



## Исследование морфологии и элементного состава биоугля

Чистяков И. В., к. х. н., ведущий инженер отдела инжиниринга, ООО Интерлаб, Россия, Москва

### Ключевые слова

Электронная микроскопия, морфология, элементный состав, биоуголь.

### Резюме

Проведено исследование морфологии биоугля с помощью сканирующей электронной микроскопии. Проведено определение элементного состава методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС).

## Введение

В последние годы все большее распространение получает твердое топливо, созданное на основе возобновляемых источников энергии. Один из его наиболее популярных видов - биоуголь, уголь, произведенный из биомассы и внешне похожий на ископаемого собрата. У биоуголя есть несколько преимуществ по сравнению с необработанной биомассой. Он имеет высокое содержание энергии, однородные свойства и низкое содержание влаги. Биоуголь можно использовать на угольных электростанциях, которые испытывают трудности с поставками других видов топлива на основе биомассы, например древесной щепы [1]. Для изучения физико-химических свойств биоугля используется большое количество различных методов. Одним из лучших методов визуализации и получения информации об элементном составе биоугля, является сканирующая электронная микроскопия [2].

## Экспериментальная часть

*Образцы:* Порошок черного цвета (биоуголь).

*Инструменты:* Настольный сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-3030.

*Условия анализа:* Рабочий отрезок около 4,2 мм.

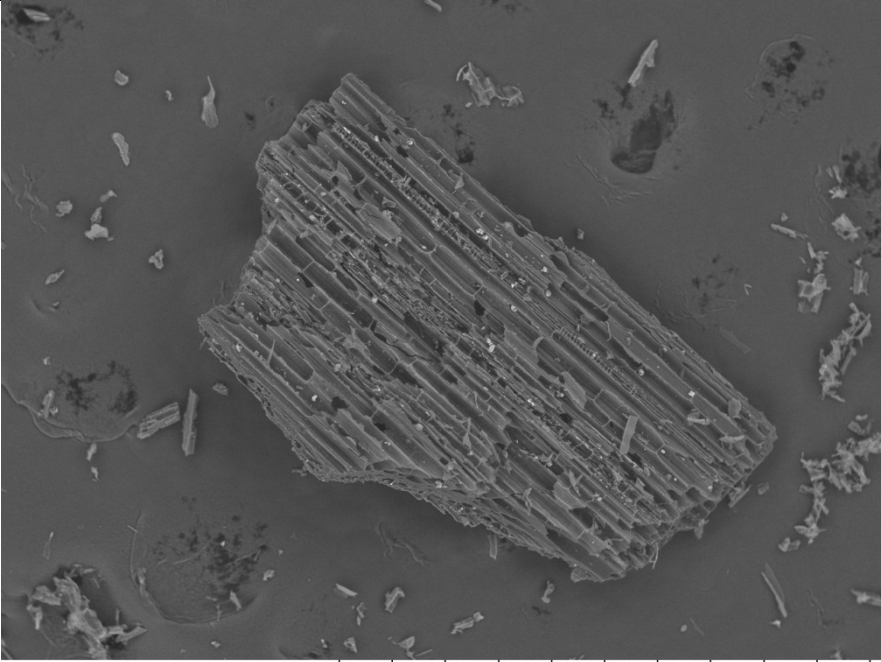
*Режим съёмки:* Analy.

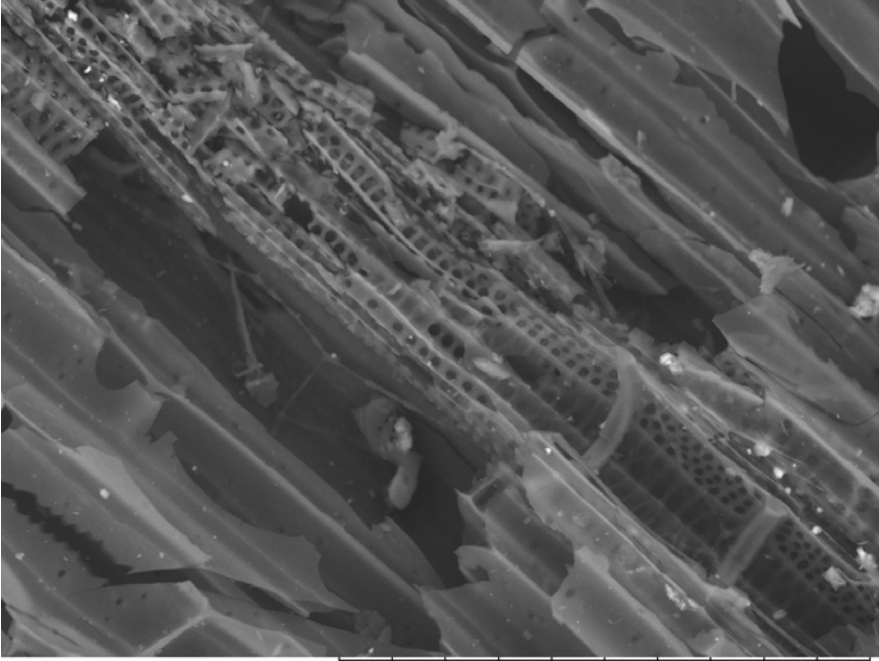
*Режим вакуума:* Низкий.

