



УДК 631.43+631.421.2

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ И ДОЗИРОВОК БИОУГЛЯ НА НЕКОТОРЫЕ АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

ДУБРОВИНА *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный*
Инна Александровна *центр РАН», vorgo@mail.ru*

ЮРКЕВИЧ *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный*
Мария Геннадьевна *центр РАН», svirinka@mail.ru*

СИДОРОВА *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный*
Валерия Александровна *центр РАН», val.sidorova@gmail.com*

БОГДАНОВА *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный*
Татьяна Викторовна *центр РАН», bogdanovat372@mail.ru*

Ключевые слова:

биоуголь
дерново-подзолистые
почвы
модельный эксперимент
плотность сложения
почвы
полная влагоемкость
объемная теплоемкость
агрегатный состав

Аннотация: В 100-суточном модельном эксперименте изучали влияние различных дозировок и фракций биоугля на агрофизические свойства и агрегатное состояние дерново-подзолистых почв. Исследовали две контрастные по гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы – песчаную и тяжелосуглинистую. В опыте применяли уголь древесный из лиственных пород деревьев, приготовленный промышленным способом. Использовали фракции биоугля 3–5 мм и ≤ 2 мм в дозировках 2 и 5 % от массы почвы. В вариантах опыта измеряли плотность сложения почвы, полную влагоемкость, объемную теплоемкость сухой почвы и агрегатный состав (сухое и мокрое просеивание). Контролем служили почвы без добавления биоугля. Для статистической обработки данных применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным анализом по критерию Тьюки. В результате эксперимента зафиксировано изменение всех изучаемых агрофизических свойств почв. Плотность сложения обеих почв снижается в вариантах с дозировкой угля 5 % независимо от фракции. В песчаной почве наблюдаются достоверные изменения полной влагоемкости независимо от дозировки биоугля. В тяжелосуглинистой почве достоверные изменения полной влагоемкости есть лишь для варианта с 5 % дозировкой. На показатели объемной теплоемкости наибольший эффект в обеих почвах оказывает 5 % дозировка крупного биоугля. Принципиально не меняя показатели водоустойчивости, внесение биоугля улучшает агрегатное состояние и коэффициент структурности тяжелосуглинистой почвы, а также увеличивает связность песчаной почвы. Практически для всех показателей отмечено значительное усиление эффекта применения биоугля при более высокой его дозировке.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. П. Бучкина

Рецензент: Е. Я. Рижия

Получена: 30 мая 2018 года

Подписана к печати: 24 декабря 2018 года

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности является одной из глобальных проблем человечества. Основу ее решения составляет сохранение и восстановление плодородия почв. Продуктивная функция почв играет ключевую роль не только в жизни человека, но и в функционировании биогеоценозов планеты в целом (Добровольский, Никитин, 1986). Плодородные почвы являются весьма ограниченным ресурсом, и современное сельскохозяйственное производство наряду с высокой производительностью должно обеспечивать экологическую устойчивость агроландшафтов и поддерживать эффективное плодородие. Важным направлением при решении этих задач является поиск и изучение новых средств и материалов, отвечающих требованиям экологической безопасности и рентабельности. Это поддерживает интерес к биоуглю как потенциальному почвенному мелиоранту.

Биоуголь является высокоуглеродистым продуктом пиролиза органических материалов без доступа воздуха, его производят в широком диапазоне температур. Микростроение биоуглей представляет собой пористую структуру углеродного каркаса, состоящего из крупных и мелких пор, а состав варьирует и зависит от исходного сырья и температуры приготовления. Биоугли имеют очень высокую обменную емкость и удерживающую способность, обусловленные большой площадью пористой поверхности и отрицательным поверхностным зарядом гидроксильных и карбоксильных групп (Vaughn et al., 2015; Tan et al., 2017). Эти свойства биоугля позволяют рассматривать его как перспективный почвенный мелиорант. Множество исследований посвящено влиянию биоугля на почвы и продукцию биомассы. Основными прямыми эффектами применения биоугля являются увеличение pH среды, катионообменной способности и содержания органического углерода почвы (Zhao et al., 2015; Laird et al., 2017). Данные факторы индуцируют изменения в составе почвенного микробного сообщества и интенсивности выделения парниковых газов из почв, влияют на подвижность элементов питания растений и урожайность сельскохозяйственных культур (Xu et al., 2013; Khadem, Raiesi, 2017; Zhang et al., 2017). Имея низкую насыпную плотность, биоуголь оказывает непосредственное влияние на плотность сложения почв и их водно-физические свойства. За

счет косвенного влияния, посредством улучшения среды обитания микроорганизмов, ризосферы и высокого содержания углерода, биоуголь может способствовать агрегации почв (Peake et al., 2014; Burrell et al., 2016; Obia et al., 2016).

