

Поверхностно-энергетические свойства некоторых целлюлозосодержащих биосорбентов

© Старостина^{1*} Ирина Алексеевна, Соколова^{2**+} Наталья Вячеславовна,
Белопухов² Сергей Леонидович, Перельгина¹ Регина Андреевна,
Кузина¹ Наталья Александровна

¹ Кафедра физики. Институт нефти, химии и нанотехнологий. Казанский национальный исследовательский технологический университет. ул. Сибирский тракт, 12, корп. Д. г. Казань, 420015. Республика Татарстан. Россия. Тел.: +7 (843) 231-41-00. E-mail: irinastarostina@mail.ru

² Кафедра химии. Институт агробиотехнологии. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Тимирязевский проезд, 2. г. Москва, 127550. Россия. Тел.: +7 (499) 976 3216. E-mail.: nv_sokorova@mail.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: свободная поверхностная энергия, теория ванн Осса – Чодери – Гуда, метод избирательного смачивания, биосорбенты, удобрения пролонгированного действия, глубокая переработка отходов, лен-долгунец, подсолнечник, ячмень, техническая конопля.

Аннотация

Создание гранулированных органоминеральных удобрений с пролонгированным действием является перспективным направлением в сельском хозяйстве. Для длительного выделения биологически активных веществ из удобрений необходимо обеспечить хорошее межфазное взаимодействие жидких органоминеральных составов с поверхностью целлюлозосодержащих сорбентов, поэтому особую значимость приобретает исследование термодинамических поверхностных свойств сорбирующих материалов. Оценка термодинамики поверхности позволяет измерить не только свободную поверхностную энергию, но также ее составляющие и параметры, входящие в теорию ванн Осса – Чодери – Гуда. Чаще всего определение термодинамических характеристик поверхностей в рамках данной теории проводится для гладких поверхностей органической и неорганической природы измерением краевого угла смачивания тестовыми жидкостями. Однако для высушенных растительных материалов данная задача является нетривиальной. Для определения поверхностно-энергетических свойств дисперсных материалов применен метод, основанный на их избирательном смачивании в присутствии двух тестовых жидкостей, одна из которых является нейтральным углеводородом. Анализ углов избирательного смачивания измельченных целлюлозосодержащих биосорбентов выявил лучшее смачивание образцов нейтральным углеводородом, что свидетельствует о плохом смачивании. Исключение составила костра технической конопли с формамидом, кислотный параметр свободной поверхностной энергии которой достиг составил $\gamma_s^+ = 13.5$ мДж/м².

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Старостина И.А., Соколова Н.В., Белопухов С.Л., Перельгина Р.А., Кузина Н.А. Поверхностно-энергетические свойства некоторых целлюлозосодержащих биосорбентов. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.86. №5. С.41-47. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Старостина И.А., Соколова Н.В., Белопухов С.Л., Перельгина Р.А., Кузина Н.А. Поверхностно-энергетические свойства некоторых целлюлозосодержащих биосорбентов. *Бутлеровские сообщения* А. 2026. Т.13. №2. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41/ROI-jbc-A/26-13-2-9 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Irina A. Starostina, Natalia V. Sokorova, Sergey L. Belopukhov, Regina A. Perelygina, Regina A. Perelygina. Surface energy properties of some cellulose-containing biosorbents. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.13. No.2. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41/ROI-jbc-A/26-13-2-9