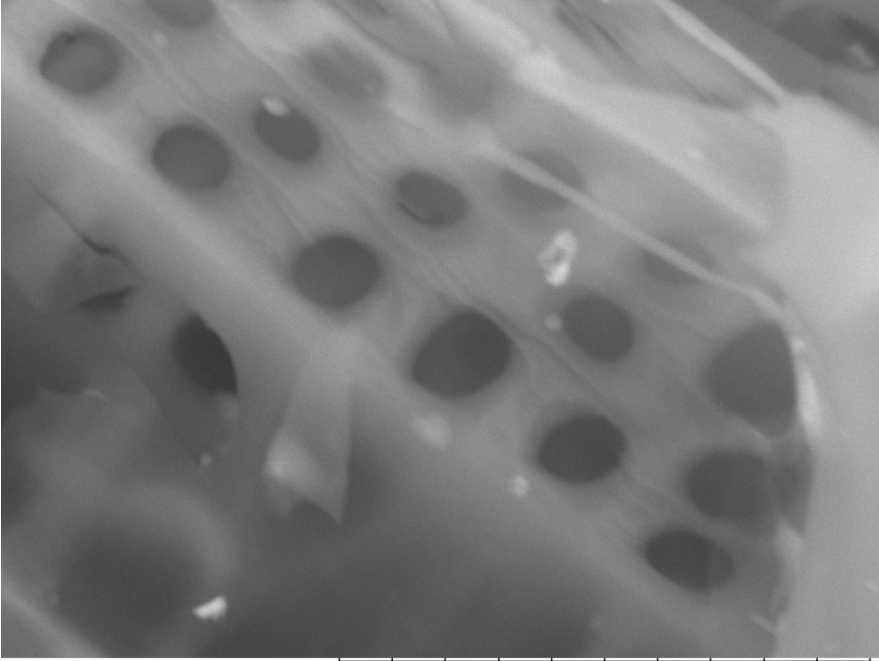
## Результаты и обсуждения

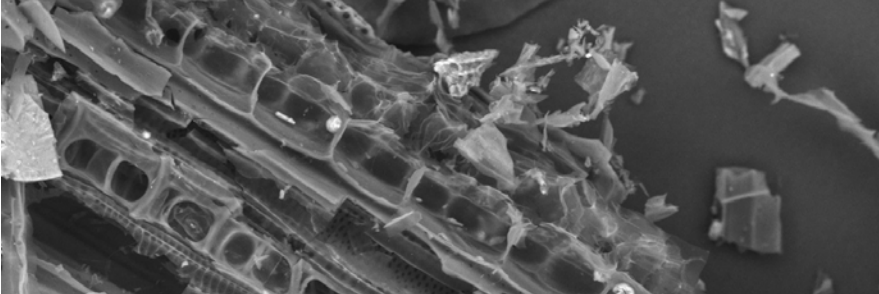
Съемка проводилась в стандартных для непроводящих и малоконтрастных образцов условиях (низкий вакуум, 15 кВ, повышенная эмиссия). Напыление проводящего слоя не проводилось (исследование морфологии в нативных условиях).

### Образец 1.

1	 <p data-bbox="288 1787 1173 1825">Sample1-0001 N D4.2 x100 1 mm</p>	Увеличение: 100x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
	<i>Общий вид частицы угля</i>	

