

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АГРОПОЧВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОУГЛЯ

¹О.В. Нестерова, к.б.н., ^{1,2}В.А. Семаль, к.б.н., ^{1,3}М.А. Бовсун, ⁴И.И. Васенев, д.б.н.,

¹А.В. Брикманс, к.б.н., ^{1,5}Т.Ю. Карпенко, ⁶Н.А. Сакара, к.с.-х.н.

¹Дальневосточный федеральный университет, e-mail: nesterova.ov@dvfu.ru, semal.va@dvfu.ru

²Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН

³Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН,

e-mail: bovsun.mal@students.dvfu.ru

⁴РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, e-mail: ivvasenev@gmail.com

⁵Институт химии ДВО РАН, e-mail: karpenko.tiu@dvfu.ru

⁶Приморская овощная опытная станция – филиал ФНЦ овощеводства, e-mail: nsakara@inbox.ru

Представлены результаты применения биоугля в дозах 1 и 3 кг/м² в агротемногумусовых подбелах на участках с дренажной и без дренажной системы юга Приморского края (ДФО). Выявлено, что при внесении биоугля идет его разложение под действием внешних факторов среды и физическое измельчение при обработке почвы, что увеличивает его удельную поверхность и водоудерживающую способность. Внесение биоугля улучшает некоторые свойства почв и повышает содержание органического углерода. Урожайность при внесении биоугля в дозе 3 кг/м² увеличилась в 3 раза на участке без дренажной системы по сравнению с контролем. Полученные результаты позволяют дать оценку перспектив применения биоугля на Дальнем Востоке Российской Федерации для выращивания овощных культур.

Ключевые слова: биоуголь, Luvic Anthrosols, агротемногумусовый подбел, Дальний Восток РФ, агроэкология, гидрофизические свойства почвы, пористость, водоудерживающая способность.

CHANGES OF AGRICULTURAL SOILS PROPERTIES AT FAR EAST OF RUSSIA DUE TO BIOCHAR APPLICATION

¹Ph.D. O.V. Nesterova, ^{1,2}Ph.D. V.A. Semal, ^{1,3}M.A. Bovsun, ⁴Dr.Sci. I.I. Vasenev,

¹Ph.D. A.V. Brikmans, ^{1,5}T.Yu. Karpenko, ⁶Ph.D. N.A. Sakara

¹Far Eastern Federal University, e-mail: nesterova.ov@dvfu.ru, semal.va@dvfu.ru

²Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial for Biodiversity of the FE branch of the RAS

³V.I. Plichev Pacific Oceanological Institute of the FE branch of the RAS, e-mail: bovsun.mal@students.dvfu.ru

⁴Russian Timiryazev State Agrarian University (RSAU-MTAA), e-mail: ivvasenev@gmail.com

⁵Institute for Chemistry of the FE branch of the RAS, e-mail: karpenko.tiu@dvfu.ru

⁶Primorskaya Vegetable Experimental Station – branch of the FRC for Vegetable Growing,
e-mail: nsakara@inbox.ru

The results of the biochar application in drainage and drainage-free plots of the Luvic Anthrosols are presented for the biochar applying doses of 1 and 3 kg/m² in the conditions of the Primorsky territory. During the first growing season the applied biochars have been essentially physically grinded with significant increasing their specific active surface and water-holding capacity. There was observed the obvious positive effect of biochar application on the investigated Luvic Anthrosols' hydrophysical properties and organic carbon content too after the growing season. As a principal result crops' yield increased up to three times in the experiment versions with biochar dose of 3 kg/m² at the plots without drainage. At the same time there wasn't observed the significant increasing in the crops' yield at the plots with drainage. The results obtained allow us to assess the prospects for the use of bio-coal in the Far East of the Russian Federation for the cultivation of vegetable crops.

Keywords: biochar, Luvic Anthrosols, soil agrogenic changes, land agroecological quality, porosity, water-retaining capacity, Russian Far East, agroecology.

