

Включение в севооборот на осваиваемых землях Нечерноземья ценных пропашных культур – важный залог быстрой окупаемости всего комплекса мелиоративных восстановительных работ. Высокая доходность (183,81 и 213,62 тыс. руб/га в год) возделывания требовательных пропашных культур на окультуренных почвах позволила снизить срок окупаемости затрат на ускоренное окультуривание почвы до хорошего и высокого уровня (81,6 и 197,9 тыс. руб/га) в среднем по овощекормовому севообороту до менее 2 лет.

Литература

1. *Агро-мелиоративные* приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий/ Под ред. В.А. Шевченко. – М.: ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, 2022. – 205 с.
2. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Филиппов П.А. Трансформация подвергшейся скрытой деградации агродерново-подзолистой почвы при ускоренном воспроизводстве ее плодородия // Российская сельскохозяйственная наука. – 2022. – № 5. – С. 24-29.
3. Иванов А.И., Вязовский А.А., Конашенков А.А., Петров И.И., Воробьев В.А. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // Агрохимический вестник. – 2019. – № 6. – С. 3-9.
4. Иванов А.И., Фесенко М.А., Вертебный В.Е., Дубовицкая В.И. Результаты исследований в многолетнем стационарном полевом опыте в семипольном севообороте // Агрофизика. – 2012. – № 3. – С. 50-57.

5. Иванов А.И., Янко Ю.Г. Мелиорация как необходимое средство развития земледелия Нечерноземной зоны России // Агрофизика. – 2019. – № 1. – С. 67-78.
6. Кирейчева Л.В., Шевченко В.А. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 2. – С. 12-16.
7. Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России/ Под ред. М.В. Архипова. – СПб.: Пушкин: СЗЦППО, 2018. – 135 с.
8. Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., Поляков В.А. Научные основы и технология использования удобрений и извести. – СПб.: СЗНИИСХ, 1997. – 52 с.
9. Никитин Б.А. Окультурирование почв Нечерноземья и регулирование их плодородия. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 277 с.
10. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года/ Под ред. Митина С.Г., Иванова А.Л. – М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. – 400 с.
11. Соколов И.В. Освоение запущенных земель в Ленинградской области: проблема не одна // Агрофизика. – 2020. – № 2. – С. 27-33.
12. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 325 с.
13. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.
14. Шевченко В.А. Современное состояние вышедших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения. – М.: ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова, 2021. – 410 с.

SECONDARY CULTIVATION OF SOILS IS AN URGENT NEED OF MODERN AGRICULTURE

*A.I. Ivanov, chief research fellow, D. Sc. (Agr.), prof., corresponding member of the RAS, Agrophysical Research Institute
Zh.A. Ivanova, senior researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Agrophysical Research Institute
P.A. Filippov, junior researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Agrophysical Research Institute*

During a long-term stationary field experiment in vegetable and forage crop rotation, the parameters of agronomic and economic efficiency of accelerated cultivation of degraded sandy loam agricultural sod-podzolic soil on demanding row crops were established. According to the responsiveness of crops to soil cultivation, a descending series was formed: white cabbage > table beet > potato. According to the responsiveness of crops to the complete mineral fertilizer, this series is table beet > potato > white cabbage. The return on both methods was significantly reduced against the background of unfavourable weather and phytosanitary conditions. Accelerated soil cultivation to a good and high level increased the productivity of potato by 25% and 45%, of table beets – by 54% and 83%, of white cabbage – by 200% and 209%, respectively. This ensured an average annual cash yield of 183.81 and 213.62 thousand roubles per hectare per year, respectively, for a good and high level of cultivation. Absolutely the best results of agronomic (46.89 t/ha of potato, 38.57 t/ha of table beets and 82.9 t/ha of white cabbage) and economic efficiency were achieved with the correct combination of cultivation and the use of complete mineral fertilizer.

Keywords: agricultural sod-podzolic soil, accelerated cultivation, mineral fertilization system, agronomic efficiency, economic efficiency

УДК 631.43 (571.63)

DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.04

ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГРОПОЧВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

*А.И. Иванкова¹, А.В. Брикманс¹, к.б.н., Н.А. Сакара², к.с.-х.н.,
О.В. Нестерова¹, к.б.н., С.М. Надежкин^{3,4}, д.б.н., В.А. Семаль⁵, к.б.н.,
М.А. Бовсун¹, к.б.н., Н.В. Кияшко⁶, к.с.-х.н., Т.С. Тарасова³*

*¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
690922, Российская Федерация, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10*

