

## **Влияние на биовъглен в комбинация с азотно торене върху устойчивостта на почвената структура на Алувиално-ливадна почва**

**Милена Митова\*, Мартин Ненов, Светла Русева**

*ИПАЗР „Н. Пушкиarov“, София*

**E-mail\*:** milenaluch@abv.bg

### **Резюме**

При условията на леко до средно пясъчливо-глинеста Алувиално-ливадна почва от ОП Цалалица през периода 2019-2021 е изведен полски експеримент с царевица за проучване на изменението на устойчивостта на почвената структура под влияние на комбинирано внасянето на биовъглен от дъбови кори при 400° С (0, 10 и 20 t/ha) с азотно торене (130 и 260 kg/ha). Установено е значително и статистически значимо нарастване на водоустойчивите агрегати с размер 3-1 mm и почвения слой 0-40 cm както на втората, така и на третата година от внасяне на 5 t/ha биовъглен с 130 kg/ha азотен тор. При тази норма на азотно торене, внасянето на 10 t/ha биовъглен е с по-силен ефект през втората, спрямо третата година от внасянето му. Подобни закономерности се наблюдават и при вариантите с 260 kg/ha азотен тор, но ефектът от прилагането на биовъглен е значим само на третата година от внасянето на 5 t/ha. Водоустойчивостта на почвената структура, оценена чрез индекса за водоустойчивост (Sd/Sw), показва подобни тенденции както и останалите изследвани структурни показатели.

**Ключови думи:** Алувиално-ливадна почва, биовъглен, азотно торене, структура на почвата, водоустойчивост на почвените агрегати

## **Impact of biochar combined with nitrogen fertilization on soil structure stability of Fluvisol**

**Milena Mitova\*, Martin Nenov, Svetla Rousseva**

*ISSAPP „N. Poushkarov“, Sofia*

**Corresponding author\*:** milenaluch@abv.bg

**Citation:** Mitova, M., Nenov, M., & Rousseva, S. (2022). Impact of biochar combined with nitrogen fertilization on soil structure stability of Fluvisol. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 56(4), 30-40.

## Abstract

Field experiment with corn was carried out on sandy loam Fluvisol at the experimental field Tsalapitsa in the period 2019-2021, to study the modifications in soil structure stability under the influence of combined amendment of biochar of oak bark at 400°C (0, 10 and 20 t/ha) with nitrogen fertilization (130 and 260 kg/ha). Important and statistically significant increase in water-stable aggregates of size 3-1 mm in the soil layer 0-40 cm was found in both the second and third year of amending 5 t/ha of biochar with 130 kg/ha of nitrogen fertilizer. At this rate of nitrogen fertilization the introduction of 10 t/ha of biochar has a stronger effect in the second compared to the third year of its application. Similar relationships are observed at application of 260 kg/ha nitrogen fertilizer, but the effect of biochar was significant only in the third year of introduction 5 t/ha. The water resistance of the soil structure assessed by the water resistance index (Sd/Sw), shows similar trends as the rest of the studied structural indicators.

**Key words:** Fluvisol, biochar, nitrogen fertilization, soil structure, water stability of soil aggregates

## Въведение

Почвата е незаменим ограничен невъзобновим природен ресурс. Площта на земите за селскостопански нужди намалява непрекъснато в резултат на нарастващия натиск на постоянно растящите нужди на обществото. Необходимо е научните изследвания да се насочат към компенсиране на постоянната загуба на почва чрез подобряване на качеството ѝ. Едно от основните физични свойства на почвата е нейната структура. Ключова роля има поддържането на благоприятни химични, физични и биологични свойства на почвата. Технологиите с добавяне на биовъглен е особено полезна при почви с ниско съдържание на органичен въглерод, който е от основно значение за подобряване на почвените свойства.

В последно време поради недостиг на традиционни органични торове (оборски тор) нарастна интересът към използване на алтернативни източници на органично вещество, включително и биовъглен. Биовъгленът се получава в резултата на непълно изгаряне на ароматни химични съединения, които

се разлагат бавно в почвата и освобождават компоненти, участващи в синтеза на хумусните вещества. Същевременно биовъгленът има висока способност да адсорбира химични вещества като предотвратява измиването на хранителните елементи от почвата с повърхностните води (Kercheva et al., 2021). Извършени са много изследвания, свързани с влиянието на биовъглена върху плодородието на почвата (Ding et al., 2016), емисиите на парникови газове (Brassard et al., 2016), химичните и някои физични свойства на почвата (Brassard et al., 2016; Ding et al., 2016; Mukherjee & Lal, 2013, 2014, 2017). Необходими са по-задълбочени изследвания, свързани с въздействието на внасяне на биовъглена, комбинирано с азотно торене върху физичните свойства на почвата.