Использование биоугля для улучшения химических, физических и биологических характеристик почвы и устойчивого, экологически безопасного повышения урожайности – относительно новая и ак-

тивно развиваемая область исследований в почвоведении и агроэкологии [1, 2]. В последние десятилетия во многих странах активно исследованы механизмы, лежащие в основе положительных эффектов

влияния внесения биоугля на почвы и сельскохозяйственные культуры, но многие агроэкологические аспекты применения биоугля до сих пор остаются неясными [3-6], что особенно актуально для России с высоким разнообразием почвенного покрова.

Большинство публикаций по применению биоугля в сельском хозяйстве и выявлению преимуществ его внесения для выращиваемых культур основываются на лабораторных экспериментах и экспериментах в теплицах, а не в полевых исследованиях, причем на основе последних опубликовано не более 26% всех работ о биоугле [6, 7]. Однако многие важные аспекты воздействия биоугля на почву и соответствующие параметры экосистемы зависят от местных условий, расположенных *in situ* почв, включая сезонную динамику условий увлажнения, тесно связанную с организацией порового пространства, историей и современными технологиями землепользования, региональными особенностями климата и сформированными на конкретном поле микроклиматическими условиями. Изменчивость этих факторов и разнообразие их комбинаций трудно и невозможно воспроизвести в лабораторных исследованиях. Существует необходимость установить конкретные критерии по норме применения биоугля для определенных типов почв. Большинство исследований проведено в лабораторных условиях с использованием большого количества биоугля [8], следовательно, теперь необходимо найти нормы его применения в реальных условиях, стимулирующие положительные эффекты для почвы, не влияя отрицательно на урожай.

До сих пор сложно оценить и точный срок действия биоугля в почве, поэтому необходимы дополнительные исследования для более точной количественной оценки скорости его разложения в полевых условиях [4]. Пористая структура биоугля считается важным фактором для улучшения водно-физических свойств почвы и увеличения ее вододерживающей способности [3, 9, 10]. Исследования влияния биоугля на свойства различных почв также демонстрируют неоднозначные результаты [11-14]. Необходимы дополнительные исследования о влиянии биоугля на широкий спектр свойств почвы. Несмотря на увеличение количества исследований о биоугле, опубликованных с 2011 г. [7, 6], по-прежнему не хватает данных, чтобы сделать выводы о том, как производство биоугля и его применение влияют на урожайность сельскохозяйственных культур в разных региональных условиях и общую глобальную секвестрацию углерода. Необходимо больше данных для понимания прямых и

косвенных механизмов воздействия биоугля на локальные потоки парниковых газов в агросфере.

Биоуголь подвергается процессу старения, а его химические свойства изменяются на протяжении многих лет под воздействием почвы [15, 16]. Дефицит долгосрочных исследований в полевых условиях и игнорирование потенциальных возможностей выпуска биоугля существующими производственными единицами может ограничивать понимание потенциала биоугля для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и смягчения последствий изменения климата в контексте его крупномасштабного использования [6]. Для получения реалистичной информации исследования по изучению влияния биоугля на устойчивое развитие сельского хозяйства не должны быть ограничены короткими сроками лабораторных или тепличных испытаний.

Цель работы – изучение влияния внесения разных доз биоугля на свойства агротемногумусовых подбелов юга Приморского края и характеристика изменения параметров биоугля через год после внесения.

Объекты и методы. Влияние биоугля на свойства почв и урожайность изучали в рамках стационарного полевого опыта в период с июня по ноябрь 2018 г. Опыт был заложен на территории Приморской овощной опытной станции – филиал ФГНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (с. Суражевка, Приморский край) [10, 17, 18]. На территории станции было выбрано два сопоставимых по условиям рельефа и типа почв поля. Поля расположены близко друг к другу и, значит, подвержены одинаковому климатическому воздействию. Данные поля используются как объекты для вегетационных опытов с 1995 г. [19] и находились в аналогичных условиях агротехнической обработки. В момент проведения опыта на участки не вносили минеральные и органические удобрения. Основным отличием двух полей было наличие или отсутствие дренажной системы. На каждом из полей выделили 3 участка площадью 21,6 м² (1,8 x 12 м), всего 6 участков. Каждый из участков был разделен на четыре делянки площадью по 5,4 м², т.е. 24 экспериментальных делянки. На контрольный участок каждого поля биоуголь не вносили (контроль – ВС0 кг), на другие участки было внесено по 1 кг/м² биоугля (ВС1 кг) или 3 кг/м² биоугля (ВС3 кг) по схеме (рисунок). Выбор различных доз биоугля основан на опыте применения в зарубежной практике, а получение рекомендуемых значений для внесения – одна из задач эксперимента [16, 20, 21].