*²Приморская овощная опытная станция- филиал ФГБНУ ФНЦО
692779, Российская Федерация, г. Артем, с. Суражневка, ул. Кубанская 57/1*

*³ФГБНУ ФНЦО, 143080, Российская Федерация, Московская область, Одинцовский городской округ,
пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14*

*⁴Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ имени М.В. Ломоносова,
141592, Московская область, Солнечногорский район, п/о Ударный, пос. Чашниково*

*⁵Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация, 690022, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159*

*⁶ФГБОУ ВО Приморский ГАУ
692508, Российская Федерация, г. Уссурийск, проспект Блюхера, д.44, E-mail: brikmans.av@dvfu.ru.*

Работа выполнена в соответствии с госзаданием № 0595-2019-0069-С-06/0814-2017-0001.

Впервые для агропочв юга Приморского края рассмотрено влияние внесенного в почву биоугля на физические свойства почвы. Исследование проведено в рамках трехлетнего полевого опыта. Биоуголь вносили 2 раза за период исследования – в мае 2018 г. и в июне 2020 г. Варианты опыта: контроль, участки с внесением биоугля в дозах 1 и 3 кг/м². Выявлены положительное действие биоугля на структурность, степень агрегированности и отсутствие существенного влияния на гранулометрический и агрегатный состав почвы. Установлено, что применение биоугля положительно влияет на противоэрозионную стойкость почв тяжелого гранулометрического состава, но максимальный эффект наблюдается на участках с дренажной системой.

Ключевые слова: биоуголь, агропочвы, физические свойства, юг Дальнего Востока России, агротемногумусовый подбел.

Для цитирования: Иванкова А.И., Брикманс А.В., Сакара Н.А., Нестерова О.В., Надежкин С.М., Семаль В.А., Бовсун М.А., Кияшко Н.В., Тарасова Т.С. Влияние биоугля на физические свойства агропочв юга Дальнего Востока России// Плодородие. – 2024. – №6. – С. 18-23. DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.04.

Большинство почв Дальневосточного региона России тяжелого гранулометрического состава, при механической обработке нарушается агрономически ценная структура, из-за чего уменьшается противоэрозионная устойчивость и ухудшается водно-воздушный режим в прикорневой зоне растений. Особенно это влияет на урожай овощных культур, зависящий не только от количества питательных элементов, но и от их доступности для растений за счет оптимальных водно-воздушных условий в пахотном слое почв.

В настоящее время среди почвенных улучшителей большой интерес вызывает биоуголь – высокоуглеродный продукт пиролизной переработки биомассы [18]. Интерес к биоуглю, с одной стороны, связан с рациональным использованием биологических отходов, поскольку позволяет длительное время сохранять углерод в своей структуре [17]. С другой стороны, благодаря высокоуглеродистой высокопористой структуре с достаточно реакционноспособной площадью поверхности, биоуголь может влиять на химические, микробиологические и физические свойства почв [15, 18]. По отношению к физическим свойствам почвы отмечается, что биоуголь в большинстве случаев способен увеличивать полевую влагоемкость почвы, снижать показатель плотности почвы (объемная масса), улучшать структуру почвы, стабильность почвенных агрегатов и пористость [13-15]. При этом отмечается, что снижение плотности почвы главным образом фиксируется на почвах тяжелого гранулометрического состава, а повышение пористости почвы является результатом образования новых пор за счет пор биоугля, изменения структуры пор, повышения почвенной агрегации, снижения плотности почвы и биологической деятельности, связанной с жизнедеятельностью мезофауны. Возрастание полевой влагоемкости является результатом увеличения пористости, площади поверхности и агрегации почвы [11].

Несмотря на большое количество результатов, подтверждающих положительное влияние биоугля на свойства почвы в целом, в зависимости от первоначальных показателей почвы, температуры пиролиза биоугля, биомассы, из которой был произведен биоуголь, а также климатических условий эксперимента, результаты могут существенно различаться [11, 12].

Цель исследования – оценить влияние внесенного в почву биоугля в дозах 1 и 3 кг/м² на гранулометрический и микроагрегатный состав агротемногумусовых подбелов.

Методика. Исследования проводили в течение трех периодов вегетации с мая 2018 г. по октябрь 2020 г. на опытном поле Приморской овощной опытной станции-филиала ФГБНУ Федеральный научный центр овощеводства (ПООС-филиал ФГБНУ ФНЦО, с. Суражевка,

Приморский край, 43.423110 с.ш., 132.313573 в.д.). На двух схожих по условиям рельефа и процессам почвообразования полях, одно из полей имело дренажную мелиоративную систему (глубина 120 см), а другое нет, было выделено три экспериментальных участка: без внесения биоугля (контроль), с внесением биоугля в дозах 1 и 3 кг/м² (табл. 1).