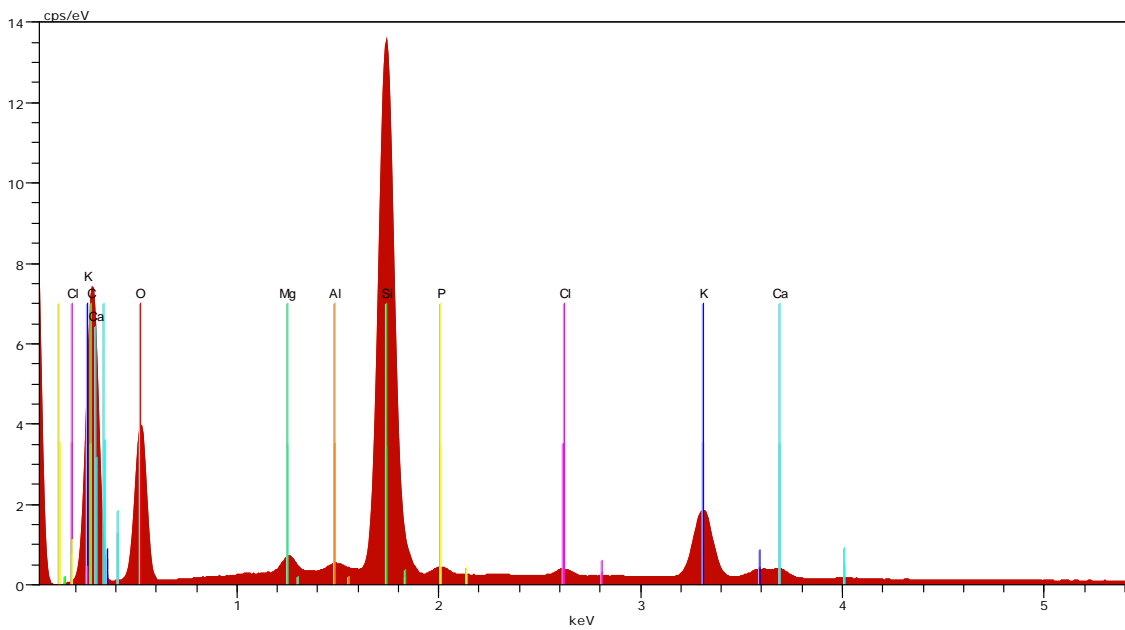
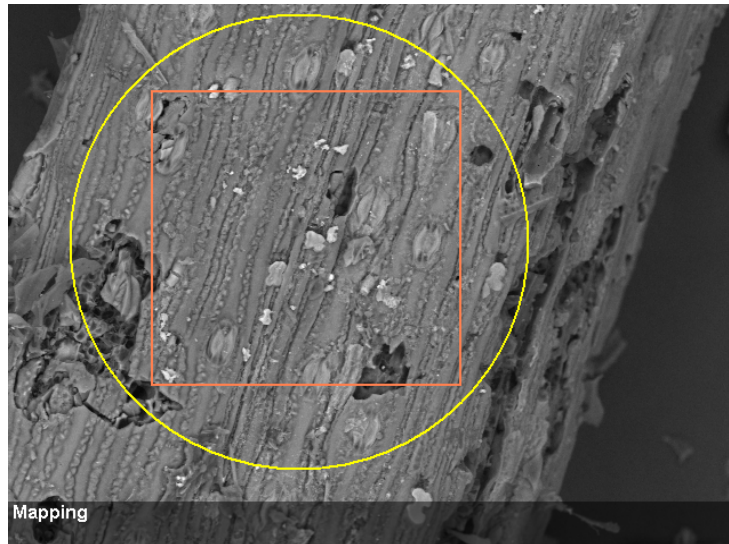
2	 <p data-bbox="288 763 1171 801">Sample1-0002 N D4.2 x1.0k 100 μm</p>	Увеличение: 1000x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
Частица угля при большем увеличении.		

3	 <p data-bbox="288 1556 1171 1594">Sample1-0003 N D4.2 x10k 10 μm</p>	Увеличение: 10000x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
Частица угля при большем увеличении. Видны поры, средний размер 1,4 мкм.		

4		Увеличение: 500x
---	--	---------------------



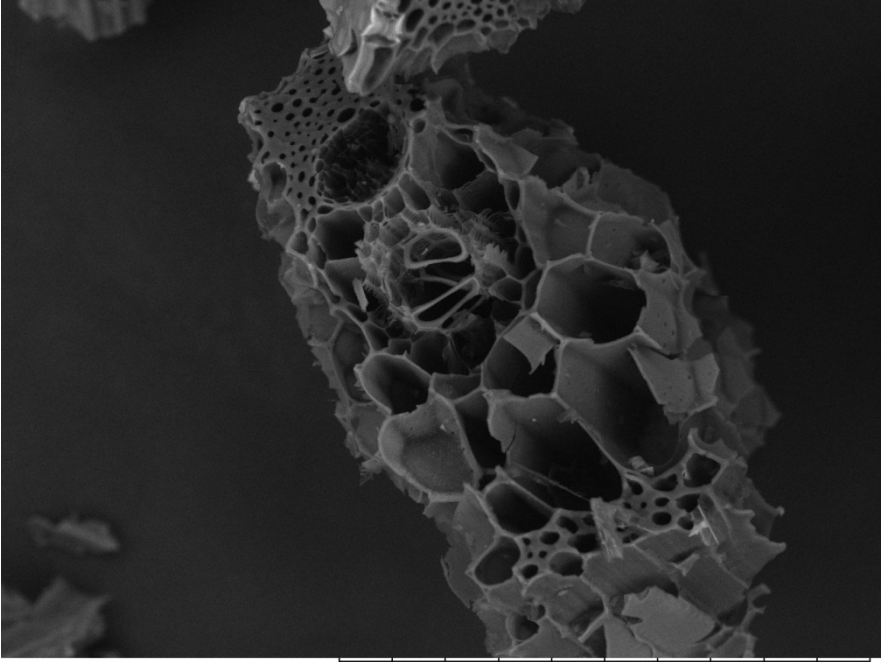
Данные EDX-анализа.