Биоуголь вносили в почву вручную 1 раз за исследуемый период в поверхностный горизонт 0-10 см.

Поле без дренажной системы											
ВС 0 кг				ВС 1 кг				ВС 3 кг			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Поле с дренажной системой											
ВС 0 кг				ВС 1 кг				ВС 3 кг			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

ВС 0 кг – контроль; ВС 1 кг, ВС 3 кг – дозы внесения биоугля в расчете кг/м²; 1, 2, 3, 4 – номера делянок

Схема опыта

Для исследования был выбран биоуголь компании «Красилов и К^о», произведенный из древесных остатков березы (*Betula alba*) методом пиролиза при температуре 360-380°C. Свойства биоугля были определены до его внесения в почву и в конце вегетационного периода [17], их оценивали согласно международному стандарту IBI [22].

Выращиваемой культурой на исследуемых участках был сорт капусты Прибрежная. Капусту высаживали в гряды шириной 180 см 15.06.2018 г. Междурядную обработку проводили 3 раза за период вегетации на глубину 15, 10 и 5 см. Сбор урожая – 2-3.11.2018 г. Оценку урожайности проводили путем взвешивания каждого растения с учетом корневой и надземной биомассы. Урожайность рассчитывали суммированием данных, полученных с четырех делянок одного участка. Почва на исследуемых участках представлена агротемногумусовым подбелом (Luvic Anthrosols). Эталонной почвой был подбел темногумусовый. Пахотный слой контрольного участка на поле без дренажной системы имеет среднесуглинистый гранулометрический состав (60% физического песка, 40% физической глины), близкую к нейтральной реакцию среды (рН_{H2O} 6,8, рН_{KCl} 5,45) и содержание органического углерода 2,62%. Поверхностный горизонт на контрольном участке на дренажном поле имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав (52% физического песка, 48% физической глины), близкую к нейтральной реакцию среды (рН_{H2O} 6,67, рН_{KCl} 5,43) и 2,05% органического углерода [23].

По климатическим показателям вегетационный период 2018 г. на рассматриваемой территории характеризуется как нетипично влажный и с небольшим превышением температуры по сравнению с многолетней. За период с мая по октябрь выпало 813,4 мм осадков, что в 1,5 раза выше среднегогодового количества осадков. Наибольшее превышение количества осадков отмечено в августе и сентябре (416 мм), вызванное приходом тайфунов. Нетипично низкими показателями количества осадков характеризовался июнь, за период которого выпало

на 32,8 мм осадков ниже среднеегодового значения (84,0 мм). Среднемесячная температура воздуха (14,8°C) была незначительно выше аналогичного показателя среднееголетних измерений (13,85°C). Значительное увеличение среднемесячной температуры на 3,8°C зафиксировано в октябре (10,4°C).

Отбор образцов почв для анализа осуществляли с глубины 10 см по ГОСТ 28168-89. Почвенные образцы отбирали с каждой делянки опыта, так при измерениях почвенных показателей была получена четырехкратная повторность. В почвенных образцах определяли: гранулометрический состав (ГОСТ 12536-2014), органический углерод (ГОСТ 26213-91), плотность твердой фазы, полная влагоемкость, общая порозность, влажность разрыва капилляров (ВРК), диапазон подвижной влаги (ДПВ) по [24], кислотность почв (ГОСТ 28268-89).

Для достоверности полученных данных были рассчитаны статистические параметры: средние арифметические значения и стандартные квадратичные отклонения в программе MS Excel.

Результаты. Согласно оценке свойств биоугля до применения в полевом опыте [18] он был экологически чистым, высококачественным, имеющим прочную высокопористую структуру и хорошие сорбционные свойства продуктом с высоким содержанием углерода – 78,13% (табл. 1).