1. Схема полевого опыта

1. Схема полевых опытов						
Год	Участок без дренажной системы			Участок с дренажной системой		
	Кон- троль	Биоуголь, кг/м ²		Биоуголь, кг/м ²		Кон- троль
		1	3	3	1	
2017	Пар					
	Внесен биоуголь					
2018	Капуста					
2019	Соя			Картофель		
	Внесен биоуголь					
2020	Пар					

Биоуголь вносили 2 раза за период исследования: в мае 2018 г. и в июне 2020 г. [6]. Распределение биоугля на поверхности почвы выполняли вручную, перемешивание с пахотным почвенным горизонтом проводили при помощи сельскохозяйственной техники. Отбор почвенных образцов осуществляли 6 раз за период исследования: май 2018 г. (до внесения биоугля), октябрь 2018 г., май 2019 г., октябрь 2019 г., июнь 2020 г. (до повторного внесения биоугля), октябрь 2020 г. (см. табл. 1).

Биоуголь был произведен из древесных остатков березы белой с использованием медленного пиролиза при температуре 360-380 °С. До применения в условиях полевого опыта биоуголь протестировали согласно методикам международного стандарта IBI (International Biochar Initiative). По результатам рентгенофлуоресцентного анализа, биоуголь был токсикологически безопасным, поскольку не отмечено предельно допустимых концентраций опасных химических элементов (табл. 2). По результатам CHNS-анализа содержание общего углерода в биоугле было высоким – 78,13 %. Соотношения Н/С и О/С биоугля были низкими: 0,0518 и 0,1452 соответственно, что указывает на высокопрочную структуру. Биоуголь имел площадь поверхности 73,20 м²/г, объем пор 0,048 см³/г. Содержание летучих соединений биоугля составило 31,20 ± 1,42 %. Зольность биоугля равна 5,40 ± 0,14 %. рН водной вытяжки биоугля – 8,09 ± 0,07. Водопоглощающая способность в оригинальной фракции составила 110 % ± 6,56.

Почвы опытного участка – агротемногумусовые подбелы на делювиальных отложениях глинистых сланцев. До начала вегетационного опыта пахотный слой контрольного участка на поле без дренажной системы характеризовался как глина легкая (44 % физического

песка, 56 % физической глины) и имел следующие характеристики: pH_{H_2O} 6,8, pH_{KCl} 5,45, содержание органического углерода 2,62%, объемная плотность 1,2 г/см³, содержание K₂O 200 мг/кг, P₂O₅ – 140, легкогидролизуемого азота – 133 мг/кг. Контрольный участок на дренажном поле характеризовался как глина средняя (29 % физической глины) и имел следующую характеристику: pH_{H_2O} 6,67; pH_{KCl} 5,43, содержание органического углерода 2,05 %, объемная плотность 1,2 г/см³, содержание K₂O 104 мг/кг, P₂O₅ – 90, легкогидролизуемого азота – 129 мг/кг.

Отбор проб проводили по [3]. Физико-механические свойства определяли с применением стандартных методов [10], влажность агропочв – термостатно-весовым методом [7, 9], плотность твердой фазы – пикнометрическим методом [10]. Для гранулометрического и микроагрегатного анализов использовали сито-пипеточный метод [5]. Подготовка образцов проведена, по рекомендации Почвенного института им. В.В. Докучаева, с использованием 4%-ного раствора пирофосфата натрия [4]. На основе гранулометрического и микроагрегатного анализов дана оценка структурности почвы [10]: фактор дисперсности (Кд) по Н.А. Качинскому; фактор структурности (Кс) по А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной; степень агрегированности (Ка) по Л.Д. Бэверу и Д.Д. Родесу; показатель противозероизонной стойкости (ППС) по А.Д. Воронину и К.А. Кузнецову.