Целта на това проучване е да се оцени ефекта от внасянето на биовъглен в комбинация с азотно торене върху структурата и водоустойчивостта на почвените агрегати на Алувиално-ливадна почва.

## Материали и методи

Изследването е проведено при условията на полски експеримент с царевица върху Алувиално-ливадна почва (Alluvial-Meadow soil (Fluvisol – FAO)) в ОП на ИПАЗР „Н. Пушкиров“ в Цалапица. Полският експеримент е заложен по блоковия метод в четири повторения с три нива на внасяне на биовъглен – 0, 5 и 10 t/ha при две нива на азотно торене – K1 (130 kg/ha) и K2 (260 kg/ha). Извършени са редица изследвания за влиянието при внасянето на Биовъглен върху Алувиално-ливадна почва Benkova et al. (2022).

Почвата е леко до средно пясъчливо-глинеста в повърхностния слой и средно до тежко пясъчливо глинеста в слоя под него. Обемната плътност на почвата е 1,47-1,62 g/cm<sup>3</sup>. По целия профил липсват карбонати. Реакцията е слабо кисела в орницата до неутрална в долната част на почвения профил (pH 6,1-6,5).

Извършено е пробонабиране от слоевете 0-20, 20-40 и 40-60 cm преди залагане на полските експерименти (22.04.2019), и от слоевете 0-20 и 20-40 cm след прибиране на реколтата през 2021 (5.10.2021) (таблица 1). При варианти В(1) биовъгленът е внасян през 2019, а при варианти В(2) – през 2020. Азотен тор е внасян през всяка от годините на експеримента – 2019, 2020, 2021.

Структурата на почвата е оценена чрез размера, конфигурацията, разпределението и водоустойчивостта на почвените агрегати. Разпределението по размери на сухите структурни агрегати е мярка за разграждане на почвата в почвени агрегати с различен размер. Агрегатните фракции са определени чрез ръчно сухо пресяване на изсушена на въздух почва (около 300 g), като се използва набор от сита, разположени с намаляващ отгоре надолу размер в реда 10, 5, 3, 1 и 0,25 mm. Масата на фракцията на агрегатите ( $w_i$ ) е изразена като процент на въздушно суха почва. Структурата на почвата е оценена въз основа на съдържанието на една основна фракция (3-1 mm), както и средният тегловен диаметър на сухите агрегати по уравнението

на van Bavel (1950):

$$MWD_{dry} = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{100} \cdot \bar{d}_i$$

където  $n$  е броят на фракциите на агрегатите ( $n = 6$ : 15-10, 10-5, 5-3, 3-1, 1-0,25, <0,25 mm),  $\bar{d}_i$  е средният диаметър на фракция  $i$  (12,5, 7,5, 4,0, 2,0, 0,625, 0,125 mm) и  $w_i$  е теглото на агрегатите във фракция  $i$ , изразено като процент от сухата почвена проба.

Водоустойчивостта на агрегатите е оценена по метода на Вершинин и Ревут (Vershinin & Revut, 1952; Revut, 1964) чрез мокро пресяване в устройството на Савинов (модификация на Вершинин и Ревут) един час след директно потапяне на проба от въздушно сухи почвени агрегати във вода. Устройството се състои от набор от сита 5, 3, 1 и 0,25 mm, които остават потопени във вода по време на цялата процедура. Наборът сита се издига на 10 cm от основата и се спуска 10 пъти под действие на собственото му тегло, а след това допълнително последните две сита се промиват 5 пъти. Останалите на всяко сито почвени агрегати се отделят и се сушат при 105° C. Изследването за водоустойчивост е проведено за три почвени проби от сухото пресяване по 20 g въздушно сухи агрегати от единична фракция 3-1 mm, т.е. средният диаметър на пробата е 2 mm. Масата на водоустойчивите агрегати за единична фракция 3-1 mm се определя като процент от сухата почва. Определена е и скелетната част/пясък (>1 mm) на водоустойчивата фракция 3-1 mm. За тази цел структурните агрегати от тази фракция се разрушават чрез смесване с 0,5% разтвор на натриев хексаметафосфат. След престой от едно денонощие отново се пресяват. По този начин се отделят скелетните частици, влизащи в състава на фракцията 3-1 mm, изсушават се и се претеглят.

