием (фазами роста) исследуемых культур в июне–июле месяце.

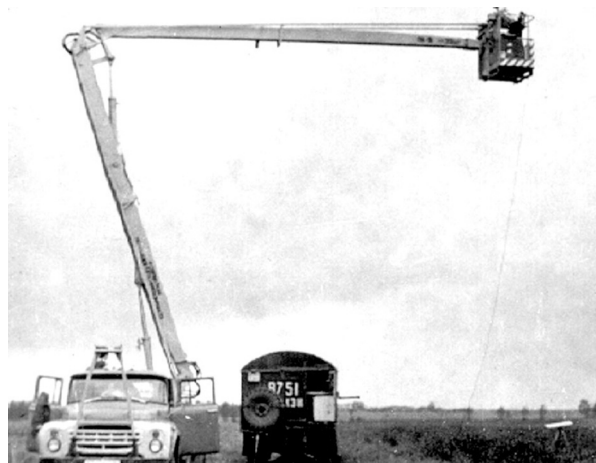


Рис. 1. Дистанционная регистрация поляризованных составляющих исследуемых посевов. Спектрофотометр установлен в корзине автовышки.

двух культур в июне–июле месяце. В ближней инфракрасной области спектра (700–840 нм) значения R_{max} для посевов кукурузы являются более высокими по сравнению со значениями R_{max} для посевов пшеницы, а значения R_{min} для посевов кукурузы – более низкими по сравнению со значениями R_{min} для посевов пшеницы.

На рис. 3 и 4 представлены значения поляризационной компоненты фактора отражения R_q и степени поляризации P для посевов кукурузы и пшеницы в зависимости от длин волн. Значения R_q исследованных посевов в видимом диапазоне спектра близки, но имеют существенные различия в инфракрасной области спектра (рис. 3). Анализ значений степени поляризации исследуемых культур показывает (рис. 4), что они и в видимом диапазоне спектра имеют существенные различия, а именно, для посевов пшеницы в оптическом диапазоне 460–700 нм они выше, чем для посевов кукурузы, а в инфракрасной области спектра – наоборот. На основании этих данных можно получить информацию о виде и морфологии сельскохозяйственной растительности методом дистанционных измерений при углах наблюдения, незначительно отклоняющихся от надира [9,10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты, полученные при наземном дистанционном зондировании при угле регистрации спектров, составляющих 15–20° от надира, показывают, что свет, рассеянный растительным покровом исследуемых видов агроценозов, поляризован в различной степени. Поляризационные характеристики отраженного света зависят от морфологии листа,