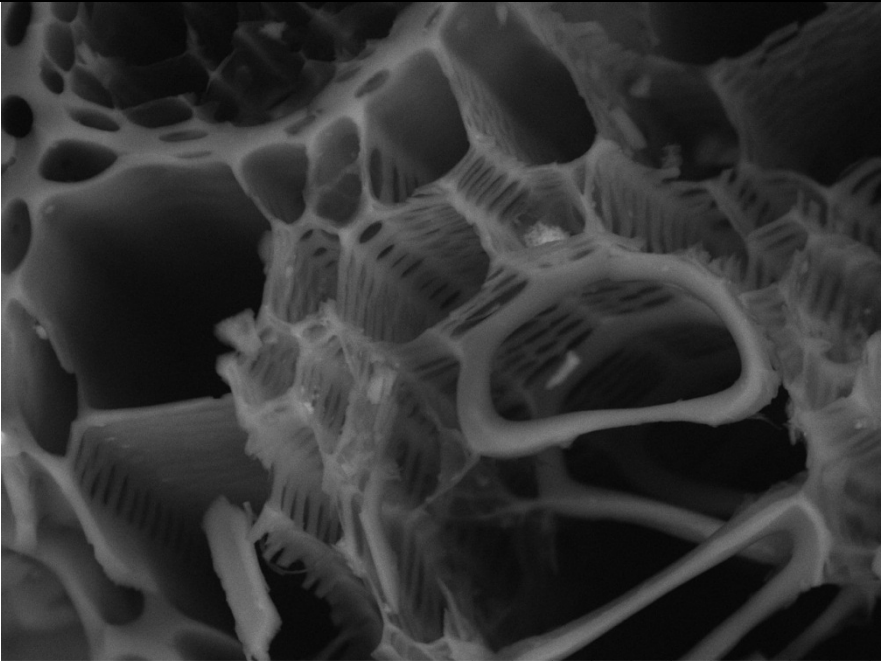


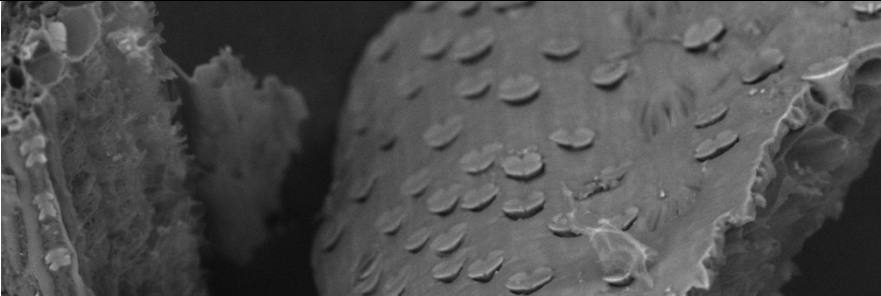
Spectrum: Point

Element	AN	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
Carbon	6	K-series	51.02	63.50
Oxygen	8	K-series	27.79	25.96
Silicon	14	K-series	15.18	8.08
Potassium	19	K-series	4.26	1.63
Calcium	20	K-series	0.70	0.26
Magnesium	12	K-series	0.44	0.27
Chlorine	17	K-series	0.25	0.11
Phosphorus	15	K-series	0.20	0.10
Aluminium	13	K-series	0.17	0.09
Total:			100.00	100.00