Освен процентното съдържание на водоустойчиви агрегати във фракциите, общото количество агрегати с размер, по-голям и по-малък от 0,25 mm, водоустойчивостта на агрегатите е изразена и чрез съотношението на средните диаметри

( $MWDR = MWD_{wet}/MWD_{dry}$ ) на агрегатите (2 mm за единична фракция 3-1 mm) след и преди мокро пресяване на почвата (Dilkova, 1986). Сухата маса на почвата е изчислена въз основа на резултата от съдържанието на влага, което се определя чрез сушене в термостат до постоянна маса на пробите при 105° C. MWDR има стойност в границите между 0 и 1. По-високи стойности на MWDR означават по-голям дял на структурните агрегати на почвата с размер 3-1 mm, които са водоустойчиви, т.е. почвената структура е с по-висока водоустойчивост при по-високи стойности на MWDR.

Извършена е и оценка на структурното състояние на почвата, т.е. нейната агрегираност чрез индекс за водоустойчивост. Методът е основан на определяне на специфичната външна повърхност на агрегатите, отнесена за маса почва 1 g. Сумарната външна повърхност на почвените агрегати се изчислява по съдържанието на агрегатите с различен размер, определен от ситата с големина на отворите (Penkov et al., 1981). Изчисляването на общата повърхност на агрегатите се извършва по формулата:

$$S = 0,6 \sum_i m_i/d_i$$

където S е сумарна обща външна повърхност на един грам агрегати в  $cm^2/g$

$d_i$  – среден диаметър на агрегатите, mm

$m_i$  – съдържание на агрегатите в даден размер в почвата, %

Индексът на водоустойчивост ( $Sd/Sw$ ) е изчислен като съотношението на външната средна относителна повърхност на сухите и водоустойчивите агрегати. Стойността на  $Sd/Sw$  е в границите между 0 и 1. Почвената структура е толкова по-устойчива, колкото  $Sd/Sw$  е по-нисък.

## Резултати и обсъждане

В разпределението по размери на структурните агрегати преобладава фракцията на агрономически ценните агрегати 10-0,25 mm, която намалява от около 75% в слоя 0-20 cm, до 68% в слоя 20-40 cm средно за всички изследвани варианти

(таблица 2). Сходна е и тенденцията на разпределението на водоустойчивите агрегати (таблица 2, фиг. 1), като в слоя до 40 cm близо 1/3 от водоустойчивите агрегати са с размер 3-1 mm.

Описаните особености в разпределението на структурните и водоустойчивите агрегати обяснява и тенденциите в обобщените показатели за почвената структура. Според данните за съотношението на средно-претеглените диаметри на водоустойчивите и структурните агрегати (MWDR) дялът на водоустойчивите структурни агрегати в слоя до 0-20 cm варира в по-широки граници (от 0,33 до 0,52) в сравнение със слоя 20-40 cm (от 0,40 до 0,48) (таблица 2, фиг. 1). Индексът на водоустойчивост ( $Sd/Sw$ ) нараства с 20 % от 0,5 в слоя 0-20 cm до 0,6 в слоя 20-40 cm (таблица 2, фиг. 2), т.е. почвената структура в слоя 0-20 cm е по-устойчива.

На този осреднен фон се очертава ясно комбинираното влияние на внесения биовъглен и азотен тор върху изследваните величини за характеризиране на почвената структура. При вариантите с комбинирано внасяне на биовъглен и азот се наблюдава значително и статистически значимо нарастване на водоустойчивите агрегати с размер 3-1 mm, и в двата изследвани почвени слоя както на втората (6,4-7,5%), така и на третата година (6-11,8 %) от внасяне на 5 t/ha биовъглен с 130 kg/ha азотен тор (таблица 2, таблица 3, фиг. 1). Не е установена статистически значима разлика в дела на водоустойчивите агрегати с размер 3-1 mm между нетретиранията почва и почвата с по-ниската норма на внесен азот (130 kg/ha), докато вариантът с по-високата норма на азотно торене водоустойчивостта на агрегатите е значително по-висока.

