

**ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ  
СРЕДНЕЙ ТАЙГИ КАРЕЛИИ**

© 2021 г. И. А. Дубровина\*

*Институт биологии, ФИЦ Карельский научный центр РАН, ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, 185910 Россия*

*\*e-mail: vorgo@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.03.2021 г.

После доработки 22.04.2021 г.

Принята к публикации 02.06.2021 г.

Исследовали пролонгированное влияние внесения древесного биоугля в дозе 1.5 кг/м<sup>2</sup> на динамику изменений и тренды основных агрохимических показателей, а также ферментативную активность в почвах различного гранулометрического состава в среднетаежной подзоне Карелии. Участки двухлетнего мониторинга площадью 5 м<sup>2</sup> были заложены рандомизированно в четырехкратной повторности на пашне. Почвы участков – агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный (Umbric Podzol) и агрозем текстурно-дифференцированный типичный среднесуглинистый (Umbric Retisol). Анализировали следующие показатели: рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, рН<sub>KCl</sub>, К<sub>2</sub>O, Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N–NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, С<sub>орг</sub>, N<sub>общ</sub>, C/N – ежемесячно в течение вегетационных периодов, а также плотность, активность каталазы, инвертазы и уреазы ежегодно. Отмечен достоверный рост показателей рН<sub>KCl</sub>, К<sub>2</sub>O и минерального азота при внесении биоугля в агрозем альфегумусовый. Биоуголь оказывал заметное влияние на содержание Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в первый год наблюдений. В почве легкого гранулометрического состава для показателей рН<sub>KCl</sub>, К<sub>2</sub>O и С<sub>орг</sub> отмечен расходящийся линейный тренд, демонстрирующий значительный эффект последствия внесения биоугля на второй год исследований. В агроземе текстурно-дифференцированном биоуголь оказывал достоверное влияние лишь на значение рН<sub>H<sub>2</sub>O</sub>. В почве тяжелого гранулометрического состава значительно уменьшалось содержание нитратного азота при незначительных колебаниях содержания аммонийного азота. Плотность почв менялась слабо. Для обеих почв характерен достоверный рост содержания С<sub>орг</sub> и соотношения C/N при неизменных показателях N<sub>общ</sub>, создающий условия для иммобилизации азота. Внесение биоугля не влияло на активность уреазы и каталазы. Наибольшей отзывчивостью отличалась инвертаза, диагностирующая изменение содержания углерода в почвах.

*Ключевые слова:* почвенная кислотность, доступный калий, доступный фосфор, общий азот, минеральный азот, органический углерод, каталаза, инвертаза, уреазы

**DOI:** 10.31857/S0032180X21120054

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время биоуголь используется в сельскохозяйственной практике разных стран мира в качестве органического мелиоранта для повышения плодородия почв. Применение биоугля одновременно решает задачи обеспечения продовольственной безопасности, утилизации неиспользованных органических отходов и регуляции климата путем длительного связывания углерода в почвах [20, 25].

Биоуголь получают путем пиролиза органических материалов различного происхождения, что способствует более экологичному использова-

нию отходов сельского хозяйства, а также лесной и пищевой промышленности. В глобальном масштабе использование биоугля рассматривается как инструмент секвестрации углерода атмосферы, где вклад земледелия в депонировании углерода может быть значительным [7]. Ароматический углерод в составе биоугля более устойчив к химическому и микробиологическому окислению по сравнению с другими органическими материалами, вносимыми в почву (торф, навоз). Поэтому стабильная часть биоугля (до 97%) способствует долгосрочному связыванию углерода в почвах [39]. Другим аспектом регуляции климата

**Таблица 1.** Характеристика почв

Показатель	Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый	Агрозем текстурно-дифференцированный типичный
Горизонт Р, см	46	30
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1.1	1.2
Физическая глина, %	12	31
pH <sub>KCl</sub>	6.1	5.1
C <sub>орг</sub> , %	3.0	1.8
N <sub>общ</sub> , %	0.23	0.14
C/N	15.2	15.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	510	310
K <sub>2</sub> O, мг/кг	120	150

с помощью биоугля является снижение эмиссии парниковых газов из почв с его добавлением [10, 15].

В сельском хозяйстве биоуголь используют в качестве мелиоранта, что наиболее перспективно на почвах с низким плодородием [21]. Внесение биоугля улучшает физико-химические свойства почв и биодоступность элементов питания, увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур [24, 29, 37, 43]. Высокая емкость катионного обмена биоугля снижает кислотность почв и вымывание питательных веществ за пределы профиля. Благодаря высокой ЕКО, биоуголь может использоваться для иммобилизации токсичных элементов в загрязненных почвах [16].

Воздействие биоугля на почву и экосистему в целом зависит от местных условий – типа почвы, климатических особенностей и сельскохозяйственной практики. Несмотря на обширные исследования биоугля применительно к земледелию, долгосрочные механизмы его прямого и косвенного влияния на почвенные свойства, процессы и микробиоту, остаются недостаточно изученными. Поскольку применение биоугля оказывает значительное влияние на содержание почвенного углерода, большой интерес вызывают биогеохимические особенности и динамика биогенных элементов в почвах [19, 23]. Углерод почвы играет важную роль в круговороте веществ и энергии, почвообразовании и продуктивности экосистем. Органическое вещество почв является источником энергии для почвенных микроорганизмов, которые, взаимодействуя с минеральной частью, влияют на циклы биогенных элементов. Индикатором изменения микробиологической составляющей является ферментативная активность почв, тесно связанная с циклами углерода и азота. Дан-

ные вопросы особенно слабо исследованы в умеренной зоне и высоких широтах, где необходимо установить критерии и подходы к использованию биоугля для определенных типов почв [8, 35, 38]. Для понимания отсроченных эффектов использования биоугля в земледелии целесообразно проводить долгосрочные полевые эксперименты и опыты.