2. Элементный состав биоугля из березы белой до применения в полевом опыте

Элемент	Содержание элемента		Содержание по ИВ	ПДК [8]
	%	мг/кг на сухую массу	мг/кг на сухую массу	
C	78,130	781,30	-	—
N	0,084	0,84	-	-
O	11,342	113,42	-	-
H	4,044	40,44	-	-
Ca	1,770	17,70	-	—
Na	0,574	5,74	-	—
Mg	0,424	4,24	-	—
K	0,415	4,15	-	-
Si	0,402	4,02	-	—
Fe	0,235	2,35	-	—
Mn	0,151	1,51	-	—
Al	0,141	1,41	-	—
Zn	0,057	0,57	416 – 7400	< 1,5
S	0,049	0,49	-	—
Ti	0,045	0,45	-	—
P	0,044	0,44	-	-
Cu	0,014	0,14	143 – 6000	< 0,4
Sr	0,008	0,08	-	—
Cr	0,005	0,05	93 – 1200	< 0,15
Ni	0,004	0,04	47 – 420	< 0,1

Результаты и их обсуждение. Гранулометрический анализ образцов, отобранных до внесения биоугля в почву в мае 2018 г. на поле без дренажной системы, определен как глина легкая, на поле с дренажной системой – глина средняя (табл. 3).

3. Гранулометрический и микроагрегатный состав агропочв при внесении биоугля в дозах 1 и 3 кг/м² на поле с дренажной системой и без нее

Орошение		Вариант	Гранулометрический состав, %				Микроагрегатный состав, %		
Дренаж	Без дренажа		<0,001 мм	>0,01 мм	< 0,01 мм	Название по Качинскому Н.А. [4]	< 0,001 мм	>0,01 мм	<0,01 мм
Май 2018 г.									
+	-	Контроль	35	29	71	Глина средняя	2	86	14
-	+	Контроль	24	44	56	Глина легкая	2	86	14
Октябрь 2018 г.									
+	-	Контроль	7	49	51	Глина легкая	2	67	33
+	-	1 кг/м² биоугля	7	46	54	Глина легкая	2	79	21
+	-	3 кг/м² биоугля	7	45	55	Глина легкая	4	77	23
-	+	Контроль	15	45	55	Глина легкая	4	76	24
-	+	1 кг/м² биоугля	13	48	52	Глина легкая	3	72	28
-	+	3 кг/м² биоугля	15	45	55	Глина легкая	3	73	27
Май 2019 г.									
+	-	Контроль	10	57	43	Суглинок тяжелый	1	90	10
+	-	1 кг/м² биоугля	11	51	49	Суглинок тяжелый	1	91	9
+	-	3 кг/м² биоугля	11	45	55	Глина легкая	2	95	5
-	+	Контроль	13	55	45	Суглинок тяжелый	1	91	9
-	+	1 кг/м² биоугля	13	56	44	Суглинок тяжелый	1	97	3
-	+	3 кг/м² биоугля	13	53	47	Суглинок тяжелый	3	93	7
Октябрь 2019 г.									
+	-	Контроль	12	46	54	Глина легкая	2	72	28
+	-	1 кг/м² биоугля	13	47	53	Глина легкая	1	71	29
+	-	3 кг/м² биоугля	14	47	53	Глина легкая	2	65	35
-	+	Контроль	10	58	42	Суглинок тяжелый	1	80	20
-	+	1 кг/м² биоугля	10	56	44	Суглинок тяжелый	3	79	21
-	+	3 кг/м² биоугля	11	54	46	Суглинок тяжелый	2	68	32
Май 2020 г.									
+	-	Контроль	19	38	62	Глина легкая	3	77	23
+	-	1 кг/м² биоугля	15	39	61	Глина легкая	1	83	17
+	-	3 кг/м² биоугля	19	38	62	Глина легкая	1	79	21
-	+	Контроль	11	57	43	Суглинок тяжелый	2	82	18
-	+	1 кг/м² биоугля	15	52	49	Суглинок тяжелый	2	77	23
-	+	3 кг/м² биоугля	10	58	42	Суглинок тяжелый	2	79	21
Октябрь 2020 г.									
+	-	Контроль	23	39	61	Глина легкая	1	74	26
+	-	1 кг/м² биоугля	21	37	63	Глина легкая	2	80	20
+	-	3 кг/м² биоугля	25	38	62	Глина легкая	2	77	23
-	+	Контроль	20	45	55	Глина легкая	2	79	21
-	+	1 кг/м² биоугля	18	46	54	Суглинок тяжелый	2	78	22
-	+	3 кг/м² биоугля	22	46	54	Глина легкая	4	79	21

Согласно данным таблицы 3, за весь период исследования не отмечено существенного влияния биоугля на гранулометрический состав агротемногумусовых подбелов. Отсутствие влияния отмечалось как после первичного внесения биоугля в мае 2018 г., так и после повторного внесения биоугля в июне 2020 г. В большинстве случаев показатели гранулометрического состава в почвенных образцах, отобранных на участках с внесением биоугля, не отличались от показателей гранулометрического состава контрольных образцов. Данная тенденция прослеживалась на участках как с наличием, так и с отсутствием дренажной системы. Поскольку значения гранулометрического состава в контрольных образцах совпадали со значениями в образцах с внесением биоугля, основными влияющими на гранулометрический состав факторами, вероятно, были механическая обработка почвы и погодные условия сезона вегетации. Следует отметить, что в целом на поле без применения дренажной системы гранулометрический состав был легче (суглинок тяжелый), чем на поле с дренажем (глина легкая).