Литература

- [1] Безуглова О.С., Лыхман В.А., Полиенко Е.А. Гуминовые препараты и структурное состояние черноземных и каштановых почв Ростовской области. *Рассвет: АзовПринт*. **2020**. 188с. [O.S. Bezuglova, V.A. Lykhan, E.A. Polienko. Humic preparations and the structural state of chernozem and chestnut soils of the Rostov region. *Rassvet: AzovPrint*. **2020**. 188p. (Russian)]
- [2] Прокопова А.В., Гостюхина А.А., Дорошенко О.С., Замошина Т.А., Зайцев К.В., Жукова О.Б. Гуминовые кислоты как природный адаптоген в эксперименте. *Вестник физиотерапии и курортологии*. **2022**. Т.28. №3. С.121. [A.V. Prokopova, A.A. Gostyukhina, O.S. Doroshenko, T.A. Zamoshina, K.V. Zaitsev, O.B. Zhukova. Humic acids as a natural adaptogen in an experiment. *Bulletin of Physiotherapy and Balneology*. **2022**. Vol.28. No.3. P.121. (Russian)]
- [3] Жолобова И.С., Пономарева Л.О. Влияние биогуматов на почвенную биоту. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. **2015**. №114. С.975-984. [I.S. Zholobova, L.O. Ponomareva. Effect of biohumates on soil biota. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. **2015**. No.114. P.975-984. (Russian)]
- [4] Лыхман В.А., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Дубинина М.Н., Наими О.И., Патрикеев Е.С. Влияние гуминовых препаратов на содержание углеводов в структурных агрегатах и их водопрочность. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. **2020**. №1(37). С.154-168. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-154-168 [V.A. Lykhan, O.S. Bezuglova, E.A. Polienko, M.N. Dubinina, O.I. Naimi, E.S. Patrikeev. The influence of humic preparations on the carbohydrate content in structural aggregates and their water resistance. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. **2020**. No.1(37). P.154-168. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-154-168. (Russian)]
- [5] Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Гринько А.В., Лыхман В.А., Патрикеев Е.С. Повышение эффективности инсектицидов в посевах нута при использовании гуминовых веществ. *Земледелие*. **2020**. №8. С.42-47. [E.A. Polienko, O.S. Bezuglova, A.V. Grinko, V.A. Lykhan, E.S. Patrikeev. Increasing the efficiency of insecticides in chickpea crops using humic substances. *Journal Zemledelie*. **2020**. No.8. P.42-47. (Russian)]
- [6] Аюкаев Р.И., Петров Е.Г., Аюкаев Р.Р. Проблемы удаления гумусовых веществ из поверхностных и подземных вод в России. *Вода и экология: проблемы и решения*. **2000**. №1(2). С.2-8. [R.I. Ayukaev, E.G. Petrov, R.R. Aiukaev. Problems of removing humic substances from surface and groundwater in Russia. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. **2000**. No.1(2). P.2-8. (Russian)]
- [7] I.A. Starostina, N.V. Makhrova, O.V. Stoyanov, I.V. Aristov. On the evaluation of the acidity and basicity parameters of the surface free energy of polymers. *Journal of Adhesion*. **2012**. Vol.88. P.751-765.
- [8] Старостина И.А., Нгуен Д.А., Стоянов О.В. Оценка свободной поверхностной энергии дисперсных добавок для полимерных композиций в условиях избирательного смачивания. *Клеи. Герметики. Технологии*. **2015**. №5. С.24-33. [I.A. Starostina, D.A. Nguen, O.V. Stoyanov. Estimation of free surface energy of dispersed additives for polymer composites under selective wetting conditions. *Glues. Sealants. Technology*. **2015**. No.5. P.24-33. (Russian)]
- [9] Старостина И.А., Вертепа А.В., Иванова А.А., Стоянов О.В. Избирательное смачивание для определения поверхностных свойств дисперсных веществ. *Вестник технологического университета*. **2019**. Т.22. №9. С.104-109. [I.A. Starostina, A.V. Vertepa, A.A. Ivanova, O.V. Stoyanov. Selective wetting for determining the surface properties of dispersed substances. *Herald of Technological University*. **2019**. Vol.22. No.9. P.104-109. (Russian)]
- [10] Нгуен Д.А. Поверхностные энергетические характеристики компонентов, составляющих адгезионные соединения полимерных композиций и металлов. *Автореферат дисс. к.х.н. Казань: КНИТУ*. **2016**. 20с. [D.A. Nguen. Surface energy characteristics of components constituting adhesive joints of polymer composites and metals. *Abstract of PhD Thesis. Kazan: Kazan National Research Technological University*. **2016**. 20p. (Russian)]
- [11] I.A. Starostina, N.V. Sokorova, O.V. Stoyanov, Y.N. Khakimullin. The correspondence of detachment characteristics and acid-base interaction measures. *Polymer Science, Series D*. **2013**. Vol.6. No.2. P.154-156.
- [12] Старостина И.А., Стоянов О.В., Махрова Н.В., Дебердеев Р.Я. Применение тестовых полимерных поверхностей для определения параметров свободной поверхностной энергии. *Доклады Академии наук*. **2011**. Т.440. №1. С.64-66. [Starostina I.A., Stoyanov O.V., Makhrova N.V., Deberdeev R.Y. Use of probe polymer surfaces for determining the surface free energy parameters. *Doklady Physical Chemistry*. **2011**. Vol.440. No.1. P.64-66. (Russian)]
- [13] Белопухов С.Л., Захаренко А.В. Роль защитно-стимулирующих комплексов в льноводстве. *Достижения науки и техники АПК*. **2008**. №9. С.27-29. [S.L. Belopukhov, A.V. Zakharenko. The role of protective

- ПОВЕРХНОСТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ... _____ 41-47
and stimulating complexes in flax growing. *Achievements of Science and Technology of AIC*. **2008**. No.9.
P.27-29. (Russian)]
- [14] Савич В.И., Торшин С.П., Белопухов С.Л. Агроэкологическая оценка органо-минеральных и комплексных соединений почв. **2017**. Иркутск: ООО «Мегапринт». 298с. [V.I. Savich, S.P. Torshin, S.L. Belopukhov. Agroecological assessment of organomineral and complex compounds of soils. **2017**. Irkutsk: LLC Megaprint. 298p. (Russian)]
- [15] Irina A. Starostina, Natalia V. Sokorova, Sergey L. Belopukhov, Regina A. Perelygina, Regina A. Perelygina. Surface energy properties of some cellulose-containing biosorbents. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.13. No.2. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41/ROI-jbc-A/26-13-2-9
- [16] Старостина И.А., Сокурова Н.В., Белопухов С.Л., Перельгина Р.А., Кузина Н.А. Поверхностно-энергетические свойства некоторых целлюлозосодержащих биосорбентов. *Бутлеровские сообщения А*. **2026**. Т.13. №2. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41/ROI-jbc-A/26-13-2-9 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier ROI-jbc-A/26-13-2-9

The Digital Object Identifier DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-41/ROI-jbc-A/26-13-2-9

Surface energy properties of some cellulose-containing biosorbents

**Irina A. Starostina,^{1*} Natalia V. Sokorova,^{2*+} Sergei L. Belopukhov,²
Regina A. Perelygina,¹ Regina A. Perelygina¹**

¹ *Physics Division. Institute of Petroleum, Chemistry and Nanotechnologies. Kazan National Research Technological University. Sibirian Trakt, 12, Bl.D. Kazan, 420015. Tatarstan Republic. Russia.
Phone: +7 (843) 231-41-00. E-mail: irinastarostina@mail.ru*

² *Chemistry Division. Institute of Agrobiotechnology. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Timiryazevsky Briveway, 2. Moscow, 127550. Russia.
Phone: +7 (499) 976-32-16. E-mail: nv_sokorova@mail.ru*

*Supervising author; +Corresponding author

Keywords: free surface energy, van Oss-Chaudhury-Good theory, selective wetting method, biosorbents, slow release fertilizers, waste recycling, flax, sunflower, barley, industrial hemp.

Abstract

The development of granulated organomineral fertilizers with prolonged release is a promising area in agriculture. To ensure the prolonged release of biologically active substances from fertilizers, it is necessary to ensure good interfacial interaction between liquid organomineral compositions and the surface of cellulose-containing sorbents. Therefore, studying the thermodynamic surface properties of sorbent materials is particularly important. Assessing surface thermodynamics allows us to measure not only the free surface energy but also its components and parameters included in the van Oss – Chaudhury – Good theory. Most often, the thermodynamic characteristics of surfaces within the framework of this theory are determined for smooth organic and inorganic surfaces by measuring the contact angle of test liquids. However, for dried plant materials, this task is non-trivial. To determine the surface energy properties of dispersed materials was used a method based on their selective wetting in the presence of two test liquids, one of which is a neutral hydrocarbon. An analysis of the selective wetting angles of chopped cellulose-containing biosorbents revealed better wetting of the samples by a neutral hydrocarbon, indicating poor wetting. The exception was industrial hemp shives with formamide, whose acidic free surface energy reached $\gamma_s^+ = 13.5 \text{ mJ/m}^2$.