Цель работы – изучение пролонгированного влияния внесения биоугля на динамику изменений и тренды основных агрохимических показателей, а также ферментативную активность бо-реальных почв различного гранулометрического состава.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Площадки мониторинга заложены в 2018 и 2019 гг. на участках пашни с различными по гранулометрическому составу почвами в среднетаежной подзоне Карелии. Климат региона умеренно-холодный, переходный от морского к континентальному. В южной части Карелии среднегодовая температура воздуха составляет 2°С при 650 мм осадков в год [1]. Первый участок расположен на поле Карельской государственной сельскохозяйственной опытной станции в п. Виданы Пряжинского района Карелии (61°52'22.8" N, 34°0'3.6" E). Поле находится на плоском пологом участке. Почва участка – агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерных песках (АА). Второй участок расположен на поле Агробиологической станции КарНЦ РАН в г. Петрозаводск (61°45'3.6" N, 34°21'12.4" E). Поле находится в верхней части пологого склона. Почва участка – агрозем текстурно-дифференцированный типичный среднесуглинистый на морене суглинистой (АТ). Характеристика почв представлена в табл. 1. Площадки с биоуглем и контрольные участки площадью 5 м<sup>2</sup> были заложены рандомизированно в четырехкратной повторности. В исследовании использовали уголь древесный (ГОСТ 7657-84), марка А в дозе 1.5 кг/м<sup>2</sup> (15 т/га), размер фракции ≤1 см. Биоуголь имеет следующие характеристики: содержание (% от массы сухого вещества) С – 81; N – 0.35; K – 0.24; P – 0.026; Ca – 0.83; Mg – 0.20; зола – 2.8; pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> – 9.3; pH<sub>KCl</sub> – 7.9; плотность – 0.37 г/см<sup>3</sup>. Уголь вносили и перекапывали вручную. В первый год исследования на участках выращивали картофель, во второй год – сидераты. В ходе мониторинга дополнительные удобрения в почву не вносились.

В годы проведения исследования метеорологические условия характеризовались как неравномерные (табл. 2). Вегетационный период 2018 г. отличался повышенным температурным фоном, при низком количестве осадков в начале сезона, и избытке в августе. В 2019 г. отмечался повышен-

**Таблица 2.** Метеорологические условия в течение вегетационных периодов наблюдений

Показатель	Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура воздуха, °С	2018	12.4	13.6	18.5	16.9	11.4
	2019	9.1	16.5	13.5	13.4	9.6
	2020	7.4	16.1	16.2	14.6	11.3
	Средняя многолетняя	8.7	13.7	16.9	14.5	9.5
Осадки, мм	2018	17	37	58	106	50
	2019	54	31	133	49	42
	2020	23	43	58	57	68
	Норма	48	65	83	82	60
ГТК	2018	0.44	0.91	1.01	2.02	1.46
	2019	1.91	0.63	3.18	1.18	1.46
	2020	1.00	0.89	1.16	1.26	2.01

ный температурный фон начала вегетации, с понижением среднемесячной температуры в июле и августе. Превышение среднего многолетнего уровня осадков было зафиксировано в мае и июле, в остальные месяцы отмечен их дефицит.

В 2020 г. температурный фон в период вегетации соответствовал климатической норме, с некоторым превышением средних значений в июне и сентябре. Осадки в течение сезона выпадали неравномерно, в июне–августе отмечался дефицит, а в сентябре избыток осадков [6]. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) при средней многолетней норме 1.5 за период вегетации [1] составил в 2018–2020 гг. 1.17, 1.67 и 1.26 соответственно. В некоторые месяцы ГТК превышал норму в 1.5–2 раза, а при показателях <1 отмечена засуха.

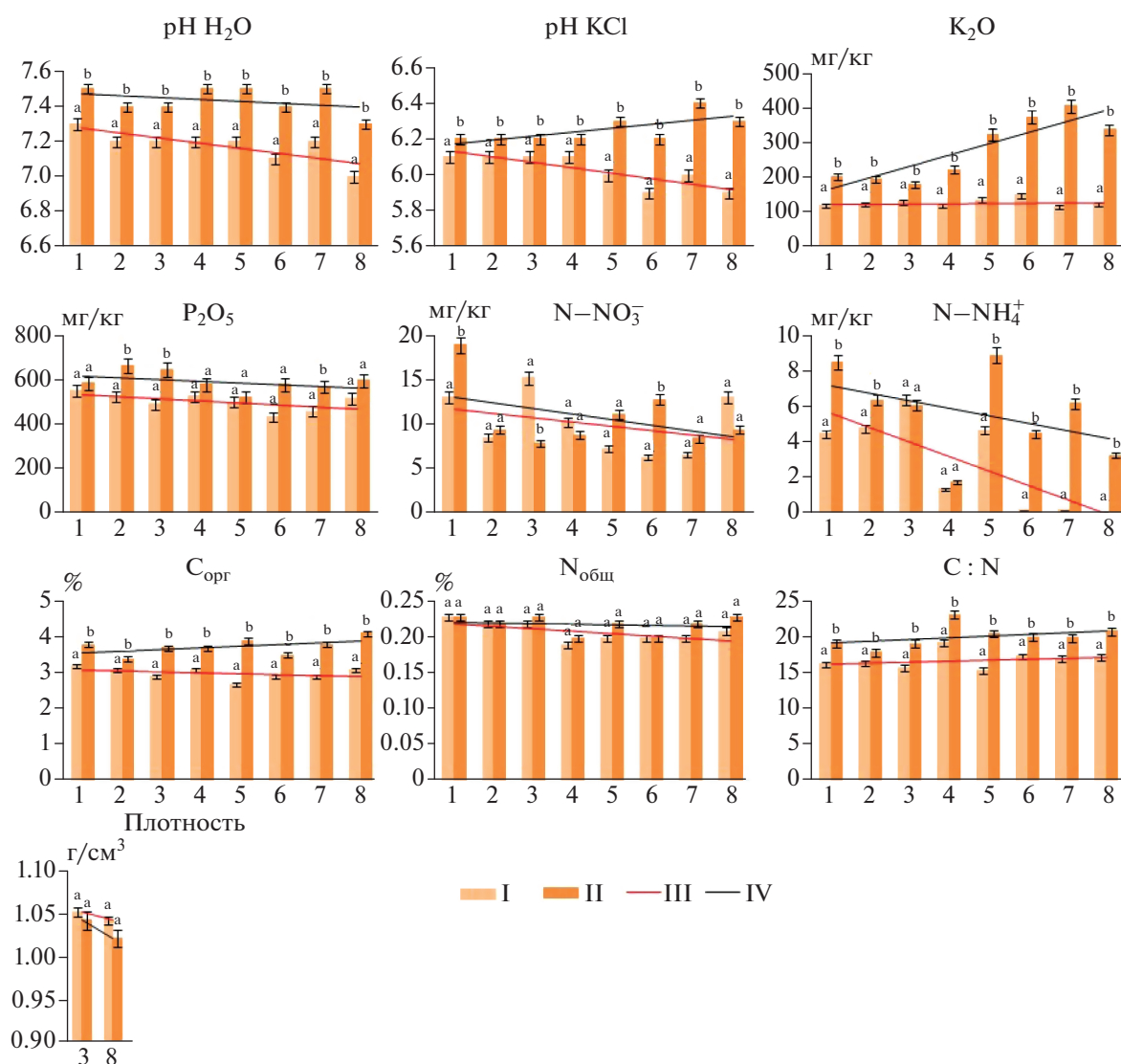
Отбор почвенных проб проводили ежемесячно в течение вегетационных периодов 2018–2020 гг. С каждого участка отбирали почву с глубины пахотного горизонта 5–20 см методом “конверта” и анализировали смешанный образец. В образцах анализировали  $pH_{H_2O}$ ,  $pH_{KCl}$ , содержание аммонийного азота ( $N-NH_4^+$ ) в свежем образце и содержание нитратного азота ( $N-NO_3^-$ ) – потенциометрически с использованием ион-селективных электродов на иономере Анион 4100 Инфраспак-Аналит; содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ) по Кирсанову (0.2 М HCl) со спектрофотометрическим окончанием на спектрофотометре UV-1800 Shimadzu (фосфор) и атомно-эмиссионным окончанием на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 Shimadzu (калий); содержание общего органического углерода ( $C_{орг}$ ) методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе TOC-L CPN Shimadzu; содержание общего азота ( $N_{общ}$ ) по Кьельдалю на анализаторе азота Vuchi; рассчитывали соотношение C/N; в конце первого и вто-