Стойностите на показателя за водоустойчивост MWDR в слоя 0-20 cm при нетретиранията почва са по-ниски спрямо почти всички варианти с комбинирано внасяне на биовъглен и азотен тор. Изключения правят резултати от третата година от внасяне на 10 t/ha биовъглен. Ясно се открояват най-високите стойности на MWDR в слоя 0-20 cm както през втората (0,48), така и през третата година (0,52) от внасяне на

**Таблица 1.** Описание на вариантите на пробонабиране на внасяне на биовъглен, комбинирано с азотно торене на Алувиално ливадна почва от ОП в Цалапица

**Table 1.** Description of sampling variants for biochar application combined with nitrogen fertilization of alluvial meadow soil from experimental field in Tsalapitsa

Варианти/ Variants	Дълбочина/ Depth, cm	Описание/ Description
Изходна почва/ Reference	0-20; 20-40; 40-60	без биовъглен, без азотно торене
K1N130	0-20; 20-40	без биовъглен, азотно торене N 130 kg/ha
B(1)5N130	0-20; 20-40	с биовъглен 5 t/ha и азотно торене 130 kg/ha
B(1)10N130	0-20; 20-40	с биовъглен 10 t/ha и азотно торене 130 kg/ha
B(2)5N130	0-20; 20-40	с биовъглен 5 t/ha и азотно торене 130 kg/ha
B(2)10N130	0-20; 20-40	с биовъглен 10 t/ha и азотно торене 130 kg/ha
K2N260	0-20; 20-40	без биовъглен, азотно торене 260 kg/ha
B(1)5N260	0-20; 20-40	с биовъглен 5 t/ha и азотно торене 260 kg/ha
B(1)10N260	0-20; 20-40	с биовъглен 10 t/ha и азотно торене 260 kg/ha
B(2)5N260	0-20; 20-40	с биовъглен 5 t/ha и азотно торене 260 kg/ha
B(2)10N260	0-20; 20-40	с биовъглен 10 t/ha и азотно торене 260 kg/ha

**Таблица 3.** Обобщени резултати от анализа на вариациите на данните за съдържание на водоустойчиви агрегати (BVA, %) 1-3 mm

**Table 3.** Summary results of the analysis of variations of the data for the content of water stable aggregates (WSA, %) 1-3 mm

Варианти/ Variants	0-20 cm			20-40 cm		
	mean		stdev	mean		stdev
K0	27,3	bc	1,6	31,9	ab	2,5
K1N130	28,7	bcd	1,2	30,9	a	2,4
B(1) 5 N130	35,7+++	f	2,0	37,6+++	c	0,9
B(1) 10 N130	32,9+++	ef	2,7	35,6+	bc	1,2
B(2) 5 N130	39,7+++	g	0,7	37,6+++	c	1,6
B(2) 10 N130	28,7	bcd	3,4	35,9+	bc	2,1
K2N260	31,4++	de	2,1	33,9	abc	3,6
B(1)5 N260	21,1+++	a	2,5	32,7	ab	2,6
B(1)10 N260	30,5+	cde	2,7	35,7+	bc	4,3
B(2)5N260	34,0+++	ef	1,9	30,9	a	2,6
B(2)10N260	26,7	b	2,2	33,4	abc	2,0
F	15,4			2,86		
p	0,000			0,0193		
НМДР LSD p=0,10	3,1			3,5		
НМДР LSD p=0,05	3,7			4,3		
НМДР LSD p=0,01	5,1			5,8		

**Таблица 2.** Процентно разпределение на сухите и водоустойчиви агрегати по размери, съотношението на средно претеглените диаметри (MWDR) и индекса за водоустойчивост (Sd/Sw)

**Table 2.** Percentage distribution of dry and water stable aggregates by size, mean-weighted diameter ratio (MWDR) and water stability index (Sd/Sw)