Внесение биоугля также не оказало существенного влияния на микроагрегатный состав агротемногумусового подбела (см. табл. 3). Тем не менее варьирование значений микроагрегатного состава было более выраженным по сравнению со значениями гранулометрического состава.

За период исследования микроагрегатный состав на участках с внесением биоугля не имел существенных

отличий от контрольных участков. Так при внесении биоугля микроагрегатный состав отличался от значений на контрольных участках не более чем на 12 % по содержанию физического песка. Изменения показателей микроагрегатного состава при внесении биоугля по отношению к контрольным вариантам не носили однонаправленный характер (либо только больше, либо только меньше).

В микроагрегатном составе прослеживалась сезонная изменчивость, которая могла быть связана с механической обработкой почвы. Так в образцах, отобранных в октябре 2018 и 2019 г., отмечены более низкие значения физического песка во всех вариантах опыта по сравнению с образцами, отобранными весной (май 2018 и 2019 г.). Значения микроагрегатного состава в течение 2020 г. не имели существенных различий между собой, что свидетельствует об отсутствии влияния биоугля на микроагрегатный состав почвы.

В целом за период измерений наибольшие значения микроагрегатного состава по содержанию физического песка отмечены в образцах, отобранных в мае 2019 г. – через год после внесения биоугля. Наименьшие значения микроагрегатного состава по содержанию физического песка были в образцах, отобранных в октябре 2018 г.

На основе гранулометрического и микроагрегатного анализов установлены показатели дисперсности и структурности почвы, характеризующие потенциальную способность ее к оструктуриванию (табл.4).

4. Способность агропочв к оструктуриванию (2018 – 2020 г.)

Осушение		Вариант	Коэффициент дисперсности [8]	Фактор структурности [8]	Степень агрегированности [8]	Противоэрозионная стойкость [8]
Дренаж	Без дренажа					
Май 2018 г.						
+	-	Контроль	6 – водопр.	61 – удовл.	85 – высокая	10,7 – высокая
-	+	Контроль	8 – водопр.	61 – удовл.	63 – удовл.	7,4 – средняя
Октябрь 2018 г.						
+	-	Контроль	29 – слабо водопр.	49 – незначит.	26 – весьма слабая	1,7 – низкая
+	-	1 кг/м ² биоугля	29 – слабо водопр.	49 – незначит.	58 – удовл.	1,7 – низкая
+	-	3 кг/м ² биоугля	57 – не водопр.	49 – незначит.	54 – удовл.	0,9 – низкая
-	+	Контроль	27 – слабо водопр.	56 – незначит.	54 – удовл.	2,1 – низкая
-	+	1 кг/м ² биоугля	23 – слабо водопр.	49 – незначит.	39 – слабая	2,1 – низкая
-	+	3 кг/м ² биоугля	20 – достаточно водопр.	61 – удовл.	62 – удовл.	3,1 – средняя
Май 2019 г.						
+	-	Контроль	10 – водопр.	35 – незначит.	88 – высокая	3,5 – средняя
+	-	1 кг/м ² биоугля	9 – водопр.	39 – незначит.	86 – высокая	4,3 – средняя
+	-	3 кг/м ² биоугля	18 – достаточно водопр.	49 – незначит.	79 – хорошая	2,7 – средняя
-	+	Контроль	8 – водопр.	35 – незначит.	62 – удовл.	4,6 – средняя
-	+	1 кг/м ² биоугля	8 – водопр.	39 – незначит.	65 – хорошая	5,1 – средняя
-	+	3 кг/м ² биоугля	23 – слабо водопр.	41- незначит.	73 – хорошая	1,8 – низкая
Октябрь 2019 г.						
+	-	Контроль	17 – достаточно водопр.	43 – незначит.	65 – хорошая	2,6 – средняя
+	-	1 кг/м ² биоугля	8 – водопр.	47 – незначит.	71 – хорошая	6,1 – средняя
+	-	3 кг/м ² биоугля	14 – достаточно водопр.	45 – незначит.	70 – хорошая	3,1 – средняя
-	+	Контроль	10 – водопр.	30 – незначит.	45 – слабая	3,0 – средняя
-	+	1 кг/м ² биоугля	30 – слабо водопр.	33 – незначит.	55 – удовл.	1,1 – низкая
-	+	3 кг/м ² биоугля	18 – достаточно водопр.	35 – незначит.	46 – слабая	1,9 – низкая
Май 2020 г.						
-	-	Контроль	16 – достаточно водопр.	79 – удовл.	86 – высокая	5,0 – средняя
-	-	1 кг/м ² биоугля	7 – водопр.	69 – удовл.	92 – очень высокая	10,4 – высокая
-	-	3 кг/м ² биоугля	5 – водопр.	75 – удовл.	83 – высокая	14,3 – высокая
-	+	Контроль	18 – достаточно водопр.	64 – удовл.	36 – слабая	3,5 – средняя
-	+	1 кг/м ² биоугля	13 – достаточно водопр.	52 – незначит.	49 – слабая	3,9 – средняя
-	+	3 кг/м ² биоугля	20 – достаточно водопр.	41 – незначит.	39 – слабая	2,0 – низкая
Октябрь 2020 г.						
+	-	Контроль	4 – водопр.	67 – удовл.	66 – хорошая	15,3 – высокая
+	-	1 кг/м ² биоугля	10 – водопр	100 – удовл.	77 – хорошая	10,5 – высокая
+	-	3кг/м ² биоугля	4 – водопр.	72 – удовл.	77 – хорошая	18,1 – высокая
-	+	Контроль	10 – водопр.	59 – незначит.	58 – удовл.	5,9 – средняя
-	+	1 кг/м ² биоугля	11 – достаточно водопр.	61 – удовл.	92 – очень высокая	5,5 – средняя
-	+	3 кг/м ² биоугля	18 – достаточно водопр.	47 – незначит.	80 – хорошая, переходящая в высокую	2,6 – средняя