рого года наблюдений определяли плотность почв весовым методом [9, 13]. Ферментативную активность измеряли через месяц и через год после внесения биоугля. Исследовали каталазную активность методом Джонсона и Темпле с титриметрическим окончанием, уреазную активность методом Щербаковой со спектрофотометрическим окончанием и инвертазную активность методом Хазиева с соавт. со спектрофотометрическим окончанием на спектрофотометре СФ-2000 “ОКБ Спектр” [14].

Для статистической обработки данных применяли *t*-тест Стьюдента для анализа различий средних значений в контрольных участках и участках с биоуглем при уровне значимости  $p \leq 0.05$ . Для анализа зависимости содержания минерального азота в опыте от климатических факторов (температура воздуха и количество осадков) использовали корреляционный анализ Пирсона. В работе использовали пакеты анализа PAST Statistics и Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Внесение биоугля в АА оказывает значительное влияние на исследуемые параметры (рис. 1). Растет уровень водного и солевого pH на 0.2–0.3 ед. после внесения биоугля несмотря на то, что почва изначально имеет нейтральную реакцию, различия достоверны для всех дат наблюдений. Повышенный уровень pH сохраняется в вариантах с биоуглем в течение двух лет наблюдений. Несмотря на высокий уровень обеспеченности почвы фосфором, биоуголь увеличивает содержание этого элемента в среднем на 15%. Изменения достоверны не для всех дат наблюдений. Наивысший уровень  $P_2O_5$  отмечен в конце сезона в первый год наблюдений, где рост составил 24% от контроля. Внесение биоугля значительно увеличивает содержание подвижного калия, в первый год наблюдений в среднем на 30%, а во второй – на 60% от



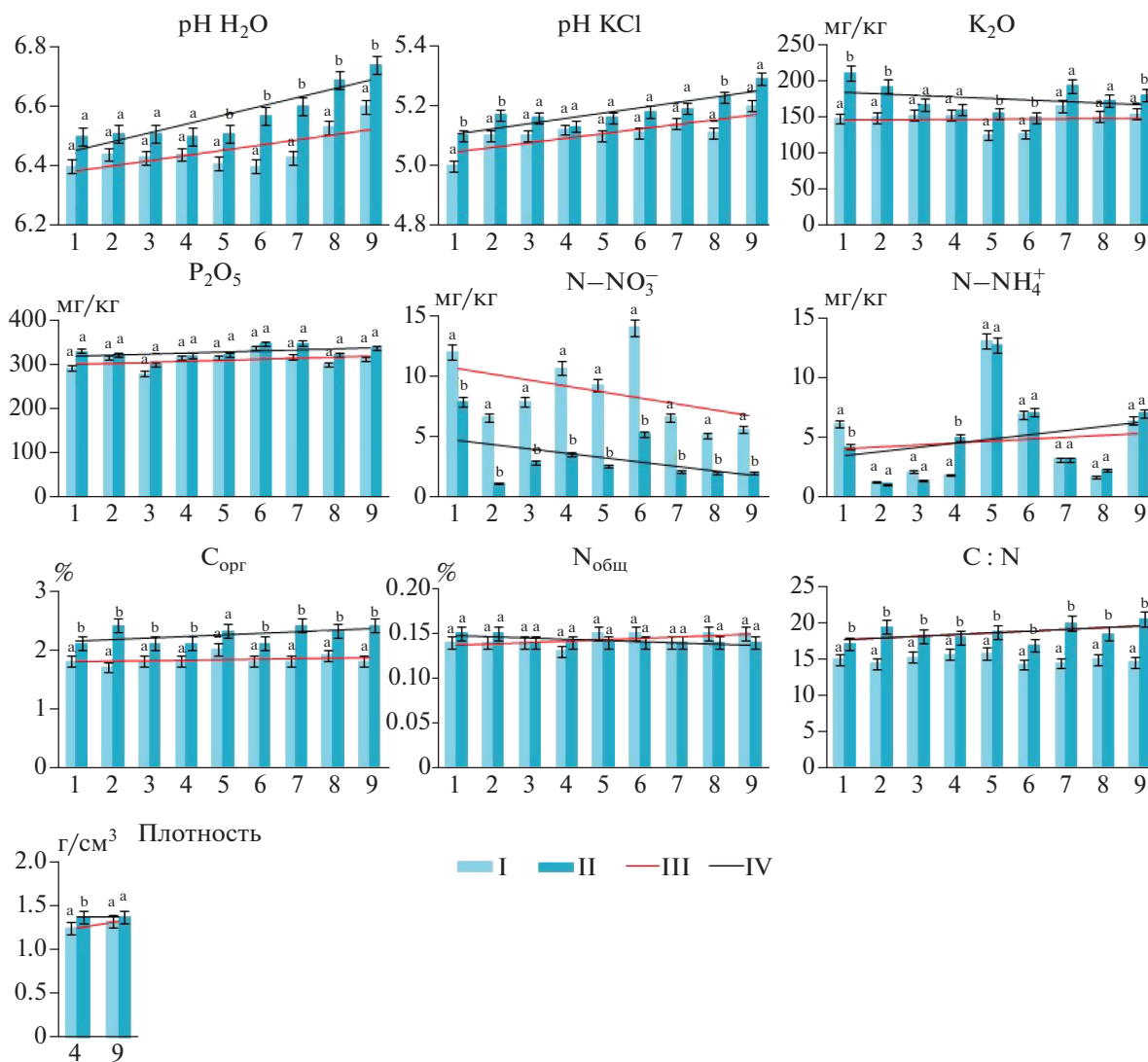
**Рис. 1.** Динамика почвенных свойств агрозема альфегумусового иллювиально-железистого. Представлены данные среднего арифметического ( $n = 4$ ). Разными буквами обозначены статистически значимые отличия между контролем и вариантом с биоуглем. Здесь и на рис. 2: даты отбора образцов: 1 – 15.07.2018; 2 – 15.08.2018; 3 – 19.09.2018; 4 – 14.05.2019; 5 – 19.06.2019; 6 – 16.07.2019; 7 – 19.08.2019; 8 – 17.09.2019. I – контроль; II – биоуголь; III – линейный тренд для контрольных вариантов; IV – линейный тренд для вариантов с биоуглем.