За период с июня по ноябрь нахождения биоугля в почве отмечено изменение его физических и химических характеристик. Получено снижение значений рН биоугля на 1,3 и 0,7 на участках без дренажной и с дренажной системой, соответственно. В содержании летучих соединений отмечены несущественные изменения. Значения зольности увеличились почти в 2 раза на участке без дренажной системы. Существенные изменения отмечены в изменении водоудерживающей способности [25]. По сравнению со значением до внесения в почву (110%) после шести месяцев пребывания биоугля в почве в образцах с участков с дренажной системой и без нее произошло увеличение показателей до 197 и 217%, соответственно.

1. Химические и физические характеристики биоугля из *Betula alba* в образцах до применения в полевом вегетационном опыте и после первого года применения

Параметр	Исходные образцы	После первого года использования		
		без дренажа	с дренажем	
рН _{H2O}	8,09/±0,06	6,73/±0,04	7,36/±0,03	
ЕС, мСм/см	186,32/±0,18	160,16/±0,11	160,56/±0,23	
Летучие вещества, %	оригинал	31,2/±1,42	27,6/±8,73	30,9/±3,00
	1 мм	29/±0,72	28,6/±1,83	28,1/±1,82
	0,25 мм	31/±2,45	28,4/±1,37	27,7/±2,53
Зольность, %	оригинал	5,4/±1,68	10,4/±0,35	10,6/±2,12
	1 мм	6,0/±0,23	13,7/±1,36	10,3/±1,43
	0,25 мм	7,3/±1,1	17,8/±0,49	12,8/±0,49
Водоудерживающая способность, %	оригинал	110/±6,56	197/±14,84	217/±11,85

Примечание: в числителе – среднее арифметическое значение, в знаменателе – стандартное квадратичное отклонение.

2. Физические и химические свойства пахотного горизонта агротемногумусовых подбелов до и после внесения биоугля

Внесение	pH _{N2O}	C _{орг.} , %	Плотность, г/см ³	Полная влагоемкость, %	Порозность общ, %	ВРК, %	ДПВ, %
BC 0 кг дренаж							
до	<u>6,8</u> ±0,07	<u>2,1</u> ±0,28	<u>0,96</u> ±0,01	<u>62,1</u> ±3,83	<u>61,8</u> ±2,7	<u>25,6</u> ±1,05	<u>30,1</u> ±1,56
после	<u>7,1</u> ±0,10	<u>2,4</u> ±0,22	<u>1,14</u> ±0,03	<u>46,0</u> ±2,85	<u>54,4</u> ±2,1	<u>31,5</u> ±2,3	<u>13,1</u> ±0,9
BC 0 кг без дренажа							
до	<u>6,8</u> ±0,1	<u>2,3</u> ±0,32	<u>1,3</u> ±0,01	<u>33,4</u> ±2,10	<u>48,4</u> ±1,9	<u>19,8</u> ±1,16	<u>5,0</u> ±0,9
после	<u>6,7</u> ±0,09	<u>2,6</u> ±0,15	<u>1,07</u> ±0,05	<u>50,4</u> ±3,10	<u>56,1</u> ±3,4	<u>27,9</u> ±2,01	<u>19,7</u> ±1,12
BC 1 кг дренаж							
до	<u>6,8</u> ±0,07	<u>2,1</u> ±0,28	<u>0,96</u> ±0,01	<u>62,1</u> ±3,83	<u>61,8</u> ±2,7	<u>25,6</u> ±1,05	<u>30,1</u> ±1,56
после	<u>7,0</u> ±0,3	<u>2,6</u> ±0,19	<u>1,06</u> ±0,01	<u>56,7</u> ±2,5	<u>59,7</u> ±2,1	<u>29,6</u> ±2,8	<u>23,7</u> ±2,1
BC 1 кг без дренажа							
до	<u>6,8</u> ±0,1	<u>2,3</u> ±0,32	<u>1,3</u> ±0,01	<u>33,4</u> ±2,1	<u>48,4</u> ±1,9	<u>19,8</u> ±1,16	<u>5,0</u> ±0,9
после	<u>7,0</u> ±0,2	<u>2,5</u> ±0,1	<u>0,89</u> ±0,1	<u>64,9</u> ±3,1	<u>61,6</u> ±4,1	<u>23,9</u> ±5,1	<u>32,5</u> ±6,1
BC 3 кг дренаж							
до	<u>6,8</u> ±0,07	<u>2,1</u> ±0,28	<u>0,96</u> ±0,01	<u>62,1</u> ±3,83	<u>61,8</u> ±2,7	<u>25,6</u> ±1,05	<u>30,1</u> ±1,56
после	<u>6,8</u> ±0,3	<u>2,8</u> ±0,1	<u>0,88</u> ±0,2	<u>67,5</u> ±4,1	<u>65,8</u> ±3,7	<u>26,6</u> ±3,1	<u>38,7</u> ±3,1
BC 3 кг без дренажа							
до	<u>6,8</u> ±0,1	<u>2,3</u> ±0,32	<u>1,3</u> ±0,01	<u>33,4</u> ±2,1	<u>48,4</u> ±1,9	<u>19,8</u> ±1,16	<u>5,0</u> ±0,9
после	<u>6,8</u> ±0,3	<u>2,9</u> ±0,1	<u>0,99</u> ±0,3	<u>52,0</u> ±4,5	<u>56,3</u> ±4,1	<u>24,0</u> ±5,1	<u>21,8</u> ±2,1