Вариант/ Variant	Дълбочина/ depth, cm	Разпределение на сухите агрегати по размери/ Dry aggregates size- distribution,%			Разпределение на водоустойчивите агрегати по размери/ Water stable aggregates size-distribution, %			Скелет/ Gravel 3-1 mm, %	MWDR	Sd/Sw
		>10 mm	10-0,25 mm	< 0, 2 5 mm	3-1 mm	1-0,25 mm	< 0,25 mm			
Негритирана почва	0-20	16,9	75,9	7,2	26,9	27,0	46,2	15,3	0,39	0,3
	20-40	13,1	77,3	9,7	31,1	26,2	42,7	17,8	0,44	0,3
K1N130	0-20	17,4	74,2	8,4	28,7	28,5	42,8	16,3	0,41	0,2
	20-40	21,0	70,9	8,1	29,6	23,3	47,2	17,4	0,42	0,3
B(1) 5 N130	0-20	20,7	70,4	8,9	34,4	29,5	36,1	20,5	0,48	0,3
	20-40	33,3	58,3	8,4	37,5	20,4	42,1	24,1	0,47	0,3
B(1) 10 N130	0-20	12,2	76,3	11,5	32,1	29,8	38,2	18,6	0,46	0,3
	20-40	23,6	67,7	8,6	35,2	21,3	43,5	21,7	0,46	0,3
B(2) 5 N130	0-20	25,9	64,5	9,6	38,6	28,8	32,6	22,0	0,52	0,5
	20-40	31,6	59,7	8,7	37,1	21,1	41,7	22,6	0,48	0,3
B(2) 10 N130	0-20	14,0	75,7	10,3	28,8	30,1	41,1	16,3	0,41	0,3
	20-40	26,3	65,1	8,6	35,9	19,8	44,3	22,0	0,45	0,3
K2N260	0-20	15,8	73,9	10,3	30,9	29,9	39,3	16,1	0,44	0,4
	20-40	34,1	58,6	7,2	33,9	21,9	44,3	18,7	0,44	0,2
B(1)5 N260	0-20	10,0	82,3	7,7	20,7	27,7	51,5	11,8	0,33	0,3
	20-40	22,8	70,9	6,3	32,9	22,0	45,1	20,2	0,43	0,2
B(1)10 N260	0-20	8,3	82,3	9,4	30,0	27,4	42,6	17,0	0,42	0,3
	20-40	24,6	67,5	7,9	34,8	25,5	39,7	20,3	0,47	0,3
B(2)5N260	0-20	14,6	75,4	9,9	33,2	31,5	35,4	19,9	0,45	0,4
	20-40	15,8	76,1	8,0	30,2	17,1	52,6	17,4	0,40	0,2
B(2)10N260	0-20	16,5	74,0	9,5	26,5	25,1	48,4	14,8	0,38	0,3
	20-40	19,0	73,5	7,5	33,5	18,1	48,4	20,4	0,43	0,2

**Таблица 4.** Обобщени резултати от дисперсионния анализ на данните за показателя за водоустойчивост на фракция 1-3 mm (MWDR)

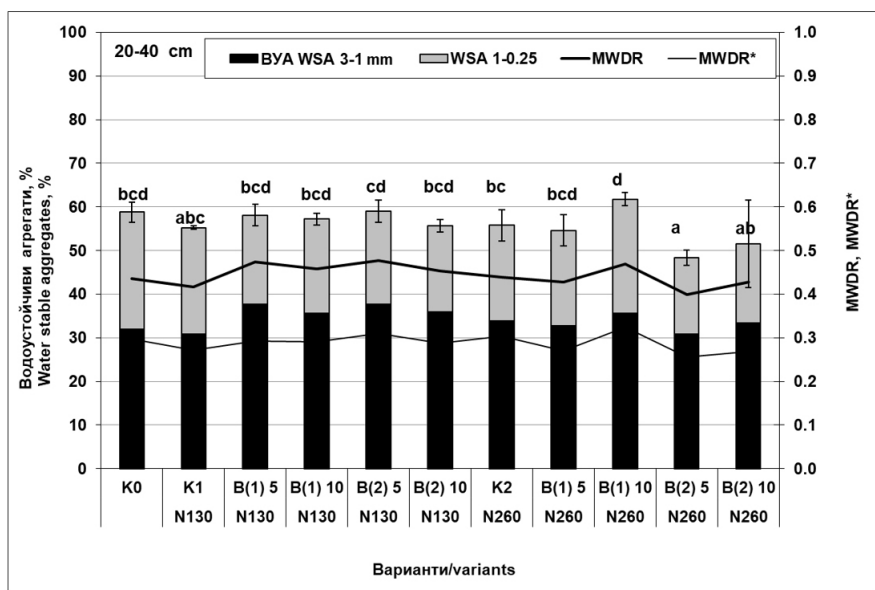
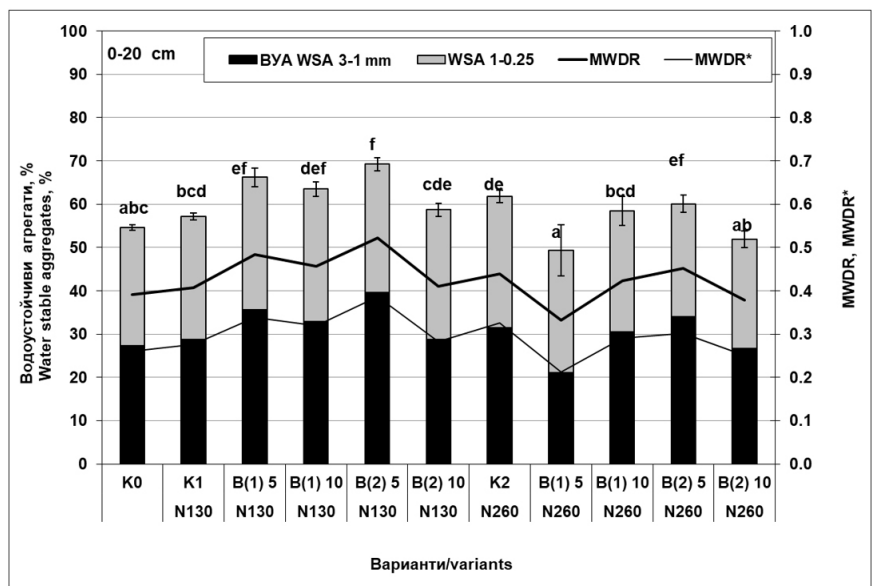
**Table 4.** Summary results of the analysis of variance of the data for the mean-weighted diameters ratio for 1-3 mm fraction (MWDR)