контроля, различия достоверны для всех дат. На второй год наблюдений содержание калия в вариантах с биоуглем увеличивается в 2 раза, для него характерен расходящийся линейный тренд. Внесение биоугля способствует некоторому уменьшению плотности почвы.

Плотность почвы в конце первого и второго годов наблюдений меньше в вариантах с биоуглем, она несколько уменьшается к концу второго года, но различия между вариантами недостоверны.

Содержание общего органического углерода в вариантах с биоуглем увеличивается в среднем на 19%, различия достоверны для всех дат. К концу

второго года исследований наблюдается расходящийся линейный тренд, содержание углерода в вариантах с биоуглем достоверно больше, чем в контрольных. Содержание общего азота практически не меняется, в вариантах с биоуглем отмечен тренд роста содержания N<sub>общ</sub> по сравнению с контролем при колебаниях в пределах статистической погрешности. Поскольку при добавлении биоугля в почву содержание углерода увеличивается, а показатели общего азота остаются практически неизменными, наблюдается достоверный рост соотношения C/N на 15–20% от контроля. Соотношение C/N увеличивается от 16–17 до 18–20.



**Рис. 2.** Динамика почвенных свойств агрозема текстурно-дифференцированного типичного. Представлены данные среднего арифметического ( $n = 4$ ). Разными буквами обозначены статистически значимые отличия между контролем и вариантом с биоуглем.

Содержание минерального азота при внесении биоугля в АА напротив претерпевает значительные изменения. В данной почве содержание минерального азота небольшое, до 10 мг/кг для  $N-NH_4^+$  и до 20 мг/кг для  $N-NO_3^-$ . В течение двух лет наблюдений при внесении биоугля содержание в почве  $N-NO_3^-$  возрастает от 10 до 50% от контроля в весенне-летний период, особенно сильно в июне–июле, и снижается в сентябре. Для контрольных вариантов, напротив, характерны наибольшие значения содержания  $N-NO_3^-$  в мае и сентябре, а в летние месяцы значения меньше, чем в вариантах с биоуглем. Содержание  $N-NH_4^+$  при применении биоугля в первый год наблюде-

ний возрастает практически во все даты наблюдений от 25 до 45% от контроля. Особенно заметны различия в содержании аммонийного азота во второй год наблюдений, когда количество  $N-NH_4^+$  в контрольных вариантах уменьшается практически до нулевых значений, а в вариантах с биоуглем остается на прежнем уровне. Из-за высокой вариабельности значений различия достоверны не для всех дат.

При внесении биоугля в АТ уровень водного и солевого pH увеличивается на 0.1–0.2 ед. (рис. 2). Данная тенденция более выражена для  $pH_{H_2O}$ , особенно во второй год наблюдений. Для  $pH_{KCl}$  различия выражены слабее, между вариантами почти нет достоверных различий. Содержание

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции между количеством минерального азота в вариантах опыта и климатическими факторами

Показатель	Температура, °С		Осадки, мм	
	контроль	биоуголь	контроль	биоуголь
Агроем альфегумусовый иллювиально-железистый ( $n = 32$ )				
N–NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.26	<b>0.72</b>	<b>-0.50</b>	0.20
N–NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>0.39</b>	<b>0.87</b>	<b>-0.65</b>	-0.23
Агроем текстурно-дифференцированный типичный ( $n = 36$ )				
N–NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.19	-0.10	<b>-0.62</b>	<b>-0.60</b>
N–NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.12	<b>-0.38</b>	<b>-0.64</b>	<b>-0.57</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, достоверные при  $p \leq 0.05$ .

подвижного фосфора в вариантах с биоуглем растет незначительно, в среднем на 7% от контроля. Данное увеличение статистически недостоверно для всех дат наблюдений. Содержание подвижного калия при внесении биоугля увеличивается в среднем на 16% от контроля. Наибольшее увеличение содержания калия наблюдалось в первый месяц после внесения биоугля (на 30%), затем в первый год наблюдений его количество несколько уменьшилось. Во второй год наблюдений, несмотря на большее содержание калия в вариантах с биоуглем, различия были достоверны не для всех дат наблюдений.

Плотность почвы при внесении биоугля в первый год наблюдений увеличивается и становится достоверно больше, чем в контрольных вариантах. Во второй год наблюдений плотность почвы в вариантах с биоуглем не меняется, а в контрольных вариантах несколько возрастает, поэтому в конце второго года наблюдений различия между значениями плотности в исследуемых вариантах недостоверны.