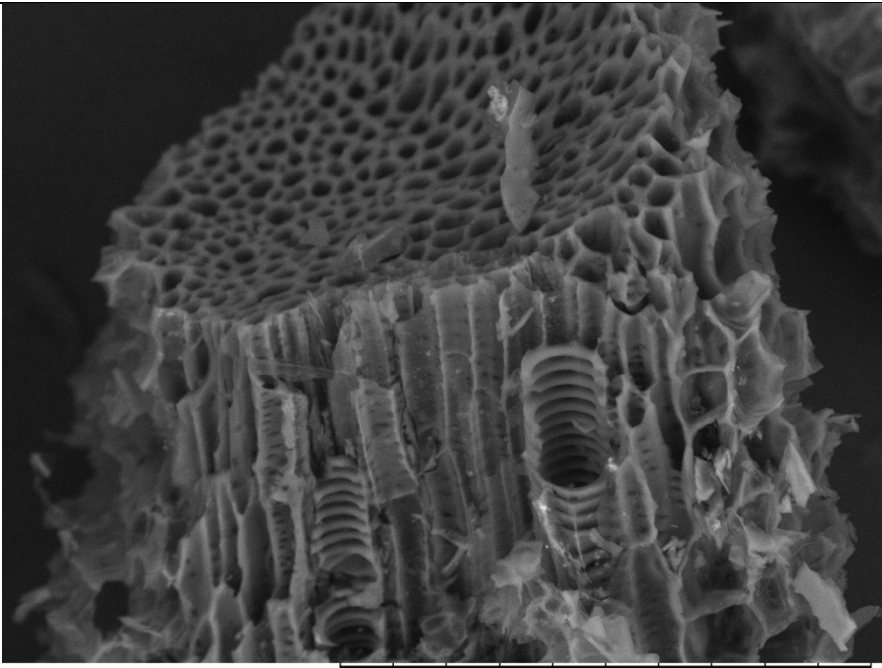
**Образец 2.**

6	 <p>Sample2-0004 NL D4.1 x500 200 µm</p>	Увеличение: 500x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
<i>Частица угля. Видна пористая структура</i>		

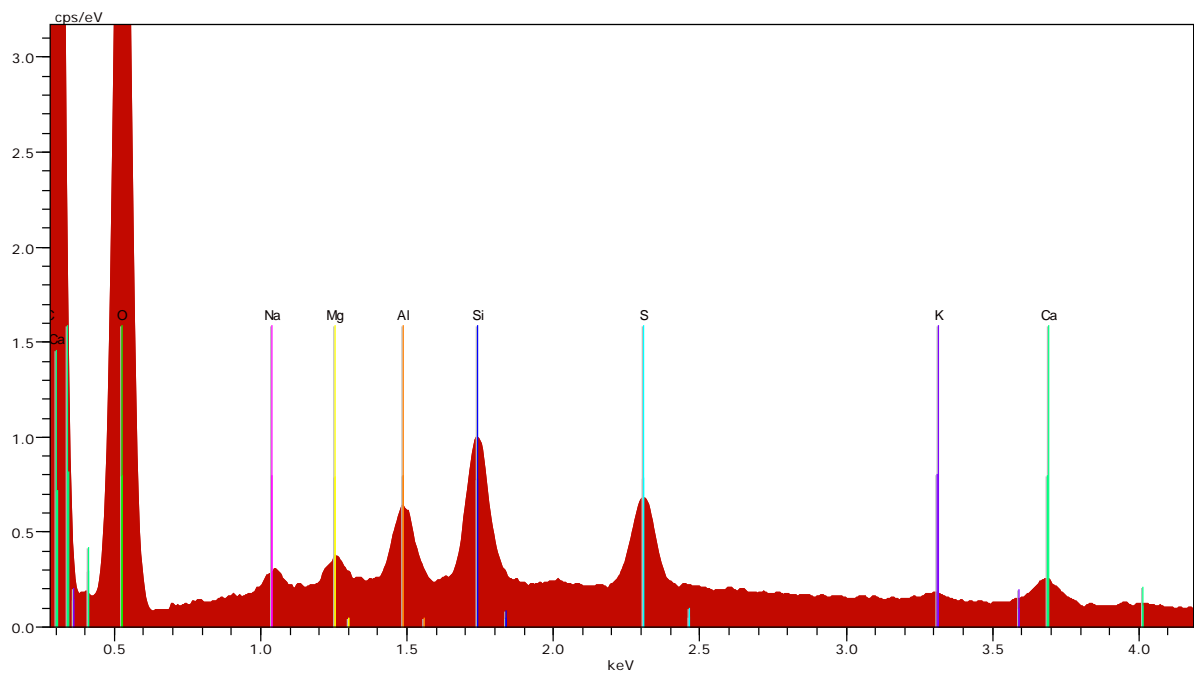
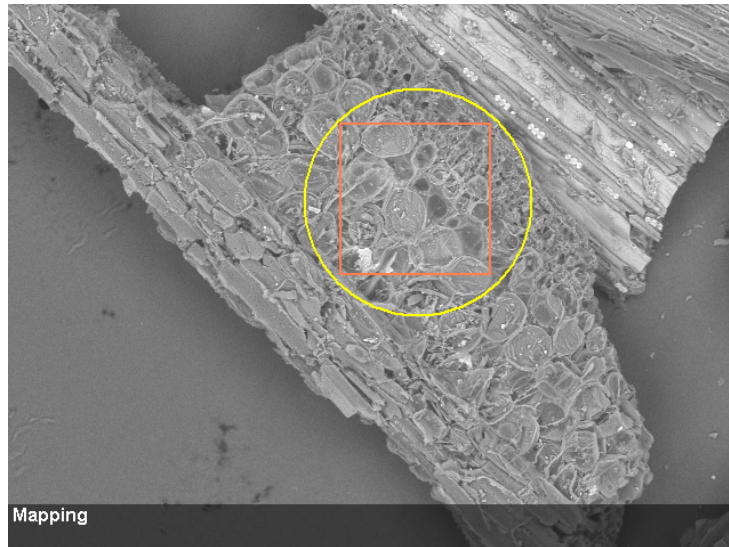
7	 <p>Sample2-0005 NL D4.0 x2.5k 30 µm</p>	Увеличение: 2500x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
<i>Частица угля при большем увеличении.</i>		

8		Увеличение: 500x
---	--	---------------------

		Ускоряющее напряжение 15 kV
	<i>Другая частица.</i>	

9	 <p>Sample2-0007 NL D4.2 x1.0k 100 μm</p>	Увеличение: 1000x
	<i>Другая частица. Видна ярко выраженная трубчатая структура.</i>	Ускоряющее напряжение 15 kV

Данные EDX-анализа.