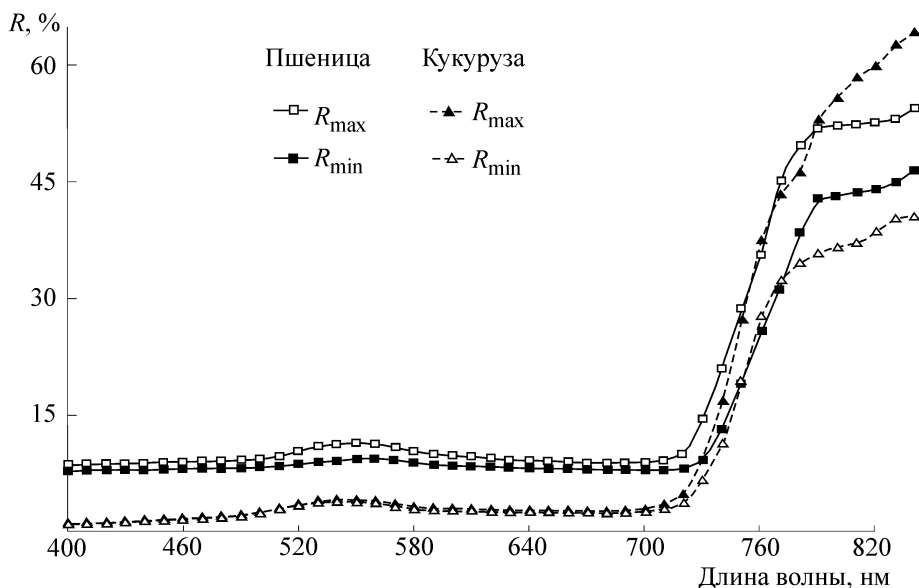


Рис. 2. Поляризованные составляющие спектров отражения (R_{\max} и R_{\min}) от посевов кукурузы и пшеницы. Поляризатор ориентирован для максимального и минимального пропускания света.

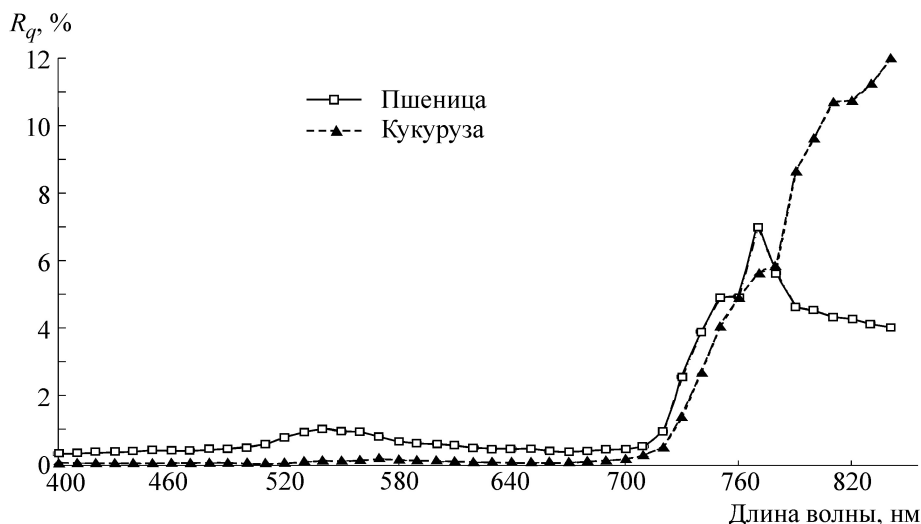


Рис. 3. Поляризационная компонента фактора отражения R_q посевов пшеницы и кукурузы.

распределения поверхностного воска по растению и дают информацию о свойствах поверхности и пространственном расположении фитозлементов растений [12]. Основной причиной поляризации рассеянного света фитозлементом является отражение, поскольку при перемещении и изгибании листьев растений под источником света световое пятно на поверхности листьев смещается. Значения поляризационной компоненты фактора отражения R_q и степени поляризации P для посевов пшеницы и кукурузы изменяются при разных длинах волн. Формы кривых R_q и P различаются для исследуемых видов агроценозов. Следовательно, по форме

кривой зависимости поляризационных характеристик от длины волны можно оценивать вид посевов различных агроценозов и проводить оценку состояния растительности.

По результатам проведенных исследований и анализа поляризационных характеристик (поляризационной компоненты фактора отражения и степени поляризации) посевов пшеницы и кукурузы показано:

– значения поляризационной компоненты фактора отражения R_q посевов пшеницы и кукурузы в видимом диапазоне спектра близки, но имеют существенные различия в инфракрасной области спектра;