Согласно данным таблицы 4, не отмечено достоверного влияния биоугля на дисперсность почвы как после первичного, так и после вторичного его внесения.

Наилучшие значения дисперсности отмечены на контрольных участках в мае 2018 и октябре 2020 г. на поле как с дренажной системой, так и без неё. Вероятно, это связано с минимальной механической обработкой почвы в течение вегетационных периодов 2017 и 2020 г., когда поля находились под паром.

В течение первого вегетационного периода после внесения биоугля отмечены улучшение дисперсности при внесении биоугля на поле без дренажной системы и ухудшение показателя на поле с дренажной системой. В последующие пять периодов вегетации не выявлено однонаправленного характера изменения значений дисперсности в зависимости от доз внесения биоугля. Тем не менее, согласно дисперсности на контрольных участках, прослеживается ее сезонная изменчивость с улучшением весной и ухудшением осенью. Таким образом, основные изменения фактора дисперсности связаны, вероятно, с видом механической обработки почвы и с сезоном отбора образцов.

Предложен [1] показатель структурности по результатам только гранулометрического анализа, при котором механические элементы разделяются на активные, принимающие участие в коагуляции, и пассивные, участвующие в структурообразовании как пассивный материал. Чем выше структурность, тем больше потенциальная способность почв к оструктуриванию.

Фактор структурности большинства исследуемых образцов, согласно классификационной градации, являлся «незначительным». Это свидетельствует о том, что агропочвы обладают незначительной способностью к оструктуриванию. В начале эксперимента (май 2018 г.), после того как поле было под паром и до внесения биоугля, структурность агропочв на поле как с дренажем, так и без него была «удовлетворительной» – 61 %. На участках с внесением биоугля отмечено незначительное улучшение структурности в образцах с октября 2018 г. по октябрь 2019 г. После повторного внесения биоугля показатели структурности улучшились только в образцах, отобранных в октябре 2020 г. на поле с дренажной системой.

В степени агрегированности почв прослеживалась сезонная изменчивость – улучшение показателей весной и ухудшение осенью. Первичное внесение биоугля не вызвало достоверного изменения степени агрегированности почв. После повторного внесения биоугля улучшение степени агрегированности по отношению к контролю отмечалось на участках с внесением 1 и 3 кг/м² биоугля на поле как с дренажной системой, так и без нее.