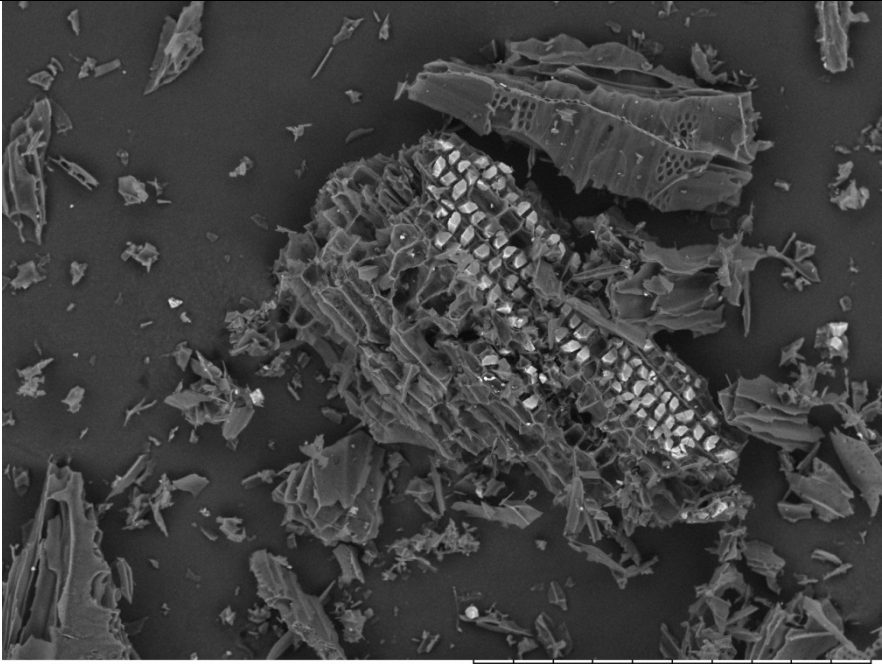


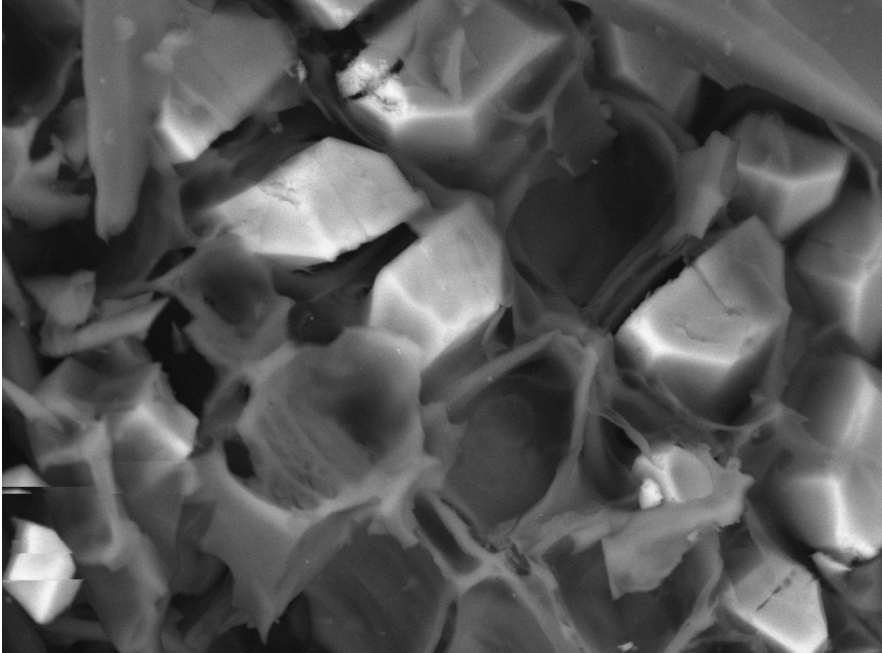
Spectrum: Point

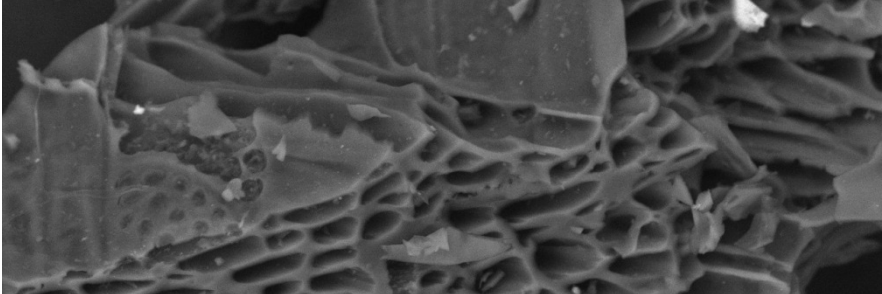
Element	AN	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
Carbon	6	K-series	59.02	66.47
Oxygen	8	K-series	38.11	32.22
Silicon	14	K-series	0.96	0.46
Sulfur	16	K-series	0.68	0.29
Aluminium	13	K-series	0.45	0.23
Calcium	20	K-series	0.38	0.13