Примечание: над чертой – среднее арифметическое значение, под чертой – стандартное квадратичное отклонение.

На основании полученных результатов было предположено, что основной причиной изменений свойств биоугля служит увеличение его удельной поверхности за счет естественного разложения и физического измельчения. Отмечено, что на поле без дренажной системы данные процессы проходили быстрее.

Внесение биоугля в почву привело к изменению некоторых почвенных характеристик. При этом, подобно изменению свойств биоугля на участках с дренажной системой, процессы изменения почвенных показателей были более выраженными (табл. 2).

Значения плотности сложения почвы несущественно увеличились на контрольном участке и участке с внесением 1 кг/м² биоугля на поле с дренажной системой. При этом на контрольном участке изменение значений плотности сложения были наибольшими (разница средних значений 0,18%) по сравнению с вариантами внесения биоугля. На участке с внесением 3 кг/м² биоугля плотность сложения незначительно понизилась. На участках без дренажной системы отмечено уменьшение значений плотности сложения почвы во всех вариантах опыта. Наименьшее уменьшение значений отмечено на

контрольном участке (разница средних значений 0,23%), наибольшее понижение значений отмечено при внесении 1 кг/м² биоугля (разница средних значений 0,41%). Уменьшение значений плотности сложения на участках без дренажной системы говорит о положительном действии биоугля даже на фоне проходящего процесса лессиважа.

При рассмотрении значений полной влагоемкости, порозности и ДПВ почвы отмечено существенное снижение показателей на поле с дренажной системой на контрольном участке и участке с внесением 1 кг/м² биоугля. На участке с внесением 3 кг/м² наблюдали увеличение показателей полной влагоемкости, порозности и ДПВ почвы. На поле без дренажной системы показатели полной влагоемкости, порозности и ДПВ почвы увеличивались во всех вариантах. При этом наибольшие изменения значений отмечено на участке с внесением 1 кг/м² биоугля. На участке с внесением 3 кг/м² биоугля увеличение значений было приближено к увеличению значений на контрольном участке.

При общем рассмотрении значений плотности сложения почвы, полной влагоемкости, порозности

и ДПВ почвы можно сделать несколько выводов. На поле с дренажной системой наилучшее действие с учетом тяжелого гранулометрического состава почвы оказывает внесение 3 кг/м² биоугля, так как приводит к снижению плотности сложения и увеличению порозности и полной влагоемкости почвы. Внесение 1 кг/м² биоугля не оказывает ярко выраженного положительного эффекта на поле с дренажной системой и приводит к незначительному колебанию изучаемых параметров по сравнению с контролем. На поле без дренажной системы внесение биоугля оказало положительный эффект на изменение плотности сложения, полной влагоемкости, порозности и ДПВ почвы только при внесении 1 кг/м² биоугля.

