

## АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ТОРФА

Е. С. ВОРОПАЙ<sup>1</sup>, С. В. ПРОЦЕНКО<sup>1</sup>,  
В. Г. БЕЛКИН<sup>2</sup>, К. В. ГОВОРУН<sup>2</sup>, Е. А. КОЛОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ООО «Аквар-Систем», ул. Фабрициуса, 2–25, 220007, г. Минск, Республика Беларусь

Изучены спектры диффузного отражения торфа в диапазоне влажности 15–70 %. Проведен анализ полученных спектральных зависимостей и установлена связь между величиной сигнала диффузного отражения с максимумом поглощения на длинах волн 1445 и 1934 нм и влажностью торфа. Несмотря на наличие полос, не отвечающих за поглощение воды в спектре диффузного отражения торфа, полученные зависимости имеют высокое значение коэффициента детерминации. Это позволяет использовать длины волн 1445 и 1934 нм как аналитические в инфракрасном датчике влажности без предварительного преобразования сигнала. Результаты работы были использованы для градуировки инфракрасного датчика влажности торфа Аквар-1108Т ООО «Аквар-Систем» при проведении испытаний на полностью автоматизированном торфобрикетном заводе в п. Правдинском Минской области.

**Ключевые слова:** влажность; диффузное отражение; инфракрасная спектроскопия; термогравиметрический метод; контроль влажности торфа.

## ANALYSIS OF THE DIFFUSE REFLECTANCE SPECTRA OF PEAT

Е. С. ВОРОПАЙ<sup>a</sup>, С. В. ПРЯТСЕНКА<sup>a</sup>,  
В. Г. БЕЛКИН<sup>b</sup>, К. В. ГОВОРУН<sup>b</sup>, А. А. КОЛОВА<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Belarusian State University, Nezavisimosti avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

<sup>b</sup> «Aquar-System» Ltd., Fabricius street, 2–25, 220007, Minsk, Republic of Belarus

The diffuse reflectance spectra of peat over the moisture range 15–70 % have been studied. An analysis of the obtained spectral dependences has been performed. The relationship between the diffuse reflectance signal at the wavelength with a maximum absorption (1445 and 1934 nm) and the peat moisture has been established. Despite the presence of the bands not responsible for water absorption in diffuse reflectance spectra of peat, the revealed dependences are characterized by a high determination factor. Because of this, the wavelengths at 1445 and 1934 nm may be used as analytical in an infrared moisture sensor without preliminary conversion of the signal. The results were used for calibration of the infrared peat moisture sensor produced by the «Aquar-System» Ltd. during testing at the fully automated peat briquetting plant in Pravdinskij of the Minsk region.

**Key words:** moisture; diffuse reflectance; infrared spectroscopy; thermogravimetric method; peat moisture control.

### Образец цитирования:

Воропай Е. С., Проценко С. В., Белкин В. Г., Говорун К. В., Колова Е. А. Анализ спектров диффузного отражения торфа // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2016. № 1. С. 16–19.

### For citation:

Voropay E. S., Pratsenka S. V., Belkin V. G., Havarun K. V., Kolava A. A. Analysis of the diffuse reflectance spectra of peat. *Vestnik BGU. Ser. 1, Fiz. Mat. Inform.* 2016. No. 1. P. 16–19 (in Russ.).

### Авторы:

**Евгений Семенович Воропай** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета.

**Станислав Викторович Проценко** – аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета. Научный руководитель – Е. С. Воропай.

**Валерий Георгиевич Белкин** – директор по развитию.

**Константин Валерьевич Говорун** – технический директор.

**Елена Андреевна Колова** – студентка химического факультета.

### Authors:

**Eugene Voropay**, doctor habilitatus of physics and mathematics, full professor; head of the department of laser physics and spectroscopy, school of physics.

*voropay@bsu.by*

**Stanislau Pratsenka**, postgraduate student at the department of laser physics and spectroscopy, school of physics.

*stas-p0@rambler.ru*

**Valery Belkin**, development director.

*vgb12402@gmail.com*

**Konstantin Havarun**, technical director.

*k.havarun@aqur-system.com*

**Alena Kolava**, student at the school of chemistry.

*kolovka@mail.ru*

Торф является одним из энергоресурсов, которыми Беларусь располагает в промышленном масштабе. Повышение уровня метрологического обеспечения технологического процесса изготовления торфяных брикетов очень актуально, поскольку от влажности сырья зависит качество выпускаемой продукции. Если в начале производственного процесса влажность торфа может изменяться в достаточно широком диапазоне, то непосредственно перед прессованием влажность сырья не должна превышать 14 %. Более высокая влажность торфяных брикетов обусловливает снижение их качества, и, как следствие, предприятие несет убытки.

В настоящее время торфяные брикеты используются как коммунально-бытовое топливо. Основные потребители – сельское население, школы, больницы, небольшие котельные. Стоит отметить, что торф используется и промышленными предприятиями, так, на торфяном топливе работают Жодинская ТЭЦ, Пружанская мини-ТЭЦ, Бобруйская ТЭЦ-1 и крупные котельные ЖКХ в городах Браславе, Ошмянах, Толочине и др. В связи с этим актуальными являются разработка и внедрение системы контроля влажности, действующей непосредственно в технологическом процессе.