Варианти/ Variants	0-20 cm			20-40 cm		
	средно/mean		stdev	средно/mean		stdev
K0	0,39	bc	0,01	0,44	abcd	0,02
K1N130	0,41	bcd	0,01	0,42	ab	0,02
B(1) 5 N130	0,48+++	fg	0,02	0,47+	de	0,01
B(1) 10 N130	0,46+++	ef	0,02	0,46	cde	0,01
B(2) 5 N130	0,52+++	g	0,01	0,48++	e	0,02
B(2) 10 N130	0,41	bcd	0,03	0,45	bcde	0,01
K2N260	0,44+++	de	0,02	0,44	abcd	0,04
B(1)5 N260	0,33+++	a	0,03	0,43	abc	0,02
B(1)10 N260	0,42+	cde	0,03	0,47+	de	0,03
B(2)5N260	0,45+++	ef	0,01	0,40+	a	0,02
B(2)10N260	0,38	b	0,02	0,43	abc	0,04
F	19,25			3,61		
p	0,000			0,0057		
НМДР p=0,10	LSD 0,03			0,03		
НМДР p=0,05	LSD 0,04			0,04		
НМДР p=0,01	LSD 0,05			0,05		

**Таблица 5.** Обобщени резултати от анализа на вариациите на данните за индекса на водоустойчивост (Sd/Sw)

**Table 5.** Summary results of the analysis of variations of the data for the soil aggregate water stability index (Sd/Sw)