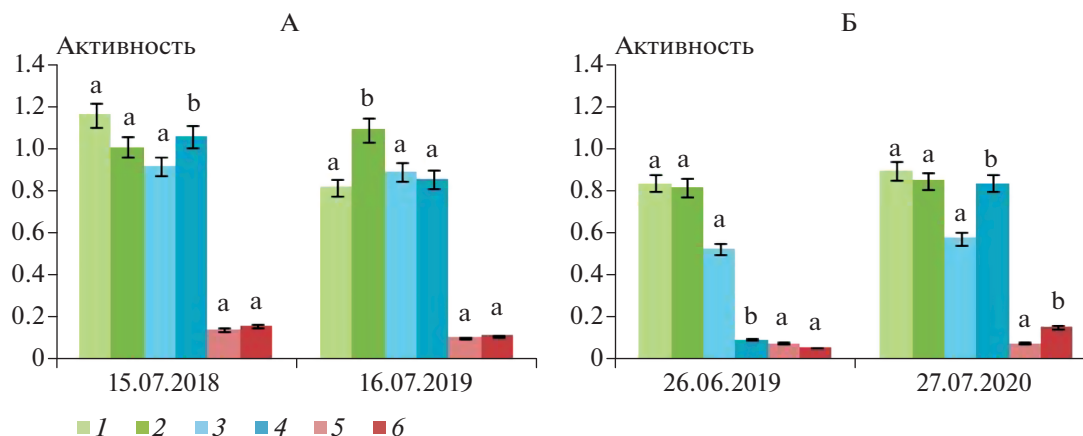
Содержание общего органического углерода в вариантах с биоуглем возрастает в среднем на 20%, различия достоверны практически для всех дат. Показатели общего азота не меняются, для них характерны колебания в пределах статистической погрешности, при этом наблюдается тренд на снижение общего азота в вариантах с биоуглем. Соотношение C/N почвы в вариантах с биоуглем растет достоверно в среднем на 20% и увеличивается с 14–15 до 17–20.

Значительные изменения наблюдаются в показателях минерального азота при применении биоугля. Для АТ также отмечены низкие фоновые значения минерального азота, максимум 13–14 мг/кг почвы. Наибольшее содержание нитратного азота отмечено в начале лета (июнь). В течение двух лет наблюдений при применении биоугля содержание в почве N–NO<sub>3</sub><sup>-</sup> уменьшается в среднем до

60% от контроля. В некоторых месяцах – до 80%. Изменения достоверны для всех дат наблюдений. Для показателей аммонийного азота характерна высокая сезонная изменчивость. Большее содержание N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в течение двух лет наблюдений отмечено в начале вегетации и в сентябре. Для середины лета характерно пониженное содержание N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. При внесении биоугля уровень N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup> меняется незначительно по сравнению с контролем и остается в пределах статистической погрешности практически для всех дат наблюдений.

В табл. 3 представлены коэффициенты корреляции ( $r$ ) содержания минерального азота в опыте от температуры воздуха в день отбора образцов и количества осадков за двухнедельный период до отбора. В АА для контрольных вариантов отмечена обратная зависимость средней силы от количества осадков, когда их повышенное количество ведет к уменьшению содержания азота. В вариантах с биоуглем отмечена тесная зависимость содержания минерального азота от температуры воздуха. В АТ для показателей минерального азота, как в контрольных, так и вариантах с биоуглем не наблюдается значимой корреляционной связи с величиной температуры воздуха в день отбора образцов. Для нитратного и аммонийного азота отмечена обратная корреляционная зависимость средней силы от количества осадков. Данная закономерность характерна как для контрольных вариантов, так и для вариантов с биоуглем.

Через месяц после внесения биоугля в АА инвертазная активность в вариантах с биоуглем достоверно увеличилась на 13%, через год в данных вариантах инвертазная активность была несколько ниже, но недостоверно. На второй год наблюдений в вариантах с биоуглем возросла каталазная активность на 25%. Уреазная активность в данной почве не претерпела значительных изменений (рис. 3). Для АТ характерно значительное снижение инвертазной активности в вариан-



**Рис. 3.** Ферментативная активность агрогема альфегумусового иллювиально-железистого (А) и агрогема текстурно-дифференцированного типичного (Б). Представлены данные среднего арифметического ( $n = 4$ ). Разными буквами обозначены статистически значимые отличия между контролем и вариантом с биоуглем. Условные обозначения: каталаза (мл  $\text{KMnO}_4/\text{г}$  почвы) 1 – контроль; 2 – биоуголь; инвертаза (мг глюкозы/(г почвы за 4 ч) 3 – контроль; 4 – биоуголь; уреазы (мг  $\text{N-NH}_4/(\text{г}$  почвы за 4 ч) 5 – контроль; 6 – биоуголь.

тах с биоуглем через месяц после внесения. Через год инвертазная активность в данных вариантах возросла по сравнению с контролем. При этом каталазная активность достоверно не меняется, а уреазная активность несколько возрастает во второй год наблюдений.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Применение биоугля оказывает существенное влияние на физико-химические свойства почв [28, 43]. Изменение почвенной кислотности является важным критерием, поскольку рН почвы влияет на доступность элементов питания и микробную активность. В нашем опыте зафиксировано, что в АА достоверно растет уровень рН, особенно солевого. В АТ несмотря на более низкие показатели рН, наблюдается лишь достоверное увеличение показателей  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  растет незначительно. Увеличение рН почв происходит обычно при применении биоуглей с высокой щелочностью. Эффект известкования обусловлен наличием в биоугле зольных элементов, таких как Са, Mg, К и Na [21, 26]. Считается, что биоуголь не только изменяет рН среды за счет щелочной природы, но также сокращает содержание активного алюминия в почве [29, 30]. Как показали предыдущие исследования, в нашем случае уменьшение кислотности почвы при применении древесного биоугля происходит в основном за счет кальция [3].

Известно, что в кислых почвах при увеличении рН среды возрастает доступность фосфора. Максимальное содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в АА с биоуглем отмечено в конце сезона в первый год наблюдений, при этом в АТ показатели доступного фос-

фора колеблются в пределах статистической погрешности. Данный эффект отмечен в опытах со щелочным биоуглем на почвах с низким рН [18, 40], что может быть обусловлено непрямым механизмом стимуляции микроорганизмов, солибилизирующих почвенные фосфаты [33]. Из-за того, что в исследуемом биоугле небольшое содержание валового фосфора, эффект его прямого внесения маловероятен [4]. Увеличение содержания доступного калия в почвах при внесении биоугля, напротив, зачастую обусловлено прямым внесением, а не только косвенным влиянием [33, 41]. Некоторые исследователи отмечают изменение состава глинистых минералов и рост числа бактерий, высвобождающих калий [42]. В АА содержание калия в вариантах с биоуглем увеличивается в течение двух лет в 2 раза. В АТ значительное увеличение показателей доступного калия происходит лишь в первый месяц после добавления биоугля. Поскольку древесный биоуголь содержит значительное количество калия, увеличение его содержания в нашем исследовании может быть обусловлено прямым внесением [4].

Несмотря на то, что обе исследуемые почвы характеризуются сходным уровнем основных агрохимических показателей плодородия, влияние биоугля на их свойства оказывается различным. В АА для показателей  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  характерен расходящийся линейный тренд, демонстрирующий значительный эффект последствия внесения биоугля на второй год исследований. В АТ не наблюдается значительных расходящихся линейных трендов изучаемых показателей. Данные различия могут быть объяснены механизмом влияния биоугля на физико-химические свойства почв, обусловленным его высокой емкостью катионного обмена.