Традиционные методы определения влажности (кондуктометрический, дизелькометрический, термогравиметрический [1–4]) в силу длительности проведения измерений и трудоемкости мало-пригодны для решения всего объема задач контроля влажности в производственном процессе. Автоматизация производства торфяных брикетов делает необходимым применение датчиков влажности, осуществляющих измерения в течение технологического процесса. Информация от датчиков передается на пульт управления, с которого регулируется мощность сушильных котлов, позволяющая работать на уровне, обеспечивающем оптимальное качество продукции и количество затрачиваемой энергии. Таким образом, внедрение датчиков, которые осуществляют непрерывный контроль влажности, дает возможность уменьшать производственные издержки и тем самым снижать себестоимость готовой продукции.

Среди приборов контроля, позволяющих проводить анализ в потоке, отдельно нужно выделить инфракрасные анализаторы [1], работающие в ближней инфракрасной области, которые применяются для широкого класса веществ: газов, жидкостей, твердых и сыпучих тел как органического, так и неорганического происхождения [2]. Уникальность инфракрасных систем заключается в том, что одна и та же модель прибора может использоваться для анализа различных материалов после незначительной перестройки.

Преимуществами метода ИК-спектроскопии являются чувствительность, точность, воспроизводимость измерения, непрерывный неразрушающий контроль, бесконтактность и экспрессность анализа [3], а также простота пробоподготовки.

### **Методика исследования и пробоподготовки**

Исследования образцов торфа выполнялись в диапазоне длин волн 700–2700 нм на фурье-спектрометре Matrix-I, поскольку он обеспечивает возможность получения спектров диффузного отражения, что позволяет проводить анализ сыпучих и порошковых веществ. Сигнал диффузного отражения определялся как логарифм отношения падающего излучения к отраженному – аналогично тому, как вычисляется оптическая плотность. В выбранном диапазоне длин волн вода имеет высокointенсивные полосы поглощения [4].

Образцы изготавливались по ГОСТ 11305-2013 «Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги», по которому на начальной стадии эксперимента торф пропускался через сито, выделяющее частицы размером более 3 мм. Для установления влажности использовались термогравиметрические весы Sartorius MA 45. Масса каждого образца равнялась 5–10 г. При такой массе погрешность измерения влажности составляет 0,05 % (рис. 1). Всего было приготовлено 11 образцов в диапазоне влажности 4–64 %.

Спектры диффузного отражения обладают следующей характерной особенностью: при увеличении длины волн наблюдается тенденция возрастания суммарного сигнала [4–6], что усложняет проведение дальнейшего анализа. Для устранения общего наклона была использована функция спектрометра «нормировка спектра». Возможны и более сложные методы ликвидации общего наклона, например нормировка по среднеквадратичному отклонению [4], но такие методы имеют эффективность, аналогичную упомянутой выше. На уровень фонового поглощения и общего наклона спектров диффузного отражения существенное влияние оказывает также величина частиц, составляющих исследуемый материал [4]. Необходимо отметить, что уровень фонового поглощения может быть использован для определения размера частиц [5].

Измерения величины сигнала диффузного отражения проводились на длинах волн 1445 и 1934 нм (рис. 2).

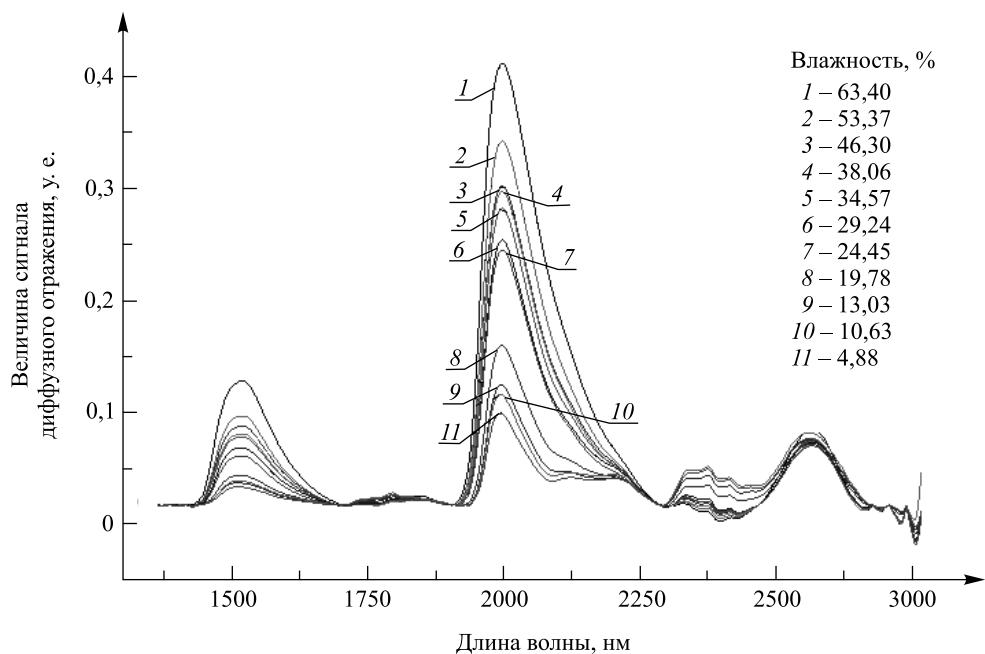


Рис. 1. Нормированный спектр диффузного отражения торфа при различной влажности

Градуировочные уравнения для длин волн 1445 и 1934 нм следующие:

$$W_{1445}(X) = 625,81X - 0,77;$$

$$W_{1934}(X) = 177,32X - 8,33,$$

где  $X$  – сигнал диффузного отражения;  $W_{1445}(X)$ ,  $W_{1934}(X)$  – значения влажности при использовании длин волн 1445 и 1934 нм как аналитических.

При увеличении влажности, как следует из рис. 2, наблюдается линейный рост сигнала диффузного отражения, при этом имеет место высокое соответствие между сигналом и влажностью. Следует отметить, что при рассмотрении спектров диффузного отражения сложных по составу объектов анализ может быть затруднен или невозможен из-за перекрытия стоящих рядом полос поглощения. В работе [4] описан прием разрешения спектральных линий, основанный на регистрации производных от спектров диффузного отражения. В статье [6] приводится подробное обоснование использования длин волн 1445 и 1934 нм в качестве аналитических для макета анализатора влажности кормов, работающего по принципу избирательного поглощения.

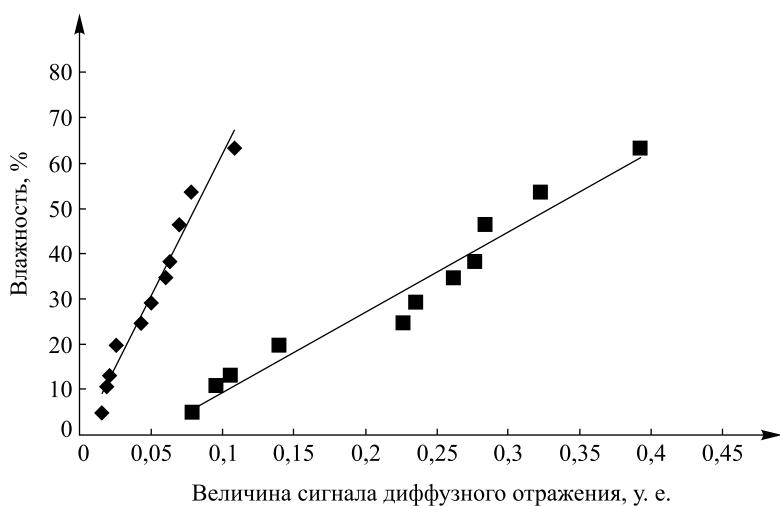


Рис. 2. Зависимость величины сигнала диффузного отражения от влажности торфа в максимумах поглощения на длинах волн, нм: 1445 (◆) и 1934 (■)

Результаты, полученные в ходе спектроскопических исследований и представленные в статье, были использованы при градуировке инфракрасного датчика влажности Аквар-1108Т ООО «Аквар-Систем» (рис. 3). Для проведения испытаний два датчика влажности были установлены на торфобрикетном заводе в п. Правдинском Минской области, первом в нашей стране, где производство торфяных брикетов полностью автоматизировано с использованием непрерывного контроля влажности.

Показания датчиков используются для непрерывного контроля влажности торфа на входе и особенно непосредственно перед прессованием его в брикеты, что дает возможность в случае отклонения от установленной нормы влажности изменять мощность при сушке сырья, тем самым повышая качество готовой продукции. Таким образом, непрерывный контроль торфа датчиками влажности позволяет значительно увеличить качество выпускаемой продукции и, следовательно, повысить ее конкурентоспособность.



Рис. 3. Датчик влажности сухого торфа

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)

1. Мухутдинов М., Мусаев Э. С. Оптические методы и устройства контроля влажности. М., 1986.
2. Митчелл Дж., Смит Д. Акваметрия. М., 1980.
3. Романов В. Г. Проверка влагомеров твердых веществ. М., 1983.
4. Крищенко В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия. М., 1997.
5. Собина Е. П. Влияние физико-химических факторов на спектры диффузного отражения в ближней инфракрасной области влагосодержащих порошкообразных веществ. Екатеринбург, 2009.
6. Белкин В. Г., Проценко С. В. Влияние влажности зеленой массы на ее спектры диффузного отражения в ближней инфракрасной области // Вестн. БГУ. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2014. № 3. С. 22–25 [Belkin V. G., Pratsenka S. V. Influence of moisture on the diffuse reflectance spectra of the green mass in the near infrared. *Vestnik BGU. Ser. 1, Fiz. Mat. Inform.* 2014. No. 3. P. 22–25 (in Russ.)].

Статья поступила в редакцию 07.09.2015.  
Received by editorial board 07.09.2015.