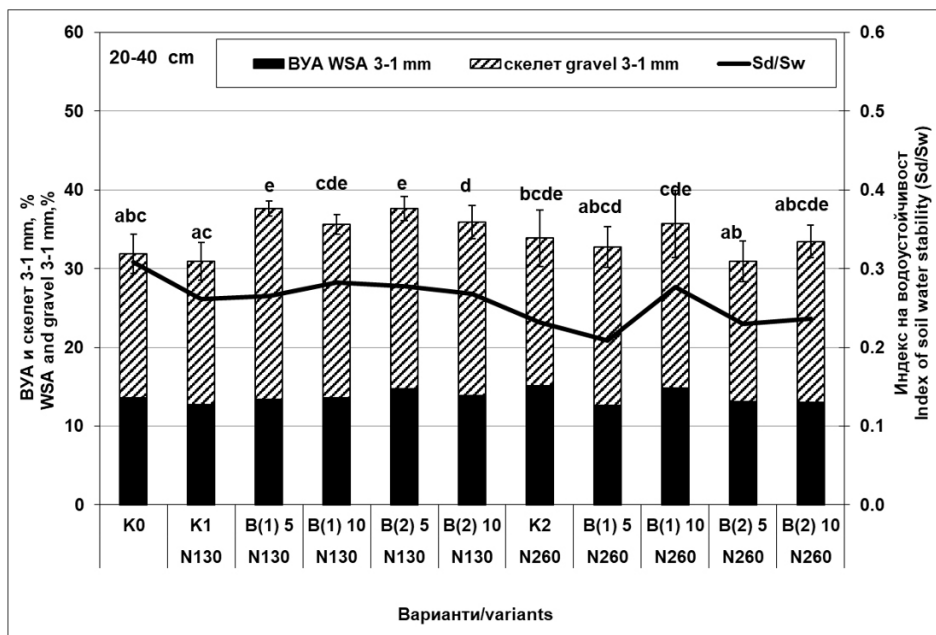
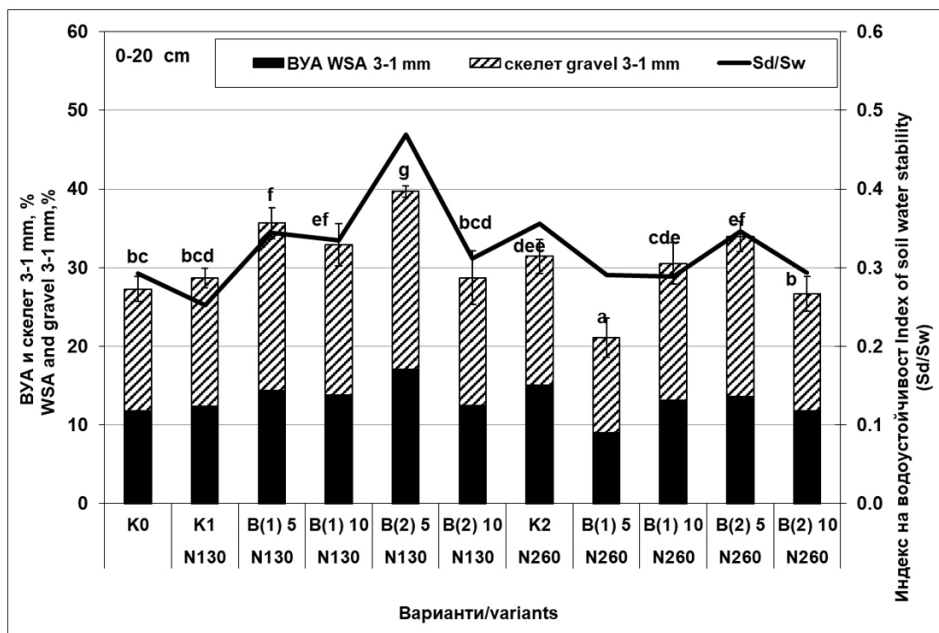
Варианти/ Variants	0-20 cm			20-40 cm		
	средно/mean		stdev	средно/mean		stdev
K0	0,29	b	0,00	0,31	e	0,01
K1N130	0,25+++	a	0,00	0,26+++	d	0,00
B(1) 5 N130	0,34+++	d	0,02	0,26+++	cd	0,01
B(1) 10 N130	0,33+++	cd	0,01	0,28+++	d	0,01
B(2) 5 N130	0,47+++	e	0,01	0,28+++	d	0,01
B(2) 10 N130	0,31+++	bc	0,01	0,27+++	d	0,01
K2N260	0,36+++	d	0,01	0,23+++	ab	0,01
B(1)5 N260	0,29	b	0,02	0,21+++	a	0,01
B(1)10 N260	0,29	b	0,02	0,28++	d	0,01
B(2)5N260	0,35+++	d	0,01	0,23+++	ab	0,01
B(2)10N260	0,29	b	0,01	0,24+++	bc	0,03
F	46,93			11,44		
p	0,0000			0,000		
НМДР p=0,10	LSD 0,020			0,021		
НМДР p=0,05	LSD 0,025			0,026		
НМДР p=0,01	LSD 0,033			0,035		



**Фиг. 1.** Процентно участие на водоустойчиви агрегати с размер 3-1 mm и съотношение на среднопредетелените диаметри на структурните агрегати (MWDR) в почвените слоеве 0-20 cm и 20-40 cm зависимост от варианта на изследване

**Fig. 1.** Percentage participation of water-stable aggregates of size 3-1 mm and the ratio of mean-weighted diameters of structural aggregates (MWDR) in the soil layers 0-20 cm and 20-40 cm depending on the variant of the study





**Фиг. 2.** Процентно участие на водоустойчиви агрегати и скелетните фрагменти с размер 3-1 mm и индекса за водоустойчивост на почвената структура (Sd/Sw) в почвените слоеве 0-20 cm и 20-40 cm зависимость от варианта на изследване

**Fig. 2.** Percentage participation of water-stable aggregates and gravel fragments of size 3-1 mm and the index of soil structure water stability (Sd/Sw) in the soil layers 0-20 cm and 20-40 cm depending on the variant of the study

5 t/ha биовъглен, комбинирано с 130 kg/ha азотен тор (таблица 2, таблица 4, фиг. 1). За тези варианти се наблюдават и статистически значими разлики в стойностите на MWDR в слоя 20-40 cm.