Несмотря на многочисленные исследования влияния биоугля, результаты их достаточно противоречивы из-за сложного взаимодействия биоугля с почвой и выращиваемыми культурами. В то же время существует очень мало сведений о его влиянии на дерново-подзолистые почвы бореальной зоны, имеющие ряд неблагоприятных для роста растений свойств, в том числе агрофизических (Рижия и др., 2015; Кулагина и др., 2017). Песчаные почвы имеют слабый капиллярный подъем и водоудерживающую способность, сухие пески очень твердые и слабопроницаемы для корней растений. Почвы глинистые и тяжелосуглинистые склонны к уплотнению, слабо аэрированы, слабопроницаемы. Немаловажным фактором в северных регионах является теплоемкость почв, их способность быстрее прогреваться и оттаивать, и почвы тяжелого гранулометрического состава считаются «холодными». Для почв тяжелого гранулометрического состава характерно неблагоприятное агрегатное состояние. Поиск безопасных веществ, улучшающих агрономически ценную структуру почв (макроагрегаты от 0.25 до 10 мм), является весьма актуальным, учитывая важность агрегатного состояния почвы в практике земледелия. Существуют исследования влияния синтетических полимеров и органических полимеров естественного происхождения на структуру почв (Lehrsch et al., 2005; Федорова, Романов, 2006), однако зачастую применение таких веществ экономически нецелесообразно и несет экологические риски, биоуголь здесь может выступать безопасной альтернативой.

Учитывая вышеизложенное, целью данной работы было изучение влияния различных дозировок и фракций биоугля на некоторые агрофизические свойства и агрегатное состояние дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава.

Материалы

Исследовали две контрастные по гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы – песчаную (Корзинский научный стационар, пос. Эссойла) и тяжелосуглинистую (Агробиологическая станция, г. Петрозаводск). Образцы почв отбирали на участках,

вовлеченных в сельскохозяйственное использование из верхнего пахотного горизонта 0-20 см. Агрохимическая характеристика почв приведена в табл. 1.

Почву высушивали до воздушно-сухого состояния, растирали и просеивали через сито 2 мм. В опыте использовали уголь древесный ГОСТ 7657-84, марка А. Некоторые его физические и химические свойства приведены в табл. 2. Уголь размалывали до фракций 3–5 мм и ≤ 2 мм. Воздушно-сухую навеску почвы 500 г помещали в литровый сосуд и добавляли уголь данных фракций в коли-

честве 10 г (2 % от массы почвы) и 25 г (5 % от массы почвы). Схема опыта приведена в табл. 3. Образцы тщательно перемешивали с дистиллированной водой до полного водонасыщения. Емкости оставляли открытыми до полного высыхания, затем смачивание и перемешивание повторяли (5 циклов). Период компостирования составил 100 суток при температуре 20 °С. Контролем служили образцы почвы без добавления биоугля, также смачиваемые дистиллированной водой. Повторность опыта трехкратная.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почв
Table 1. Agrochemical soil properties

Почва	pH _{KCl}	ФГ	С	N	P ₂ O ₅	K ⁺	Σ
			%		мг/100г почвы	мг-экв/100г почвы	
Дерново-подзолистая песчаная	4.5	4.1	1.53	0.12	14.4	0.11	1.01
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	5.1	42.6	2.52	0.19	31.7	0.42	4.09

Примечание. ФГ – физическая глина; С/N – общий углерод/азот; P₂O₅ – фосфор по Кирсанову; K⁺ – калий обменный; Σ – сумма обменных катионов.

Таблица 2. Физические и химические свойства биоугля
Table 2. Physical and chemical properties of bio-char

Плотность, г/см ³	pH _{H2O}	pH _{KCl}	С	N	Зольность
				%	
0.37	9.3	7.9	81.0	0.35	2.8

Таблица 3. Схема опыта
Table 3. Experiment design

Вариант	Почва	Биоуголь		
		Фракция, мм	Масса, г	Доза, % от массы почвы
Контроль	Дерново-подзолистая песчаная	–	–	–
1		≤ 2	10	2
2		≤ 2	25	5
3		3-5	10	2
4		3-5	25	5
Контроль	Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая	–	–	–
1		≤ 2	10	2
2		≤ 2	25	5
3		3-5	10	2
4		3-5	25	5

Методы

После завершения эксперимента в почвенных образцах определяли плотность сложения почвы (ρ) методом цилиндра, полную влагоемкость ($ПВ$), макроагрегатный состав (сухое и мокрое просеивание по Саввинову) с расчетом коэффициентов структурности (K_s) и водопрочности (K_v), объемную теплоемкость сухой почвы (C_v) расчетным методом де Фриза (Растворова, 1983; Вадюнина, Корчагина, 1986; Теории и методы..., 2007). Общий органический углерод определяли методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе TOC-L CPN «Shimadzu» (Япония).

Коэффициент структурности (K_s) рассчитывали по формуле:

$$K_s = \sum a (10 - 0.25) / \sum a (> 10 \text{ \& } < 0.25), \text{ где}$$

$\sum a (10 - 0.25)$ – сумма агрегатов от 10 до 0.25 мм,

$\sum a (> 10 \text{ \& } < 0.25)$ – сумма агрегатов > 10 и < 0.25 мм.

Коэффициент водопрочности (K_v) рассчитывали по формуле:

$$K_v = \sum a > 0.25, \text{ где}$$

$\sum a > 0.25$ – сумма агрегатов > 0.25 мм.

Объемную теплоемкость сухой почвы (C_v) рассчитывали по формуле:

$$C_v = (Om \cdot 0.46 + (1 - Om) \cdot 0.18) \cdot d, \text{ где}$$

Om – содержание органического вещества в сухой почве, г/г,

0.46 – удельная теплоемкость органического вещества, кал/г·°С,

0.18 – удельная теплоемкость минеральной части, кал/г·°С,

ρ – объемная плотность почвы, г/см³.