Почвы Приморского края имеют высокий эрозионный потенциал, что связано с их тяжелым гранулометрическим составом, муссонным климатом и преимущественно холмисто-увалистым рельефом местности. В связи с этим необходимо учитывать при ведении сельского хозяйства показатель противоэрозионной стойкости, которая указывает на способность почв противостоять смывающему действию частиц с водным потоком или каплям дождя. Исследования показали, что до внесения биоугля в начале вегетационного периода (май 2018 г.) противоэрозионная стойкость на поле с дренажной системой была высокой, а на поле без применения дренажа средней. Обработка почвы, подобно описанной ранее, ухудшила противоэрозионную стойкость почвы. Внесение биоугля не оказало однозначного влияния на

противоэрозионную стойкость почвы на поле как с дренажной системой, так и без нее. Улучшение противоэрозионной стойкости при внесении биоугля отмечено в мае и октябре 2020 г. на поле с наличием дренажной системы.

Несмотря на отсутствие существенного влияния биоугля на представленные ранее физические параметры почвы, на основании наших предыдущих исследований можно судить о его влиянии на увеличение урожайности, особенно на участках без дренажной системы [2]. Также отмечено влияние биоугля из березы белой на pH почвы и содержание органического углерода агротемногумусовых подбелов [16]. Сочетание биоугля с органическими удобрениями способствовало сохранению содержания органического углерода в почве на участке как с дренажем, так и без него. Сдвиг кислотности в сторону нейтральной наблюдался через 4 мес после внесения биоугля на участках без дренажа, а через 16 мес кислотность практически возвращалась к исходным значениям начала вегетационного периода [16].

Заключение. По результатам трехлетнего полевого опыта не отмечено существенного влияния древесного биоугля на гранулометрический состав агротемногумусовых подбелов Приморского края. Вне зависимости от варианта опыта у образцов с поля с дренажной системой был преимущественный гранулометрический состав – глина легкая, а для образцов с поля без дренажной системы – суглинок тяжелый.

Отсутствует существенное влияние древесного биоугля на микроагрегатный состав агротемногумусовых подбелов. Разность значений содержания физического песка при микроагрегатном анализе в вариантах опыта с внесением биоугля по отношению к контрольным образцам не превышала 12 %. Изменения показателей микроагрегатного состава при внесении биоугля по отношению к контрольным вариантам не носили однонаправленный характер.

Характеристики, позволяющие судить об агрегированности почвы, наличии стабильных микроагрегатов, в большей степени зависели от севооборота, интенсивности механической обработки почвы, сезона отбора образцов, а не от влияния биоугля.

Положительное влияние биоугля на структурность, степень агрегированности и противоэрозионную стойкость отмечено после повторного внесения биоугля на поле с наличием дренажной системы, что очень важно для длительного использования пахотных почв.

В целом физические свойства почв – относительно консервативный параметр, и для выявления более активного влияния биоугля на эти характеристики почв необходим более длительный период полевых и вегетационных экспериментов.

Литература

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. Изд. 2-е. – М.: Высшая школа, 1973. – 400 с.
2. Бовсун О.Н., Нестерова О.В., Семаль В.А., Сакара Н.А., и др. Влияние внесения биоугля на урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия и почвоведение. Вестник Томского государственного университета // Биология. – 2023. – №6. – С.6-26.
3. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. Госстандарт СССР. – 01.04.1990. 7 с.
4. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Акад. наук СССР. Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1958. – 192 с.
5. Качинский Н.А. Физика почв. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.
6. Попова, А.Д. Применение биоугля как мелиоранта и его влияние на изменение физических свойств агропочв юга Приморского края / А.Д. Попова, В.А. Семаль, А.В. Брикманс, О.В. Нестерова, Ю.А.

Колесникова, М.А. Бовсун // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – №6. – С. 57-63.

7. *Растворова О.Г.* Физика почв (Практическое руководство) – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 196 с.

8. *Рижия, Е.Я.* Применение биоугля в сельском хозяйстве Российской Федерации: Методические рекомендации / Е.Я. Рижия, Н.П. Бучкина, И.М. Мухина, С.В. Павлик, Е.В. Балашов. – СПб, 2014. – 39 с.

9. *Родэ А. А.* Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Т.1.

10. *Теории и методы физики почв* /Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.