Данните за индекса за водоустойчивост (Sd/Sw) следват общите тенденции, макар и с някои особености, установени за влияние на внасянето на биовъглен и азотен тор върху дела на водоустойчивите агрегати с размер 3-1 mm и съотношението на средно-претеглените диаметри на водоустойчивите и структурните агрегати (MWDR). В съответствие с изчислените стойности на този индекс водоустойчивостта на почвената структура в слоя 0-20 cm е по-ниска при нетретираната почва и вариантите с внесен биовъглен 5 t/ha и азот 130 t/ha на третата година, а също така и азот 260 kg/ha – както на втората, така и на третата година от внасянето на биовъглена (фиг. 2, таблица 2, таблица 5). Водоустойчивостта на почвената структура е по-висока при самостоятелно внасяне на азотен тор 130 kg/ha и комбинирането му с биовъглен 5 t/ha на третата година и 10 t/ha както на втората, така и на третата година от внасянето му. От вариантите с внасяне на азотен тор 260 kg/ha относително по-висока е водоустойчивостта на структурата при комбинирането му с 10 t/ha биовъглен на третата година от внасянето му (фиг. 2, таблица 2, таблица 5).

## Заклучение

Добавянето на биовъглен от дъбови кори (0, 5 и 10 t/ha), комбинирано с азотен тор 130 и 260 kg/ha, в Алувиално-ливадна почва повишава водоустойчивостта на почвената структура и има потенциал за иновативен метод за устойчиво управление на почвите в обработваемите земи.

При условията на полски експеримент с царевица е установено значително и статистически значимо нарастване на водоустойчивите агрегати с размер 3-1 mm в почвения слой 0-40 cm както на втората, така и на третата година от внасяне на 5 t/ha биовъглен с 130 kg/ha азотен тор.

При тази норма на азотно торене, внасянето

на 10 t/ha биовъглен е с по-силен ефект през втората, спрямо третата година от внасянето му.

Подобни закономерности се наблюдават и при вариантите с 260 kg/ha азотен тор, но ефектът от прилагането на биовъглен е значим само на третата година от внасянето на 5 t/ha. Водоустойчивостта на почвената структура, оценена чрез индекса за водоустойчивост (Sd/Sw), показва подобни тенденции както и останалите изследвани структурни показатели.

Получените резултати дават насоки за балансираното комбинирано прилагане на азотно торене и биовъглен.

## Благодарности

Тази разработка е финансирана от Национален фонд „Научни изследвания“, Министерство на образованието и науката, проект: № КР 06-H26/7 (2018–2022).

## Литература

- Benkova, M., Nenova, L., Simeonova, T., Petkova, G., Mikova, A., & Atanassova, I.** (2022). Influence of biochar addition to fluvisol on maize yield and soil microbiota. *Journal of Central European Agriculture*, 23(2), 413-422.
- Brassard, P., Godbout, S., & Raghavan, V.** (2016). Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: key parameters and mechanisms involved. *Journal of environmental management*, 181, 484-497.
- Dilkova, R.** (1986). *Structure and aeration of the major soil units in Bulgaria*. Habilitation thesis. ISS “N. Poushkarov”, Sofia (Bg).
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., ... & Zheng, B.** (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36(2), 1-18.
- Kercheva M., Doneva K., Dimitrov E., Stoynov St., Paparkova Ts., Donkova R.,... Rubio, C.** (2021). *Thermal properties of soils at diverse manners of landuse and melioration* (Bg).
- Mukherjee, A., & Lal, R.** (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), 313-339.
- Mukherjee, A., & Lal, R.** (2014). The biochar dilemma. *Soil Res.* 52, 217-230.
- Mukherjee, A., & Lal, R.** (2017). *Biochar and soil characteristics*. Encyclopedia of soil science, 3rd edn. CRC Press, Boca Raton, FL, 184-188.
- Penkov M., Dimitrova Yu., Christov I., & Kozarov Y.** (1981). *Guide on Soil Science* (Bg).

**Revut, I. B.** (1964). *Soil Physics*. Publ. Kolos, Leningrad, (Ru).

**Van Bavel, C. H. M.** (1950). Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Proceedings. *Soil Science Society of America*, 14, 20-23.

**Vershinin, P. V., & Revut, I. B.** (1952). *About the methodology for determining soil water stability*. Collection of works on agronomical physics, (Ru).