Для статистической обработки данных применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорным анализом по критерию Тьюки с использованием пакета анализа PAST Statistics (Hammer et al., 2001).

Результаты

Модельный эксперимент с добавлением биоугля к дерново-подзолистым почвам показал изменение всех изучаемых агрофизических свойств (табл. 4). Значения плотности сложения (ρ) как в песчаной, так и в тяжелосуглинистой почве уменьшаются по сравнению с контролем независимо от фракции биоугля в 1.1–1.3 раза. При дозировке угля 5 % изменения статистически значимы, при

дозировке 2 % уменьшение показателей статистически недостоверно.

Полная влагоемкость ($ПВ$) почв при добавлении биоугля увеличивается. В песчаной почве $ПВ$ увеличивается статистически достоверно в 1.2–1.4 раза в вариантах с 2 % угля по сравнению с контролем, в вариантах с 5 % угля по сравнению с контролем и вариантами с дозировкой 2 %. В тяжелосуглинистой почве есть достоверное увеличение значений $ПВ$ по сравнению с контролем в 1.2 раза при дозировке угля 5 % независимо от фракции. Увеличение значений в вариантах с 2 % угля есть только в варианте с мелкой фракцией, и они статистически недостоверны. По величине полной влагоемкости также можно судить о состоянии общей порозности почв (Растворова, 1983), которая тоже возрастает.

Объемная теплоемкость сухой почвы, рассчитанная по данным содержания органического вещества и плотности в вариантах опыта, уменьшается для обеих почв в 1.1–1.2 раза по сравнению с контролем. Различия достоверны для вариантов с крупной фракцией угля и для варианта с 5 % мелкого угля в тяжелосуглинистой почве.

Исследуемая песчаная дерново-подзолистая почва относится к классу рыхлых песков и не оструктурена. Так как почвенные частицы мелкозема соответствуют размерам агрегатов, то расчет коэффициентов структурности и водопрочности не проводили. Исследование агрегатного состава в вариантах опыта показывает, что применение биоугля на песчаной почве достоверно повышает содержание фракции глыб > 10 мм до 4.5 раза при дозировке угля 5 % независимо от фракции угля (рис. 1А). Также достоверно увеличивается содержание фракции 7–5 мм в 2.5 раза и 5–3 мм в 5.6 раза в варианте с 5 % крупного угля по сравнению с контролем. Практически для всех вариантов есть достоверное увеличение структурных отдельностей 1–3 мм в 1.3–1.8 раза. Есть тенденция уменьшения агрегатов 1–0.5 мм в 1.1–1.4 раза и агрегатов 0.5–0.25 в 1.5–1.8 раза (достоверно для всех вариантов). Доля остальных фракций достоверно не изменяется. При мокром просеивании наибольшая доля частиц приходится на структурные отдельности 3–1 и 1–0.5 мм (рис. 1В). Происходит незначительное в 1.2 раза достоверное увеличение фракции 3–1 мм в вариантах с мелким углем. Доля остальных агрегатов достоверно не изменяется. Следует отметить,

Таблица 4. Изменение агрофизических свойств почв в вариантах опыта
Table 4. Changes in agrophysical properties of soils in the variants of the experiment

Вариант	ρ , г/см ³	ПВ, %	C_v , кал/см ³ ·°C
Дерново-подзолистая песчаная			
Контроль	1.48 ± 0.03 (a)	24.4 ± 0.03 (a)	0.282 ± 0.002 (a)
1	1.41 ± 0.01 (a)	30.8 ± 0.35 (b)	0.279 ± 0.002 (a)
2	1.31 ± 0.02 (b)	34.9 ± 1.04 (c)	0.271 ± 0.002 (ab)
3	1.40 ± 0.02 (a)	28.3 ± 0.58 (b)	0.265 ± 0.005 (b)
4	1.26 ± 0.02 (b)	34.2 ± 0.87 (c)	0.237 ± 0.003 (c)
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая			
Контроль	1.37 ± 0.02 (a)	42.2 ± 1.16 (ab)	0.262 ± 0.004 (a)
1	1.33 ± 0.01 (a)	45.6 ± 0.15 (bd)	0.265 ± 0.001 (a)
2	1.15 ± 0.01 (b)	50.5 ± 0.06 (c)	0.243 ± 0.001 (b)
3	1.30 ± 0.04 (a)	40.1 ± 1.01 (a)	0.246 ± 0.004 (b)
4	1.10 ± 0.02 (b)	47.6 ± 1.70 (cd)	0.211 ± 0.003 (c)

Примечание. Приведены данные среднего арифметического ± ошибка среднего (n = 3). Различными буквами (в пределах переменной для одной почвы) обозначены варианты, имеющие статистически достоверные (значимые) различия по критерию Тьюки при $p \leq 0.05$.

что максимальные показатели увеличения количества фракции 7–5 и 5–3 мм при сухом просеивании (вариант с 5 % крупного угля) и 3–1 мм при мокром просеивании (варианты с мелким углем) наблюдаются за счет прямого внесения частиц данного размера.