Функциональные группы –COOH или –OH и силы электростатического притяжения на поверхности биоугля обеспечивают обмен катионами с почвенно-поглощающим комплексом. Помимо катионов, на поверхности биоугля могут адсорбироваться илестые частицы и лабильное органическое вещество [31]. В почвах с относительно высоким содержанием илестых частиц они заполняют поры биоугля и снижают его реакционную способность и ионообменный потенциал. Данное исследование подтвердило, что наибольший положительный эффект от применения биоугля получают почвы легкого гранулометрического состава [17, 38].

Многочисленные исследования показывают, что внесение биоугля оказывает противоречивое и разнонаправленное воздействие на почвенный цикл азота. Взаимодействие между биоуглем и почвой изменяет динамику минерального азота в зависимости от условий окружающей среды, типа почвы и температуры пиролиза биоугля [32]. В АА для показателей нитратного и аммонийного азота отмечена большая сезонная и межвариантная изменчивость. Для контрольных вариантов характерна обратная зависимость от количества осадков, когда их повышение ведет к снижению содержания азота, особенно аммонийного. Коэффициенты корреляции между содержанием минерального азота в контрольных вариантах и количеством осадков составляют  $r = -0.50$  для  $N-NO_3^-$  и  $-0.65$  для  $N-NH_4^+$ . Данную закономерность можно объяснить стабилизирующей ролью биоугля для минерального азота. Известно, что добавки биоугля в почву способствуют снижению выщелачивания минерального азота посредством химической сорбции и физической адсорбции в микропорах биоугля [33, 45]. В целом для вариантов с биоуглем характерны большие уровни минерального азота, особенно при повышенной температуре воздуха. Коэффициенты корреляции между количеством минерального азота в вариантах с биоуглем и температурой воздуха составляют  $r = 0.72$  для  $N-NO_3^-$  и  $0.87$  для  $N-NH_4^+$ . Поскольку внесение биоугля ведет к уменьшению кислотности и улучшению водно-воздушного режима почвы, то в сочетании с оптимальными температурами это стимулирует микробиологическую активность, нитрифицирующую и аммонифицирующую способность почвы [36, 44].

В АТ сезонная изменчивость отмечена как для нитратного, так и для аммонийного азота. При внесении биоугля не выявлено значительных изменений уровня аммонийного азота по сравнению с контролем, либо направления этих изменений. Межвариантная изменчивость характерна лишь для показателей  $N-NO_3^-$ , его содержание при применении биоугля уменьшается значительно и достоверно. Как показано ранее [2, 4, 27],

биоуголь выступает ингибитором нитрификации при применении его на почвах тяжелого гранулометрического состава. По-видимому, пониженная активность нитрификаторов в вариантах с биоуглем нивелирует влияние температурного фактора на показатели минерального азота. При этом для показателей нитратного и аммонийного азота сохраняется средняя обратная корреляционная зависимость от количества осадков, как в контрольных вариантах, так и в вариантах с биоуглем. Данный факт подтверждает более низкую ионообменную способность биоугля в почвах тяжелого гранулометрического состава, где применение биоугля не оказывает стабилизирующего влияния на показатели минерального азота [22].

Показатели общего органического углерода при внесении биоугля растут достоверно в обеих почвах. Многие исследователи отмечают рост содержания в почве углерода при применении биоугля [23, 26, 33]. Углерод биоугля более стабилен и устойчив в почве, чем углерод из других органических материалов, таких как компост и навоз, которые имеют относительно высокую скорость разложения. Исследования показали, что входящий в состав биоугля углерод имеет два пула: лабильный, состоящий из алифатических соединений, и стабильный пул, состоящий из ароматических. После относительно быстрой минерализации лабильных компонентов, оставшаяся стабильная часть биоугля очень медленно разлагается микроорганизмами [23]. Наличие ароматических соединений зависит от исходного сырья и температуры пиролиза. Древесный биоуголь, по сравнению с другими, более устойчив к разложению, что обусловлено высоким содержанием лигнина в древесине [39].

Содержание общего азота в опыте при внесении биоугля практически не меняется, наблюдаются колебания в пределах статистической погрешности. Для АА в вариантах с биоуглем отмечено более высокое содержание  $N_{общ}$  по сравнению с контролем, для АТ наблюдается некоторый тренд на его снижение в вариантах с биоуглем. Поскольку соотношение  $C/N$  почвы в вариантах с биоуглем достигает 20 и больше, лимитирующим фактором для роста микробной биомассы становится азот, что может вести к его иммобилизации [12]. Известно, что биоугли с широким соотношением  $C/N$  ( $>20-32$ ) стимулируют иммобилизацию почвенного азота [32].

Внесение биоугля оказывает разнонаправленное воздействие на показатели активности ферментов циклов углерода и азота. АА характеризуются большей ферментативной активностью середины вегетационного периода, по сравнению с АТ. Вариабельность, наблюдаемая в исследованиях относительно влияния биоугля на ферментативную активность почв, может быть результатом



воздействия различных факторов, меняющихся в течение года, таких как температура, влажность и интенсивность поступления органических материалов [34]. На активность уреазы и каталазы внесение биоугля без дополнительных источников азота значительно не влияет [11]. Наибольшей отзывчивостью на внесение биоугля в опыте отличается инвертаза, что может быть ответом на изменение содержания углерода в почвах [46], поскольку инвертаза разрушает высокомолекулярные органические соединения, которые служат энергетическим материалом для многих почвенных гетеротрофов [5].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе двухлетнего полевого мониторинга установлено, что внесение биоугля в количестве 1.5 кг/м<sup>2</sup> в агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый и агрозем текстурно-дифференцированный типичный оказывает различное влияние на их свойства. В АА при применении биоугля увеличиваются значения рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> и рН<sub>КСl</sub>, содержание подвижных фосфора и калия, а также аммонийного и нитратного азота, особенно при повышенной температуре воздуха. Для контрольных вариантов характерна обратная зависимость содержания минерального азота от количества осадков. В АТ биоуголь оказывает меньшее влияние на вышеперечисленные параметры и их динамику. Рост показателей рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> и К<sub>2</sub>О достоверен не для всех дат наблюдений. Изменения параметров Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> и рН<sub>КСl</sub> недостоверны. Значительно уменьшается содержание нитратного азота, при незначительных межвариантных колебаниях аммонийного азота. Величина плотности обеих почв меняется незначительно и недостоверно. Для обеих почв характерен достоверный рост содержания общего органического углерода и соотношения С/Н при неизменных показателях общего азота, что создает условия для его иммобилизации. На активность уреазы и каталазы внесение биоугля без дополнительных источников азота значительно не влияет, а наибольшей отзывчивостью на внесение биоугля в опыте отличается инвертаза, что может быть ответом на изменение содержания углерода в почвах.