Согласно данным таблицы 2 показатели ВРК незначительно повысились на обоих полях во всех вариантах. При этом значения ВРК во всех вариантах после шести месяцев применения биоугля несущественно отличались между собой, то есть биоуголь не повлиял на изменение этого показателя. Не было отмечено достоверного влияния различных доз биоугля на кислотность почвы, так как все изменения значений колебались в пределах ошибки.

Содержание органического углерода было увеличено во всех вариантах после сбора урожая. Следует отметить, что шесть месяцев – недостаточный промежуток времени для фиксации достоверного изменения содержания органического углерода в почве, но такие колебания связаны с улучшением водно-воздушных условий в прикорневой зоне и повышенной микробной активностью.

Изменение гранулометрического состава на дренажной и бездренажной системах лучше всего прослеживается при оценке содержания фракции физического песка. На контрольном участке с дренажной системой до применения биоугля фракция физического песка составляла 29% (глина легкая). После шести месяцев применения биоугля значение фракции увеличилось и составило 49% (глина средняя). На контрольном участке без дренажной системы до и после применения биоугля содержание фракции физического песка существенно не изменилось и было равно примерно 45% (глина легкая). При внесении биоугля в дозе 1 кг/м² на поле с дренажной системой содержание фракции физического песка увеличилось с 29 до 46% (глина легкая), на поле без дренажной системы, как и в контроле, колебание содержания фракций физического песка как до, так и после внесения биоугля было незначительным – 44-48% (глина легкая). При внесении биоугля в дозе 3 кг/м² на дренажном участке до внесения биоугля сумма физического песка составила 29% (глина средняя), после внесения биоугля содержание этой фракции увеличилось до 45% (глина легкая). На участке без дренажа колебание содержания фракции физического песка незначительно (сумма частиц > 0,01 мм 44-45%). Таким образом, в дренажных условиях мы

3. Средняя биомасса капусты (т/га)

Без дренажной системы			С дренажной системой		
ВС 0 кг	ВС 1 кг	ВС 3 кг	ВС 0 кг	ВС 1 кг	ВС 3 кг
10,84 ±0,29	22,91 ±0,50	33,05 ±0,89	62,97 ±0,92	56,51 ±0,99	59,22 ±2,74

Примечание: над чертой – среднее арифметическое значение, под чертой – стандартное квадратичное отклонение.

наблюдаем облегчение гранулометрического состава при работе дренажной системы в условиях избыточного увлажнения, но при внесении биоугля увеличение содержания фракций физического песка несколько меньше: 49% в контроле, 46% при дозе 1 кг/м² и при дозе 3 кг/м² 45%, соответственно. На опытных участках без дренажа колебание содержания фракций физического песка как с биоуглем, так и без него, аналогично и не превышает 2-4%.

Согласно рассчитанным данным биомассы капусты (табл. 3) при внесении биоугля на участках без дренажной системы урожайность увеличивалась. На участке с внесением 1 кг/м² биоугля урожайность увеличилась на 53% по сравнению с контролем. На участке с внесением 3 кг/м² биоугля урожайность увеличилась на 67% по сравнению с контролем.

На участках с дренажной системой внесение биоугля не повлияло на значения урожайности капусты. Следует отметить, что, несмотря на увеличение урожайности капусты при внесении 3 кг/м² биоугля, почти в 3 раза, данное значение в два раза меньше, чем значение урожайности на контрольном участке поля бездренажной системы. На этих территориях уже выращивали различные сорта капусты и, согласно работам Н.А. Сакары [26], урожайность капусты белокочанной на контрольных участках без внесения удобрений в зависимости от внешних погодных условий может варьировать от 18 до 70 т/га.

На основании данных, полученных после шести месяцев применения биоугля на сезонно переувлажненных агрономогумусовых подбелах, показано, что биоуголь имеет высокую эффективность при внесении на участки с отсутствием дренажной системы, а также может служить эффективным мелиорантом для агрономогумусовых подбелов Приморского края при выращивании овощных культур: внесение его в дозах от 1 до 3 кг/м² увеличивает урожайность капусты от двух до трех раз. При этом сохраняется значительное различие по урожайности капусты с гидротехнически-мелиорированным полем, что требует дополнительных исследований по этой и другим овощным культурам по годам и с различной обеспеченностью по осадкам.