При добавлении биоугля к тяжелосуглинистой почве во всех вариантах достоверно уменьшается количество крупных глыб примерно в 1.2 раза и увеличивается количество фракции крупных макроагрегатов 10–7 мм в 1.6–1.7 раза (рис. 2А). Происходит увеличение содержания агрегатов 5–3 мм в 1.2–1.9 раза, достоверно для вариантов с 5 % дозировкой угля. Количество агрегатов 3–1 мм увеличивается в 1.2–1.4 раза, изменения также более выражены для дозировки угля в 5 %. Содержание мелких макроагрегатов в вариантах опыта с добавлением угля значительно не меняется, но статистически значимо увеличивается количество микроагрегатов < 0.25 мм в 1.5 раза для вариантов с мелким углем. Коэффициент структурности при добавлении биоугля увеличивается во всех вариантах в 1.3–1.7 раза, достигая максимума в варианте с 5 % крупного угля. Следует отметить, что тяжелосуглинистая почва изначально имеет неудовлетворительное агре-

гатное состояние ($K_s = 0.37$), но в варианте с 5 % крупного угля коэффициент достигает 0.63, что близко к хорошему агрегатному состоянию ($K_s > 0.67$). При мокром просеивании тяжелосуглинистой почвы, в отличие от песчаной, выделено небольшое количество агрегатов 5–3 мм, а для вариантов с крупным углем – агрегаты 7–5 мм (рис. 2В).

Также достоверно увеличивается количество мелких макроагрегатов 0.5–0.25 мм во всех вариантах в 1.3 раза. Уменьшается содержание фракции микроагрегатов (достоверно для вариантов с мелким углем) в 1.2 раза. Тяжелосуглинистая почва имеет коэффициент водопрочности 42.9, что характеризует водоустойчивость структуры как хорошую. В вариантах с добавлением угля K_v возрастает в 1.2 раза, но принципиально не меняет характеристики водоустойчивости (диапазон хорошей водоустойчивости 40–75).

Обсуждение

Полученные данные в целом согласуются с существующими исследованиями влияния биоугля на физические свойства почв. Известно, что изменения гидрофизических свойств с использованием биоугля более эффективно для почв легкого гранулометриче-