Изменение исследованных показателей и их динамика демонстрируют благоприятное влияние применения биоугля в почвах легкого гранулометрического состава. Здесь для показателей рН<sub>КСl</sub>, калия и углерода характерен расходящийся линейный тренд, отмечающий значительный эффект последствия внесения биоугля на второй год исследований. Зафиксирована стабилизирующая роль биоугля для минерального азота, а также его стимулирующее влияние на микробиологическую активность, нитрифицирующую и

аммонифицирующую способность почвы. Применение биоугля в почвах тяжелого гранулометрического состава малоэффективно вследствие меньшей ионообменной способности биоугля под влиянием высокого содержания илестых частиц, а также ингибирующего влияния на нитрифицирующую способность почв.

Полученные результаты являются важным этапом изучения влияния биоугля на свойства почв различного гранулометрического состава и могут быть использованы в разработке рекомендаций для оптимального применения биоугля в почвах бореальной зоны.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность Т.В. Богдановой, Г.И. Деминой, А.Г. Каштановой, А.А. Курбатову и Л.И. Скороходовой за помощь в проведении полевых и аналитических работ.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены в рамках госзадания КарНЦ РАН (0218-2019-0079) на научном оборудовании Центра коллективного пользования ФИЦ “Карельский научный центр РАН”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Карельской АССР / Под ред. А.Г. Дурова. М.: ГУГК СССР, 1989. 40 с.
2. Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Шимански В., Игаз Д., Хорак Я. Изменение биологических и физических параметров почв разного гранулометрического состава после внесения биоугля // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 471–477. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.471rus>
3. Дубровина И.А. Динамика физико-химических свойств дерново-подзолистых почв при внесении биоугля // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 2. С. 19–23. <https://doi.org/10.26178/AE.2019.51.56.004>
4. Дубровина И.А., Юркевич М.Г., Сидорова В.А. Влияние биоугля и удобрений на развитие растений ячменя и агрохимические показатели дерново-подзолистых почв в вегетационном опыте // Тр. КарНЦ РАН. 2020. № 3. С. 31–44. <https://doi.org/10.17076/eb1087>
5. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.Л., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 445 с.
6. Информационно-аналитический обзор гидрометеорологических условий на территории Республики Карелия. Карельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. <https://www.kareliameteo.ru/press-center.html>
7. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мостовая А.С., Овсяня Л.А., Телеснина В.М., Личко В.И., Баева Ю.И. Влияние процессов естественного лесовосстановле-

- ния на микробиологическую активность пост-агрогенных почв Европейской части России // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23.  
<https://doi.org/10.7868/S0024114818010011>
8. Литвинович А.В., Хаммам А.А.М., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность различных по размеру фракций биоугля (по данным лабораторных экспериментов) // Агрохимия. 2016. № 9. С. 39–46.
  9. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.
  10. 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.  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14120089>
  11. Рижия Е.Я., Мухина И.М., Вертебный В.Е., Хорак Я., Конончук П.Ю., Хомяков Ю.В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 464–470.  
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.464rus>
  12. Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1. С. 55–63.
  13. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
  14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 254 с.
  15. Ameloot N., De Neve S., Jegajeevagan K., Yildiz G., Buchan D., Funkuin Y.N., Prins W., Bouckaert L., Sleutel S. Short-term CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and microbial properties of biochar amended sandy loam soils // Soil Biol. Biochem. 2013. V. 57. P. 401–410.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.025>
  16. Beiyuan J., Awad Y.M., Beckers F., Tsang D.C.W., Ok Y.S., Rinklebe J. Mobility and phytoavailability of As and Pb in a contaminated soil using pine sawdust biochar under systematic change of redox conditions // Chemosphere. 2017. V. 178. P. 110–118.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.022>
  17. Burrell L.D., Zehetner F., Rampazzo N., Wimmer B., Soja G. Long-term effects of biochar on soil physical properties // Geoderma. 2016. V. 282. P. 96–102.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.019>
  18. Chintala R., Schumacher T.E., McDonald L.M., Clay D.E., Malo D.D., Papiernik S.K., Clay S., Julson J.L. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures // Clean: Soil, Air, Water. 2014. V. 42(5). P. 626–634.  
<https://doi.org/10.1002/clen.201300089>
  19. Dong X., Singh B.P., Li G., Lin Q., Zhao X. Biochar application constrained native soil organic carbon accumulation from wheat residue inputs in a long-term wheat-maize cropping system // Agriculture, Ecosystems Environment. 2018. V. 252. P. 200–207.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.026>
  20. El-Naggar A., Awad Y.M., Tang X.Y., Liu C., Niazi N.K., Jien S.H., Tsang D.C., Song H., Ok Y.S., Lee S.S. Biochar influences soil carbon pools and facilitates interactions with soil: a field investigation // Land Degrad. Develop. 2018. V. 29(7). P. 2162–2171.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.2896>
  21. El-Naggar A., Lee S.S., Rinklebe J., Farooq M., Song H., Sarmah A.K., Andrew R. Zimmerman A.R., Ahmad M., Shaheen S.M., Ok Y.S. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects // Geoderma. 2019. V. 337. P. 536–554.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
  22. Haider G., Steffens D., Moser G., Müller C., Kammann C.I. Biochar reduced nitrate leaching and improved soil moisture content without yield improvements in a four-year field study // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2017. V. 237. P. 80–94.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.019>
  23. Han L., Sun K., Yang Y., Xia X., Li F., Yang Z., Xing B. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon // Geoderma. 2020. V. 364. P. 114184.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114184>
  24. Jiang J., Yuan M., Xu R., Bish D.L. Mobilization of phosphate in variable-charge soils amended with biochars derived from crop straws // Soil Till. Res. 2015. V. 146. P. 139–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.009>
  25. Kookana R., Sarmah A., Van Zwieten L., Krull E., Singh B. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences // Adv. Agronomy. 2011. V. 112. P. 103–143.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385538-1.00003-2>
  26. 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. V. 289. P. 46–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.025>
  27. Li S., Zhang Y., Yan W., Shangguan Z. Effect of biochar application method on nitrogen leaching and hydraulic conductivity in a silty clay soil // Soil Till. Res. 2018. V. 183. P. 100–108.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.006>
  28. Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J.O., Thies J., Luizao F.J., Petersen J., Neves E.G. Black carbon increases cation exchange capacity // Soil Sci. Soc. Am. J. 2006. V. 70. P. 1719–1730.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>
  29. Li-li H., Zhe-ke Z., Hui-min Y. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers // J. Integr. Agr. 2017. V. 16(3). P. 704–712.  
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61420-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61420-X)
  30. Lin Q.Y., Zhang L., Riaz M., Zhang M.Y., Xia H., Lv B., Jiang C.C. Assessing the potential of biochar and aged biochar to alleviate aluminum toxicity in an acid soil for achieving cabbage productivity // Ecotoxicol. Environ.