Sodium	11	K-series	0.17	0.10
Magnesium	12	K-series	0.13	0.07
Potassium	19	K-series	0.09	0.03
Total:			100.00	100.00



**Образец 3.**

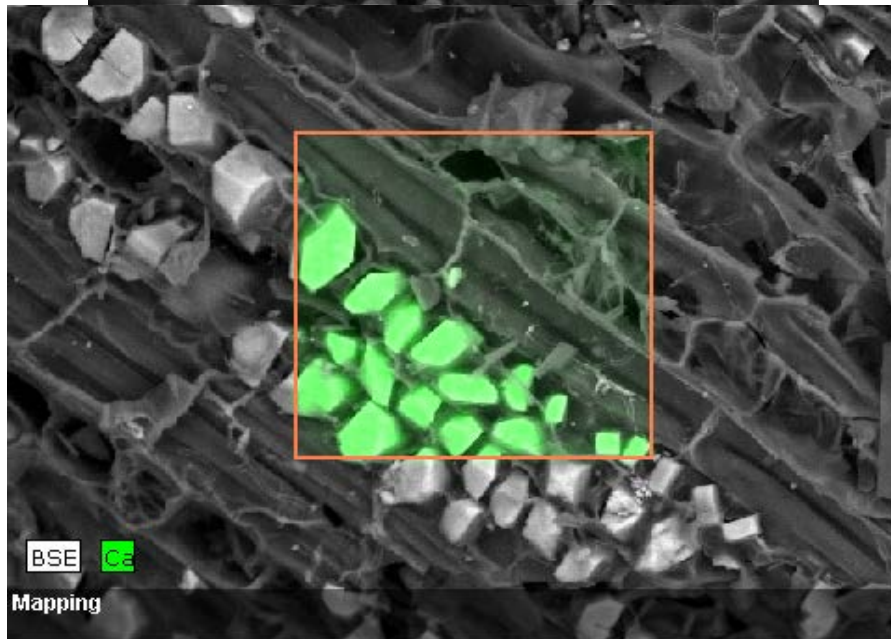
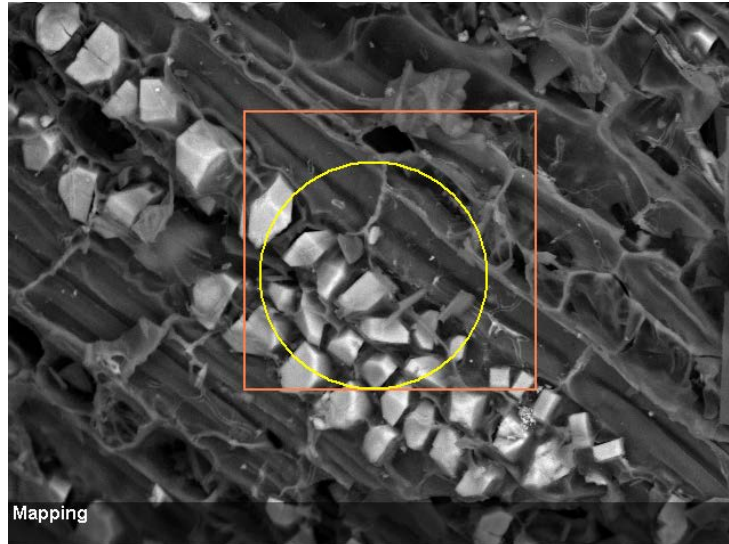
10	 <p data-bbox="287 795 1173 840">Sample3-0001 NL D4.3 x250 300 µm</p>	Увеличение: 250x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
<i>Частица угля.</i>		