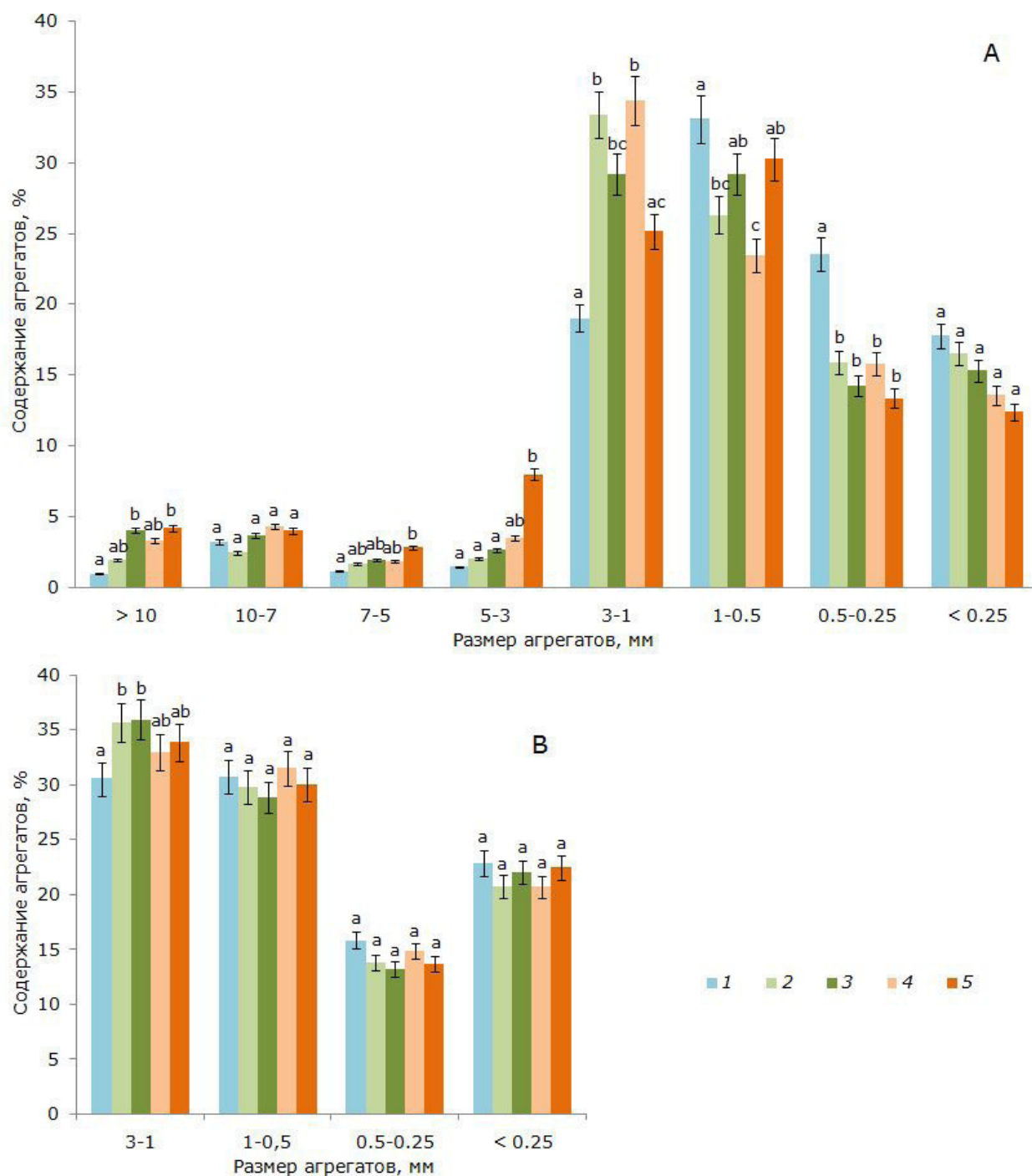


Рис 1. Агрегатный состав в вариантах опыта с дерново-подзолистой песчаной почвой. А – сухое просеивание; В – мокрое просеивание. 1 – контроль; 2 – вариант 1; 3 – вариант 2; 4 – вариант 3; 5 – вариант 4. Различными буквами (в пределах одной группы агрегатов) обозначены варианты, имеющие статистически достоверные (значимые) различия по критерию Тьюки при $p \leq 0.05$

Fig. 1. Aggregate size distribution in the variants of the experiment with soddy-podzolic sandy soil; A – dry-sieving; B – wet-sieving. 1 – control; 2 – variant 1; 3 – variant 2; 4 – variant 3; 5 – variant 4. Variants having significant differences according to the Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$) marked with different letters (within one group of aggregates)

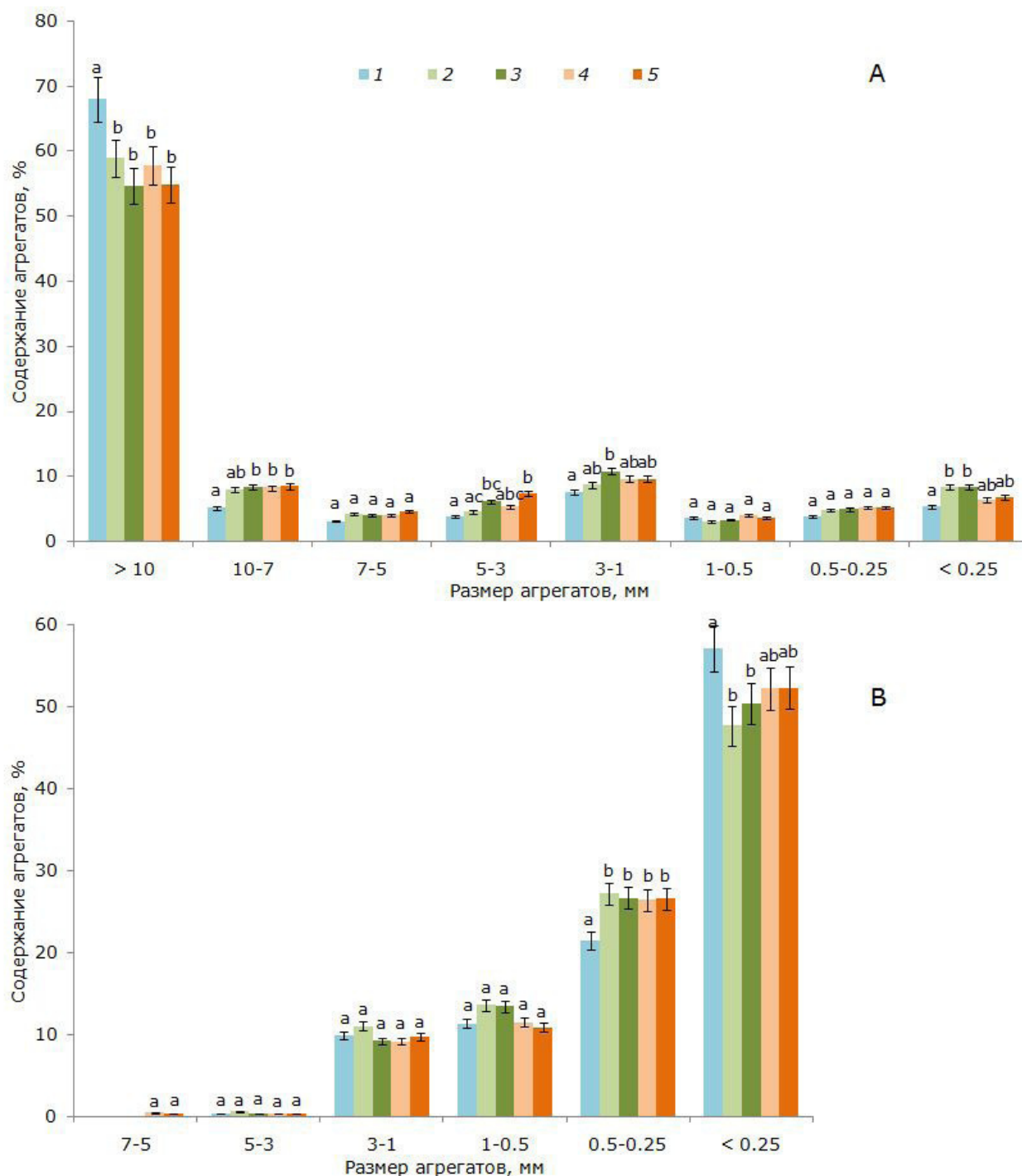


Рис 2. Агрегатный состав в вариантах опыта с дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвой. А – сухое просеивание; В – мокрое просеивание. 1 – контроль; 2 – вариант 1; 3 – вариант 2; 4 – вариант 3; 5 – вариант 4. Различными буквами (в пределах одной группы агрегатов) обозначены варианты, имеющие статистически достоверные (значимые) различия по критерию Тьюки при $p \leq 0.05$