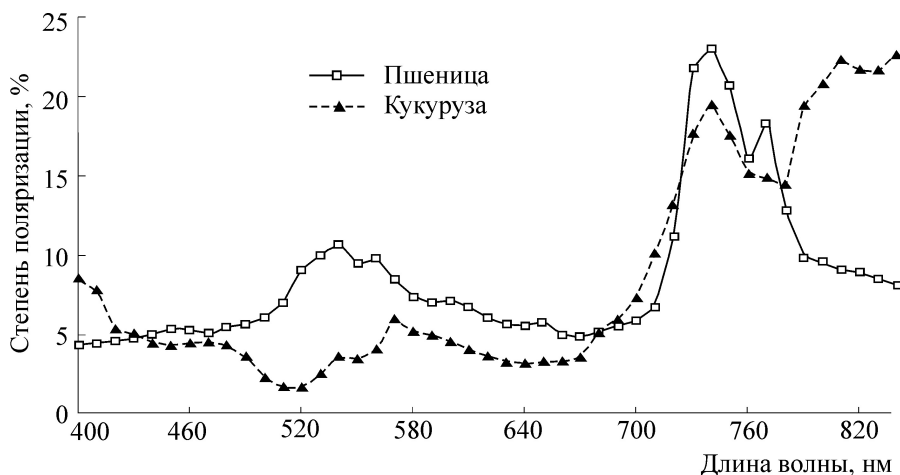


Рис. 4. Степень поляризации P света, отраженного от посевов пшеницы и кукурузы.

– значения степени поляризации P для посевов пшеницы в летние периоды вегетации в диапазоне 460–700 нм выше, чем для посевов кукурузы, а в диапазоне ИК-области – наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. В. Козодеров, Т. В. Кондранин, Е. В. Дмитриев и др., Исслед. Земли из космоса, № 1, 56 (2008).
2. Г. В. Розенберг, Успехи физ. наук **56** (1), 77 (1955).
3. G. Ranendu, V. N. Sridhar, H. Venkatesh, et al., Intern. J. of Remote Sensing **14** (13), 2501 (1993).
4. M. Shibayama and Y. Watanabe, Plant Prod. Sci. **10** (3), 329 (2007).
5. V. C. Vanderbilt, L. Grant, L. L. Biehl, and B. F. Robinson, Appl. Opt. **24** (15), 2408 (1985).
6. L. Grant, C. S. T. Daughtry, and V. C. Vanderbilt, Physiol. Plant № 88, 1 (1993).
7. А. Ф. Сидько, И. Ю. Ботвич, Т. И. Письман и А. П. Шевырнов, Исслед. Земли из космоса, № 2, 3 (2013). DOI: 10.7868/S0205961413020115.
8. A. F. Sid'ko, I. Yu. Botvich, T. I. Pisman, and A. P. Shevyrnogov, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **129**, 109 (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2013.06.001>.
9. А. Ф. Сидько, И. Ю. Пугачева и А. П. Шевырнов, Докл. РАН **419** (3), 417 (2008).
10. I. Yu. Pugacheva, A. F. Sid'ko, and A. P. Shevyrnogov, Adv. Space Res. **45**, 1224 (2010).
11. А. Ф. Сидько, В. С. Филимонов, Ф. Я. Сидько и И. Д. Рубцов, Журн. прикл. спектроскопии **29** (5), 943 (1978).
12. J. Suomalainen, T. Hakala, E. Puttonen, and J. Peltoniemi, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **110**, 1044 (2009).

Analysis of Polarization Characteristics of Wheat and Maize Crops Using Land-Based Remote Sensing Measurements

A.F. Sid'ko, I.Yu. Botvich, T.I. Pisman, and A.P. Shevyrnogov

*Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Akademgorodok, 50/50, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

The paper presents analysis of a study of the polarized component of the reflectance factor (R_q) and the degree of polarization (P) of wheat and maize crops depending on the wavelength. Registration of polarization characteristics was carried out in the field from the elevated work platform at heights of 10 to 18 m in June and July. Measurements were performed using a double-beam spectrophotometer with a polarized light filter attachment, within the spectral range from 400 to 820 nm. The viewing angle was no greater than 20 degree with respect to the nadir. The reflection spectra of wheat and maize crops obtained using a polarizer adjusted to transmit the maximum and minimum amounts of light (R_{\max} and R_{\min}) were studied. Based on these reflection spectra polarization characteristics, which differ in the visible and infrared spectral region, were determined and analyzed.

Key words: polarization characteristics, crops, optical remote sensing techniques