- Safety. 2018. V. 161. P. 290–295.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.010>
31. Lin Y., Munroe P., Joseph S., Kimber S., Van Zwieten L. Nanoscale organo-mineral reactions of biochars in ferrosol: An investigation using microscopy // *Plant Soil*. 2012. V. 357. P. 369–380.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1169-8>
  32. Nguyen T.T.N., Xu C.-Y., Tahmasbian I., Che R., Xu Z., Zhou X., Wallace H.M., Bai S.H. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis // *Geoderma*. 2017. V. 288. P. 79–96.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.004>
  33. Oladele S.O., Adeyemo A.J., Awodun M.A. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils // *Geoderma*. 2019. V. 336. P. 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.025>
  34. Oleszczuk P., Joško I., Futa B., Pasiieczna-Patkowska S., Patys E., Kraska P. Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil // *Geoderma*. 2014. V. 214–215. P. 10–18.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.0>
  35. Palviainen M., Aaltonen H., Laurén A., Köster K., Berninger F., Ojala A., Pumpanen J. Biochar amendment increases tree growth in nutrient-poor, young Scots pine stands in Finland // *Forest Ecol. Managem.* 2020. V. 474. P. 118362.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118362>
  36. Prommer J., Wanek W., Hofhans, F., Trojan D., Offre P., Ulrich T., Schleper C., Sassmann S., Kitzler B., Soja G., Nowotny R.C.H. Biochar decelerates soil organic nitrogen cycling but stimulates soil nitrification in a temperate arable field trial // *PLoS One*. 2014. V. 9(1). P. 1–16.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086388>
  37. Reed E.Y., Chadwick D.R., Hill P.W., Jones D.L. Critical comparison of the impact of biochar and wood ash on soil organic matter cycling and grassland productivity // *Soil Biol. Biochem.* 2017. V. 110. P. 134–142.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.012>
  38. Soinne H., Keskinen R., Heikkinen J., Hyväluoma J., Uusitalo R., Peltoniemi K., Velmala S., Pennanen T., Fritze H., Kaseva J., Hannula M., Rasa K. Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 731(20). P. 138955.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138955>
  39. Wang J., Xiong Z., Kuzyakov Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects // *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 2016. V. 8. P. 512–523.  
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
  40. Xu G., Sun J., Shao H., Chang S.X. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity // *Ecological Engineering*. 2014. V. 62. P. 54–60.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.027>
  41. 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. V. 52. P. 119–124.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.091>
  42. Zhang M., Riaz M., Liu B., Xia H., El-Desouki Z., Jiang C. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 717. P. 137286.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137286>
  43. Zhao R., Coles N., Kong Z., Wu J. Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions // *Soil Till. Res.* 2015. V. 146. P. 133–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.014>
  44. Zhao X., Wang S., Xing G. Nitrification, acidification, and nitrogen leaching from subtropical cropland soils as affected by rice straw-based biochar, laboratory incubation and column leaching studies // *J. Soils Sedim.* 2014. V. 14. P. 471–482.  
<https://doi.org/10.1007/s11368-013-0803-2>
  45. Zheng H., Wang Z., Deng X., Herbert S., Xing B. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil // *Geoderma*. 2013. V. 206. P. 32–39.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.018>
  46. Zhu L.-x., Xiao Q., Cheng H.-y., Shi B.-j., Shen Y.-f., Li S.-q. Seasonal dynamics of soil microbial activity after biochar addition in a dryland maize field in North-Western China // *Ecological Engineering*. 2017. V. 104. P. 141–149.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.026>

## Dynamics of Agrochemical Indicators and Enzymatic Activity of Boreal Soils when Using Biochar

I. A. Dubrovina\*

*Institute of Biology, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, 185910 Russia*

\*e-mail: vorgo@mail.ru

The prolonged impact of wood biochar application at a dose of 1.5 kg/m<sup>2</sup> on the dynamics of changes and trends of main agrochemical parameters and enzymatic activity in soils of various textures in the middle taiga zone of Karelia was investigated. On plots of arable land the sites of 2-year monitoring with an area of 5 m<sup>2</sup> were laid randomly in 4-fold replication. The soils of the plots are Umbric Podzol and Umbric Retisol. The following parameters were analyzed: pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N–NO<sub>3</sub><sup>–</sup>, N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, C<sub>org</sub>, N<sub>tot</sub>, C/N –

monthly during the growing seasons, as well as bulk density, activity of catalase, invertase and urease annually. As a result of the study were noted significant increase in  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and mineral nitrogen when biochar was added to Umbric Podzol. Biochar had a noticeable effect on  $\text{P}_2\text{O}_5$  content in the first year of observation. For indicators of  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{C}_{\text{org}}$  a divergent linear trend was noted in the coarse texture soil demonstrating a significant aftereffect of the application of biochar in the second year of studies. Biochar exerted a significant influence only on the  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  and weakly pronounced effect or it absence on other agrochemical parameters in Umbric Retisol. The nitrate nitrogen content significantly decreased with insignificant intervariant fluctuations of ammonium nitrogen in the fine texture soil. The bulk density of soils changed slightly and insignificantly. A significant increase in  $\text{C}_{\text{org}}$  content and C/N ratio with constant  $\text{N}_{\text{tot}}$  values which creates conditions for nitrogen immobilization are characterized for both soils. The use of biochar did not significantly effect on activity of urease and catalase. The invertase was most responsive which diagnosed changes in carbon content in the soils.

*Keywords:* soil acidity, available potassium and phosphorus, total and mineral nitrogen, organic carbon, catalase, invertase, urease