Fig. 2. Aggregate size distribution in variants of the experiment with soddy-podzolic clay loam soil; A – dry-sieving; B – wet-sieving. 1 – control; 2 – variant 1; 3 – variant 2; 4 – variant 3; 5 – variant 4. Variants having significant differences according to the Tukey's HSD test ($p \leq 0.05$) are indicated with different letters (within one group of aggregates)

ского состава (Рижия и др., 2015; Ajayi et al., 2016; Omondi et al., 2016). В нашем случае при добавлении биоугля к песчаной почве наблюдаются значительные достоверные изменения полной влагоемкости почв независимо от дозировки угля, в то время как в тяжелосуглинистой почве достоверные изменения есть лишь для варианта с 5 % дозировкой. Многие исследователи отмечают усиление эффекта влияния биоугля на физические свойства и агрегатное состояние почв при более высокой его дозировке (Peake et al., 2014; Ajayi et al., 2016; Omondi et al., 2016). Данные эксперимента подтверждают эту тенденцию, особенно в отношении показателей плотности сложения почвы, полной влагоемкости и агрегатного состава. На показатели объемной теплоемкости наибольший эффект в обеих почвах оказывает 5 % дозировка крупного угля. Так как это показатель расчетный, то эффект можно объяснить его зависимостью от плотности сложения исследуемых образцов почв, значения которой являются наименьшими в данных вариантах. Согласно расчетам, более высокое содержание органического вещества в вариантах с биоуглем влияет на теплоемкость незначительно. Существует очень мало исследований влияния биоугля на тепловые свойства почв, но, по экспериментальным данным (Liu et al., 2018), в полевых условиях также была отмечена четкая тенденция уменьшения теплоемкости в почвах с добавлением биоугля за счет увеличения общей порозности почвы. Таким образом, можно предположить, что данный показатель больше зависит от физических свойств угля, в частности его плотности, порозности и теплоемкости.

Исследования влияния биоугля на агрегатный состав почв сосредоточены в основном на результатах мокрого просеивания и водопрочности структуры. При этом отмечено, что внесение биоугля сильнее влияет на агрегацию почв среднего и тяжелого гранулометрического состава по сравнению с почвами легкого гранулометрического состава (Obia et al., 2016). В нашем эксперименте наблюдается увеличение содержания структурных отдельностей от 7 до 1 мм, также увеличивается количество фракции глыб >

10 мм и тенденция к снижению количества фракций < 1 мм при сухом просеивании песчаной почвы. Вероятно, внесение биоугля увеличивает количество крупных глыб и средних макроагрегатов песчаной почвы как за счет связывания частиц почвы < 1 мм, что обусловлено высокой пористостью биоугля, так и за счет прямого внесения частиц данного размера. Глинистые минералы и органическое вещество почвы являются строительным материалом агрегатов и при внесении биоугля, который может являться ядром агрегации, наиболее активно проявляют свои свойства в суглинках и глинах (Lu et al., 2014; Soinne et al., 2014). Нами отмечено улучшение агрегатного состояния и увеличение коэффициента структурности тяжелосуглинистой почвы при добавлении биоугля за счет сокращения количества крупных глыб и увеличения количества макроагрегатов. Данные закономерности наиболее четко проявлялись в вариантах с 5 % содержанием угля. Также происходит некоторое увеличение водоустойчивости структуры почвы и рост коэффициента водопрочности в отличие от песчаной почвы.

Заключение

В результате 100-суточного модельного эксперимента выявили, что применение биоугля в качестве мелиоранта для дерново-подзолистых почв песчаного и тяжелосуглинистого гранулометрического состава меняет их агрофизические характеристики. Достоверное влияние на плотность сложения почв оказывают 5 % дозировки угля независимо от его фракции. В песчаной почве наблюдаются значительные достоверные изменения полной влагоемкости независимо от дозировки биоугля. В тяжелосуглинистой почве достоверные изменения полной влагоемкости есть лишь для варианта с 5 % дозировкой. На показатели объемной теплоемкости наибольший эффект в обеих почвах оказывает 5 % дозировка крупного угля. Принципиально не меняя показатели водоустойчивости, внесение биоугля улучшает агрегатное состояние и коэффициент структурности тяжелосуглинистой почвы, а также увеличивает связность песчаной почвы. Отмечено усиление эффекта применения биоугля при более высокой его дозировке.