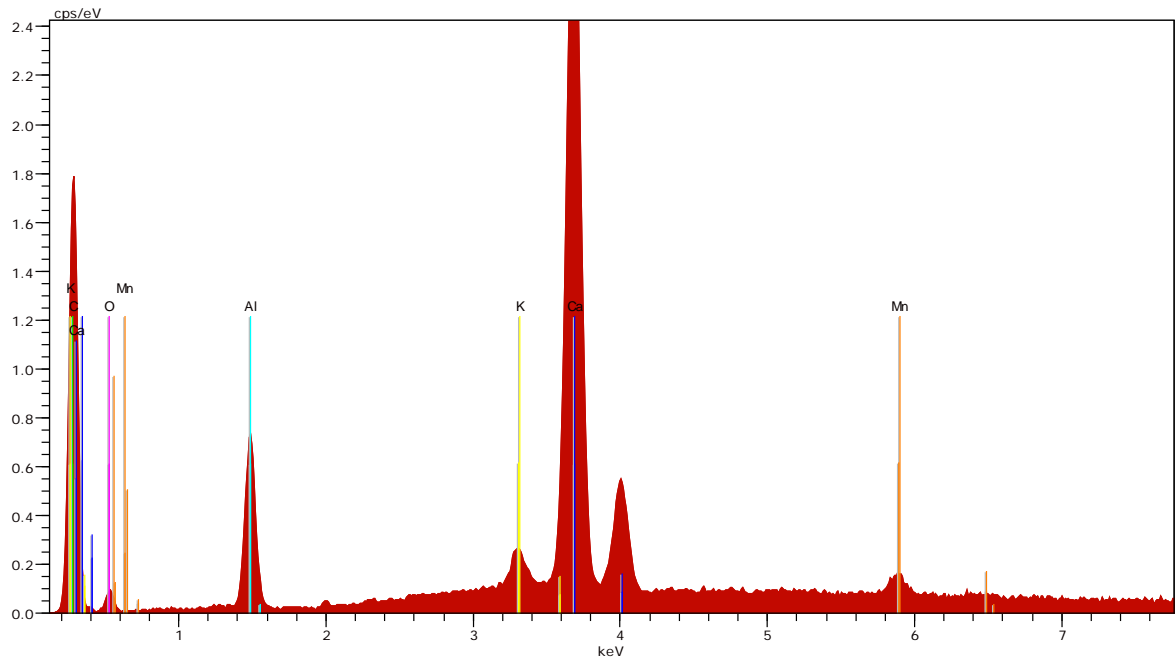
11	 <p data-bbox="287 1579 1173 1635">Sample3-0003 NL D4.3 x2.5k 30 µm</p>	Увеличение: 2500x
		Ускоряющее напряжение 15 kV
<i>Частица угля при большем увеличении</i>		

12		Увеличение: 1000x
----	--	----------------------

		Ускоряющее напряжение 15 kV
	Частица угля. Видна трубчатая структура	

Данные EDX-анализа.





Spectrum: Point

Element	AN	Series	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]
Carbon	6	K-series	40.51	63.76
Calcium	20	K-series	32.03	15.11
Aluminium	13	K-series	18.47	12.94
Oxygen	8	K-series	5.79	6.85
Potassium	19	K-series	1.73	0.84
Manganese	25	K-series	1.47	0.51
Total:			100.00	100.00

## Выводы по демо-исследованию:

### Выводы

Использование настольного сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3030 позволило получить ценные результаты при исследовании:

- 1) Изучена морфология частиц биоуглей. Все образцы имеют развитую морфологию.
- 2) Получены данные элементного состава частиц биоуглей, обнаружено наличие большого количества кислорода (образцы 1 и 2), который, возможно, адсорбирован на поверхности. Сигнал алюминия может быть наведён материалом столика (низкая плотность образцов). Проведенный элементный анализ следует считать полуколичественным ввиду высокой пористости образца и неровности поверхности. Для получения количественного анализа необходима соответствующая пробоподготовка.
- 3) Для образца 3 получена карта распределения элементов, видно, что светлые частицы содержат большое количество кальция.

### Ссылки

1. Jindo K., Muzumoto H., Sawada Y., Sanchez-Monedero M.A., Sonoki T. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues// Biogeosciences, 11, 2014, 6613–6621.
2. Fungai N. D. Mukome, Xiaoming Zhang, Lucas C. R. Silva, Johan Six, and Sanjai J. Parikh Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks// J Agric Food Chem., 61(9), 2013, 2196–2204.



**За дополнительной информацией обращайтесь в компанию Интерлаб**

127055, Москва, Тихвинский пер., д.11 стр.2  
т. (495) 788-09-83, ф. (495) 755-77-61  
[www.interlab.ru](http://www.interlab.ru)  
e-mail: [interlab@interlab.ru](mailto:interlab@interlab.ru)

**Екатеринбург:**  
т. (343) 379-57-33,  
ф. (343) 379-57-34  
e-mail: [ural@interlab.ru](mailto:ural@interlab.ru)

**Новосибирск:**  
т. (383) 330-56-91  
ф. (383) 330-56-03  
e-mail: [nsk@interlab.ru](mailto:nsk@interlab.ru)

**Санкт Петербург:**  
т/ф. (812) 643-14-23  
e-mail: [spb@interlab.ru](mailto:spb@interlab.ru)