11. *Acharya B.S., Dodla S., wang J.J., Pavuluri K., Darapuneni M., Dattamudi S., Maharjan B., Kharel G.* Biochar impacts on soil water dynamics: knowns, unknowns, and research directions // Biochar. – 2024. -№ 6. – 34. <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00323-4>

12. *Alghamdi A.G.* Biochar as a potential soil additive for improving soil physical properties—A review // Arab. J. Geosci. – 2018. -№ 11. – 766. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4056-7>

13. *Alghamdi A.G., Aljohani B.H., Aly A.A.* Impacts of Olive Waste-Derived Biochar on Hydro-Physical Properties of Sandy Soil // Sustainability. – 2021. – № 13. – 5493. <https://doi.org/10.3390/su13105493>

14. *An X., Liu Q., Pan F., Yao Y., Luo X., Chen C., Liu T., Zou L., Wang W., Wang J., Liu X.* Research Advances in the Impacts of Biochar on the Physicochemical Properties and Microbial Communities of Saline Soils // Sustainability. – 2023. – № 15. – 14439. <https://doi.org/10.3390/su151914439>

15. *Goyal R., Kahlon M.S.* Impact of Biochar Application on Soil Physical Health // Current Investigation in Agriculture and Current Research. – 2023. – № 10. <http://dx.doi.org/10.32474/CIACR.2023.10.000335>

16. *Nesterova O., Semal V., Bovsun M., Brikmans A., Sakara N., Tarasova T.* Effects of biochar and fertilizer amendments on soil acidity and soil organic carbon content on Luvic Anthrosols in Russian Far East // E3S Web Conf. – 2023. – № 371. – 06013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337106013>

17. *Sheffield S.B., Hoefler T.A., Petersen J.E.* Biochar has positive but distinct impacts on root, shoot, and fruit production in beans, tomatoes, and willows // Front. Sustain. Food Syst. – 2024. № 8. – 1346529. <http://10.3389/fsufs.2024.1346529>

18. *Upadhyay V., Choudhary K.K., Agrawai S.B.* Use of biochar as a sustainable agronomic tool, its limitations and impact on environment: a review // Discover Agriculture. – 2024. – № 2. – 20. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00033-2>

IMPAKT OF BIOCHARG ON SOME PHYSICAL PROPERTIES OF AGROSOILS IN THE SOUTH OF PRIMORSKY KRAI

Ivankova A.I. – graduate student of the Department of Soil Science of the Far Eastern Federal University (690090, Vladivostok, Ajax 10).

Brikmans A.V. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher Far Eastern Climate Smart Lab (Vladivostok, Russian Federation, FEFY, 690090, Vladivostok, Ajax 10).

Sakara N.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Director for Science of the Primorsky Vegetable Experimental Station – branch of the Federal State Scientific Institution "Federal Scientific Center of Vegetable Growing" (57/1 Kubanskaya str., Artem, 692779).

Nesterova O.V. – Candidate of Biological Sciences, Head of the Far Eastern Climate Smart Lab (Vladivostok, Russian Federation, FEFY, 690090, Vladivostok, Ajax 10).

Nadezhkin S.M. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory and Analytical Center of the Federal State Budgetary Scientific and Scientific Research Institute (143080, Russian Federation, Moscow Region, Odintsovo city District, VNISSOK village, Selectionskaya str., 14).

Semal V.A. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Sector of Soil Science and Soil Ecology of the Federal Research Center for the Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia, FEB RAS (690022, Vladivostok, Vladivostok 100th Anniversary Ave., 159).

Bovsun M.A. – Senior Researcher Far Eastern Climate Smart Lab (Vladivostok, Russian Federation, FEFY, 690090, Vladivostok, Ajax 10).

Kiyashko N.V. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution Primorsky GATU (Prospect, Ussuriysk, 692508, Russian Federation 44 Blucher Street).

Tarasova T.S. – Junior researcher,

Primorsky Vegetable Experimental Station – branch of the Federal State Scientific Institution "Federal Scientific Center of Vegetable Growing" (57/1 Kubanskaya str., Artem, 692779).

***FSBEI HE "Far Eastern Federal University", 690922, Russian Federation, Vladivostok, Russky Island, Ayaks, 10
FSBSI FNCO Primorskaya Vegetable Experimental Station, 692779, Russian Federation, Artem, Kubanskaya str. 57/1
E-mail: brikmans.av@dvfu.ru, mex: + 7 (902) 488 31-88***

For the first time, the influence of biochar introduced into the soil on the physical properties of the soil is considered for the agrosols of the south of the Primorsky Territory. The study was conducted as part of a three-year vegetative field experience. Biochar was applied twice during the study period in May 2018 and June 2020. Experimental plots: control, plot with 1 kg/m² of biochar and plot with 3 kg/m² of biochar. A positive effect of biochar on the structure, the degree of aggregation and the absence of a significant effect on the granulometric and aggregate composition of the soil were revealed. It was established that the use of biochar has a positive effect on the erosion resistance of soils with a heavy granulometric composition, but the maximum effect is observed in areas with a drainage system.

Key words: biochar, agricultural soils, physical properties, south of the Far East, Luvic Anthrosols.