Таким образом: 1. Наибольший положительный агроэкологический эффект от внесения биоугля с улучшением изученных показателей наблюдается на гидротехнически не мелиорированных подбелах Приморья (на участках без дренажа), что говорит о перспективах его применения в ка-

честве эффективного мелиоранта. 2. Достоверное влияние биоугля в первый год после внесения на содержание органического углерода и кислотность не выявлено. 3. Положительный эффект от различных доз биоугля на урожайность наблюдается на почвах с отсутствием дренажной системы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 19-29-05166.

Литература

1. Lehmann J., Rillig M., Thies J., Masiello C., Hockaday W., Crowley D. Biochar effects on soil biota: A review // *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, vol. 43. – P. 1812-1836. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022.
2. Joseph S., Graber E.R., Chia C., Munroe P., Donne S., Thomas T., Nielsen S., Marjo C., Rutledge H., Li L., Taylor P., Rutledge A., Hook J. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components // *Carbon management*, 2013, vol. 4(3). – P. 322-343. doi: 10.4155/cmt.13.23.
3. Brassard P., Godbout S., Raghavan V. Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: Key parameters and mechanisms involved // *Journal of Environmental Management*, 2016, vol. 181. – P. 484-497. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.04.022.
4. Ding, Y., Liu Y., Liu S., Li Z., Tan X., Huang X., Zeng G., Zhou L., Zheng B. Biochar to improve soil fertility // *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, vol. 36, Issue 2, 1. – P. 18. doi: 10.1007/s13593-016-0372-z.
5. Laghari M., Naidu R., Hu Z., Mirjat M.S., Hu M., Kandhro M.H., Chen Z., Guo D., Jogi Q., Abudi Z.N., Fazal S. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, vol. 96. – P. 4840-4849. doi: 10.1002/jsfa.7753.
6. Zhang D., Yan M., Niu Y., Liu X., Zwieten L., Chen D., Bian R., Cheng K., Li L., Joseph S., Zheng J., Zhang X., Zheng J., Crowley D., Filley T.R., Pan G. As current biochar research addressing global soil constraints for sustainable agriculture? // *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, vol. 226. – P. 25-32. doi: 10.1016/j.agee.2016.04.010.
7. Gurwick N.P., Moore L.A., Kelly C., Elias P. A systematic review of biochar research, with a focus on its stability in situ and its promise as a climate mitigation strategy // *A systematic review of biochar research*, 2013, vol. 8. – P. 1-9. doi: 10.1371/journal.pone.0075932.
8. Angst T.E., Six J., Reay D.S., Sohi S.P. (2014) Impact of pine chip biochar on trace greenhouse gas emissions and soil nutrient dynamics in an annual ryegrass system in California // *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014, vol. 191. – P. 17-26. doi: 10.1016/j.agee.2014.03.009.
9. Wang L., Butterly C.R., Wang Y., Herath H.M., Xi Y.G., Xiao X.J. Comparisons of Biochar Properties from Wood Material and Crop Residues at Different Temperatures and Residence Times // *Soil Use and Management*, 2014, vol. 30. – P. 119-128. doi: 10.1111/sum.12096.
10. Попова А.Д., Семаль В.А., Брикманс А.В., Нестерова О.В., Колесникова Ю.А., Бовсун М.А. Применение биоугля как мелиоранта и его влияние на изменение физических свойств агропочв юга Приморского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2019, № 6(176). – С. 57-63.
11. Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., Horie T. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield // *Field Crops Research*, 2009, vol. 111. – P. 81-84. doi: 10.1016/j.fcr.2008.10.008.