Библиография

- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экологические функции почвы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 137 с.
- Кулагина В. И., Григорьян Б. Р., Грачев А. Н., Рязанов С. С. Влияние внесения биоугля на водопроницаемость и влагоемкость почв разного гранулометрического состава // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 11. С. 129–133.
- Растворова О. Г. Физика почв (Практическое руководство). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.
- Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Мухина И. М., Белинец А. С., Балашов Е. В. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 211–220. <http://dx.doi.org/10.7868/S0032180X14120089>
- Теории и методы физики почв / Под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
- Федорова Н. Н., Романов О. В. Влияние органических веществ на агрегатное состояние почв // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2006. Сер. 3. Вып. 1. С. 148–155.
- Ajayi A. E., Holthusen D., Horn R. Changes in microstructural behavior and hydraulic functions of biochar amended soils // Soil & Tillage Research. 2016. Vol. 55. P. 166–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.007>
- Burrell L. D., Zehetner F., Rampazzo N., Wimmer B., Soja G. Long-term effects of biochar on soil physical properties // Geoderma. 2016. Vol. 282. P. 96–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.019>
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. № 4 (1). P. 1–9.
- Khadem A., Raiesi F. Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils // Applied Soil Ecology. 2017. Vol. 114. P. 16–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.018>
- Laird D. A., Novak J. M., Collins H. P., Ippolito J. A., Karlen D. L., Lentz R. D., Sistani K. R., Spokas K., Van Pelt R. S. Multi-year and multi-location soil quality and crop biomass yield responses to hardwood fast pyrolysis biochar // Geoderma. 2017. Vol. 289. P. 46–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.025>
- Lehrsch G. A., Lentz R. D., Kincaid D. C. Polymer and sprinkler droplet energy effects on sugar beet emergence, soil penetration resistance, and aggregate stability // Plant and Soil. 2005. Vol. 273. P. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-7614-6>
- Liu Z., Xu J., Li X., Wang J. Mechanisms of biochar effects on thermal properties of red soil in south China // Geoderma. 2018. Vol. 323. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.045>
- Lu S.-G., Sun F.-F., Zong Y.-T. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol) // Catena. 2014. Vol. 114. P. 37–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.014>
- Obia A., Mulder J., Martinsen V., Cornelissen G., Børresen T. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in high-textured tropical soils // Soil & Tillage Research. 2016. Vol. 155. P. 35–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.002>
- Omondi M. O., Xia X., Nahayo A., Liu X., Korai P. K., Pan G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data // Geoderma. 2016. Vol. 274. P. 28–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.029>
- Peake L. R., Reid B. J., Tang X. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils // Geoderma. 2014. Vol. 235–236. P. 182–190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.002>
- Soinne H., Hovi J., Tammeorg P., Turtola E. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability // Geoderma. 2014. Vol. 219–220. P. 162–167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.022>
- Tan Z., Lin C. S. K., Ji X., Rainey T. J. Returning biochar to fields: A review // Applied Soil Ecology. 2017. Vol. 116. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.017>
- Vaughn S. F., Kenar J. A., Eller F. J., Moser B. R., Jackson M. A., Peterson S. C. Physical and chemical characterization of biochars produced from coppiced wood of thirteen tree species for use in horticultural substrates // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 66. P. 44–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.026>
- Xu G., Wei L. L., Sun J. N., Shao H. B., Chang S. X. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism? // Ecological Engineering. 2013. Vol. 52. P. 119–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.091>
- Zhang A., Cheng G., Hussain Q., Zhang M., Feng H., Dyck M., Sun B., Zhao Y., Chen J., Wang X. Contrasting

- Zhang A., Cheng G., Hussain Q., Zhang M., Feng H., Dyck M., Sun B., Zhao Y., Chen J., Wang X. Contrasting effects of straw and straw-derived biochar application on net global warming potential in the Loess Plateau of China // *Field Crops Research*. 2017. Vol. 205. P. 45–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.006>
- Zhao R., Coles N., Kong Z., Wu J. Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions // *Soil & Tillage Research*. 2015. Vol. 146. P. 133–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.10.014>

Благодарности

Финансовое обеспечение работы осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ темы 0221-2017-0047).

IMPACT OF DIFFERENT FRACTIONS AND DOSAGES OF BIO-CHAR ON SOME AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SODDY-PODZOLIC SOILS

DUBROVINA
Inna Aleksandrovna *Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, vorgo@mail.ru*

YURKEVICH
Maria Gennad'evna *Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, svirinka@mail.ru*

SIDOROVA
Valeria Aleksandrovna *Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, val.sidorova@gmail.com*

BOGDANOVA
Tatyana Viktorovna *Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, bogdanovat372@mail.ru*

Key words:

bio-char
soddy-podzolic soil
model experiment
bulk density
total water capacity
thermal capacity
aggregate size distribution

Summary: The influence of different dosages and fractions of bio-char on agrophysical properties and aggregate structure of soddy-podzolic soils was studied in 100-day model experiment. Two kinds of soddy-podzolic soils - sand and clay loam - contrasting in texture were investigated. In the experiment greenwood bio-char prepared by industrial methods was used. Bio-char fractions of 3-5 mm and ≤ 2 mm at the dosages of 2 % and 5 % by weight of the soil were used. In several variants of the experiment the bulk density, total water capacity, thermal capacity of dry soil and aggregate size distribution (dry- and wet-sieving) were measured. Soil without the addition of bio-char served as a control. For statistical data processing one-way ANOVA with post-hoc analysis by Tukey's HSD test was applied. As a result, changes in all investigated agrophysical properties of soils were revealed. It was shown that bulk density of both soils was reduced in the variants at 5 % dosage of bio-char regardless of fraction. Significant changes of total water capacity are observed in sandy soil irrespective of the dosage of bio-char. Significant change of total water capacity of clay loam soil was recorded only for the variants with a 5 % dosage of bio-char. The greatest effect on the indicators of thermal capacity in both soils was provided at 5 % dosage of coarse bio-char. The application of bio-char improves the aggregate state and the structure index of clay loam soil as well as increases the coherence of sandy soil, fundamentally not changing the indicators of water resistance of both soils. A significant effect gain in using bio-char at a higher dosage was noted almost for all indicators.

Reviewer: N. P. Buchkina

Reviewer: E. Ya. Rizhiya

Received on: 30 May 2018

Published on: 24 December 2018

References

- Ajayi A. E., Holthusen D., Horn R. Changes in microstructural behavior and hydraulic functions of biochar amended soils, *Soil & Tillage Research*. 2016. Vol. 55. P. 166–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.007>
- Burrell L. D., Zehetner F., Rampazzo N., Wimmer B., Soja G. Long-term effects of biochar on soil physical properties, *Geoderma*. 2016. Vol. 282. P. 96–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.019>
- Dobrovolskiy G. V. Nikitin E. D. Ecological functions of soil. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1986. 137 p.
- Fedorova N. N. Romanov O. V. Effect of organic materials on the aggregate condition of soils, *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. 2006. Ser. 3. Vyp. 1. P. 148–155.

- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*. 2001. No. 4 (1). P. 1–9.
- Khadem A., Raiesi F. Responses of microbial performance and community to corn biochar in calcareous sandy and clayey soils, *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 114. P. 16–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.018>
- Kulagina V. I. Grigor'yan B. R. Grachev A. N. Ryazanov S. S. Influence of biochar insertion on water permeability and water-holding capacity of soils with different particle size distribution, *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. T. 20. No. 11. P. 129–133.
- Laird D. A., Novak J. M., Collins H. P., Ippolito J. A., Karlen D. L., Lentz R. D., Sistani K. R., Spokas K., Van Pelt R. S. Multi-year and multi-location soil quality and crop biomass yield responses to hardwood fast pyrolysis biochar, *Geoderma*. 2017. Vol. 289. P. 46–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.025>
- Lehrsch G. A., Lentz R. D., Kincaid D. C. Polymer and sprinkler droplet energy effects on sugar beet emergence, soil penetration resistance, and aggregate stability, *Plant and Soil*. 2005. Vol. 273. R. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-7614-6>
- Liu Z., Xu J., Li X., Wang J. Mechanisms of biochar effects on thermal properties of red soil in south China, *Geoderma*. 2018. Vol. 323. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.045>
- Lu S. G., Sun F. F., Zong Y. T. Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol), *Catena*. 2014. Vol. 114. P. 37–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.014>
- Obia A., Mulder J., Martinsen V., Cornelissen G., Børresen T. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in high-textured tropical soils, *Soil & Tillage Research*. 2016. Vol. 155. P. 35–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.002>
- Omondi M. O., Xia X., Nahayo A., Liu X., Korai P. K., Pan G. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data, *Geoderma*. 2016. Vol. 274. P. 28–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.029>
- Peake L. R., Reid B. J., Tang X. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils, *Geoderma*. 2014. Vol. 235–236. P. 182–190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.002>
- Rastvorova O. G. Soil Physics (Practical Guide). L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1983. 196 p.
- Rizhiya E. Ya. Buchkina N. P. Muhina I. M. Belinec A. S. Balashov E. V. Effect of Biochar on the Properties of Loamy Sand Spodosol Soil Samples with Different Fertility Levels: A Laboratory Experiment, *Pochvovedenie*. 2015. No. 2. P. 211–220. <http://dx.doi.org/10.7868/S0032180X14120089>
- Soinne H., Hovi J., Tammeorg P., Turtola E. Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability, *Geoderma*. 2014. Vol. 219–220. P. 162–167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.022>
- Tan Z., Lin C. S. K., Ji X., Rainey T. J. Returning biochar to fields: A review, *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 116. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.017>
- Theories and methods of soil physics, Pod red. E. V. Sheina, L. O. Karpachevskogo. M.: Grif i K, 2007. 616 p.
- Vadyunina A. F. Methods for studying physical properties of soils. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p.
- Vaughn S. F., Kenar J. A., Eller F. J., Moser B. R., Jackson M. A., Peterson S. C. Physical and chemical characterization of biochars produced from coppiced wood of thirteen tree species for use in horticultural substrates, *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 66. P. 44–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.026>
- Xu G., Wei L. L., Sun J. N., Shao H. B., Chang S. X. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?, *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 52. P. 119–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.091>
- Zhang A., Cheng G., Hussain Q., Zhang M., Feng H., Dyck M., Sun B., Zhao Y., Chen J., Wang X. Contrasting effects of straw and straw-derived biochar application on net global warming potential in the Loess Plateau of China, *Field Crops Research*. 2017. Vol. 205. P. 45–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.006>
- Zhao R., Coles N., Kong Z., Wu J. Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions, *Soil & Tillage Research*. 2015. Vol. 146. P. 133–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.10.014>