12. Schomberg, H.H., Wietholter S., Griffin T.S., Reeves D.W., Cabrera M.L., Fisher D.S., Endale D.M., Novak J.M., Balkcom K.S., Raper R.L., Kitchen N.R., Locke M.A., Potter K.N., Schwartz R.C., Truman C.C., Tyler D.D. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems // *Soil Science Society of America Journal*, 2009, vol. 73. – P. 1575-1586. doi: 10.2136/sssaj2008.0303.
13. Brockhoff S.R., Christians N.E., Killorn R.J., Horton R., Davis D.D. Physical and Mineral-Nutrition Properties of Sand-Based Turfgrass Root Zones Amended with Biochar // *Agronomy journal*, 2010, vol. 102. – P. 1627-1631. doi: 10.2134/agronj2010.0188.
14. Busscher W., Novak J.M., Dean E., Watts D.W., Niandou M.A. S., Ahmedna M. Influence of Pecan Biochar on Physical Properties of a Norfolk Loamy Sand // *Soil Science*, 2010, vol. 175. – P. 10-14. doi: 10.1097/SS.0b013e3181cb7f46.
15. Bian R., Joseph S., Gui L., Pan G., Li L., Lui X., Zhang A., Rutledge H., Wong S., Chia C., Munroe P., Donne S. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment // *Journal of Hazardous Materials*, 2014, vol. 272. – P. 121-128. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.03.017.
16. Liu X., Ye Y., Liu Y., Zhang A., Li L., Pan G., Kibue G.W., Zheng J., Zheng J. Sustainable biochar effects for low carbon crop production: A 5-crop season field experiment on a low fertility soil from Central China // *Agricultural Systems*, 2014, vol. 129. – P. 22-29. doi: 10.1016/j.agsy.2014.05.008.
17. Bovsun M.A., Castaldi S., Nesterova O.V., Semal V.A., Sakara N.A., Brikmans A.V., Khokhlova A.I., Karpenko T.Y. Effect of Biochar on Soil CO₂ Fluxes from Agricultural Field Experiments in Russian Far East // *Agronomy*, 2021, Vol. 11. – P. 1559. doi: 10.3390/agronomy11081559.
18. Сакара Н.А., Тарасова Т.С., Кольев Н.В., Жильцов А.Ю. Обзор результатов исследований Приморской овощной опытной станции по вопросам земледелия и агрохимии в овощеводстве Приморья // *Аграрный вестник Приморья*, 2018, № 4(12). – С. 60-64.
19. Сакара Н.А., Колодкин В.Г., Тарасова Т.С., Жильцов А.Ю., Кольев Н.В., Нестерова О.В., Ознобихин В.И. Основные итоги и перспективы исследований в овощеводческом земледелии в условиях муссонного климата Приморья // *Вестник ДВО РАН*, 2019, № 3(205). – С. 64-68. doi: 10.25808/08697698.2019.205.3.011.
20. Hawthorne L., Johnson M.S., Jassal R.S., Black T.A., Grant N.J., Smukler S.M. Application of biochar and nitrogen influences fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O in a forest soil // *Journal of Environmental Management*, 2017, 192. – P. 208-214.
21. Wang C., Shen J., Liu J., Qin H., Yuan Q., Fan F., Hu Y., Wang J., Wei Y., Wu J. Microbial mechanisms in the reduction of CH₄ emission from double rice cropping system amended by biochar: A four-year study // *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, 135. – P. 251-263. doi: 10.1016/j.soilbio.2019.05.012.
22. Product Definition and Specification Standards: Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil (IBI Biochar Standards) Version 2.1 (23.11.2015). IBI. 2015. – 61 p.
23. Bovsun M.A., Nesterova O.V., Semal V.A., Khokhlova A.I., Sakara N.A. Changes in the composition and properties of biochar after one-year application / E3S Web of Conferences; EDP Sciences: Les Ulis, France 2020, Vol. 217. – P. 10009. doi: 10.1051/e3sconf/20202171000924.
24. Шейн Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2019. – 184 с. doi: 10.31453/kdu.ru.91304.0090.
25. Литвинович А.В., Хаммам А.А.М., Буре В.М. Эмпирические модели водоудерживающей способности песчаной почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями биоугля // *Агрономия. Ветеринария и зоотехния*, 2016, № 45. – С. 107-113.
26. Сакара Н.А., Колодкин В.Г., Тарасова Т.С., Ознобихин В.И., Кольев Н.В. Влияние хлористого калия на урожай и качество продукции в овощных севооборотах на окультуренных почвах юга Приморья // *Вестник ДВО РАН*, 2018, № 3. – С. 27-34.