

УДК 631.878:631.416.1:631.445.24

## ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ НА СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

© 2020 г. Е. Я. Рижия<sup>1,\*</sup>, Н. П. Бучкина<sup>1</sup>, Е. В. Балашов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Агрофизический научно-исследовательский институт  
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

\*E-mail: alenarizh@yahoo.com

Поступила в редакцию 11.12.2019 г.

После доработки 25.12.2019 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

В 3-летнем вегетационно-полевом эксперименте оценили влияние древесного биоугля, внесенного в дозе 1% от массы средне- и высоко окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы, на динамику содержания аммонийного и нитратного азота. В вегетационных сосудах, установленных в полевых условиях, исследование провели в вариантах: 1 – почва (контроль), 2 – почва с биоуглем, 3 – почва с нитроаммофоской и 4 – почва с совместным внесением биоугля и минерального удобрения. Результаты показали, что внесение биоугля не оказало влияния на содержание аммонийного азота в почве с разной степенью окультуренности, но достоверно увеличило содержание нитратного азота по сравнению с вариантами без биоугля.

*Ключевые слова:* аммонийный азот, нитратный азот, древесный биоуголь, дерново-подзолистая почва, степень окультуренности.

DOI: 10.31857/S0002188120060095

### ВВЕДЕНИЕ

Современный переход к адаптивной интенсификации растениеводства ориентирует на разработку и освоение инновационных технологий возделывания сельскохозяйственных культур [1]. В последнее десятилетие в сельском хозяйстве разных стран мира в качестве органического мелиоранта широко используют биоуголь – продукт высокотемпературной бескислородной карбонизации органических остатков в пиролизных печах [2]. По своему строению биоуголь относится к классу карбонизированных веществ из-за общности характерного структурного элемента – атомной сетки циклически полимеризованного углерода, валентно соединенного между собой. Каждая частица биоугля состоит из 2-х главных структурных фракций: сложенных кристаллических листов графена и аморфной ароматической структуры, расположенной в случайном порядке [3]. В структуру ароматических колец в качестве гетероатомов входят элементы Н, О, N, Р и S, что вносит большой вклад в химические свойства поверхности и реактивности биоугля [4].

Внесение биоугля в почву способно решить множество экологических задач – секвестрацию

углерода в почве на длительный срок, снижение эмиссии парниковых газов и улучшение почвенного плодородия [5–7]. Различные опыты с зерновыми, овощными и плодовыми культурами показали, что биоуголь улучшает гидрофизические свойства почв, стимулирует микробиологическую активность, снижает эмиссию парниковых газов и в целом положительно влияет на урожайность многих культур [8, 9]. Однако некоторые аспекты применения биоугля остаются противоречивыми, в частности, доступность растениям питательных элементов из почвы после его внесения. Показано, что образующиеся из лабильных азотсодержащих органических соединений доступные для растений формы азота в почве могут активно сорбироваться биоуглем, вследствие чего их количество в почве может уменьшаться [10]. Тем не менее, биоуголь, улучшая физические и физико-химические свойства почвы, оказывает положительное влияние на содержание углерода биомассы микроорганизмов, при уменьшении которого содержание аммония и нитратов в почве может возрасть [11]. Эти процессы, вероятно, идут одновременно и комплементарны, и от того, какой процесс преобладает, зависит эффективность действия биоугля на урожай культур. Кроме

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (исходные данные на 2012 г.)

Степень окультуренности	<i>H</i> , см	<i>HV</i> , %	<i>d<sub>v</sub></i> , г/см <sup>3</sup>	рН <sub>KCl</sub>	<i>C</i> <sub>общ</sub>	<i>N</i> <sub>общ</sub>	<i>N</i> <sub>мин</sub>	<i>P</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>5</sub>	<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>
Средняя	22	20	1.3	5.3	1.9	0.14	15.7	237	131
Высокая	30	24	1.1	5.8	2.3	0.18	47.7	515	275

Примечание. *H* – глубина пахотного горизонта, *HV* – наименьшая влагоемкость почвы, *d<sub>v</sub>* – плотность сложения почвы, рН<sub>KCl</sub> – обменная кислотность, *C*<sub>общ</sub> – общее содержание органического углерода, *N*<sub>общ</sub> – общее содержание азота, *N*<sub>мин</sub> – содержание минерального азота (*N*-*NO*<sub>3</sub> + *N*-*NH*<sub>4</sub>), *P*<sub>2</sub>*O*<sub>5</sub> – содержание обменного фосфора, *K*<sub>2</sub>*O* – содержание обменного калия.

**Таблица 2.** Химическая характеристика древесного биоугля

<i>C</i> <sub>общ</sub> , %	<i>N</i> <sub>общ</sub> , %	<i>C</i> : <i>N</i>	<i>H</i> , %	<i>H</i> : <i>C</i>	<i>O</i> , %	<i>O</i> : <i>C</i>	рН <sub>H2O</sub>	<i>W</i> , %	Зола, %	<i>S</i> , м <sup>2</sup> /г	<i>П</i> , %
78.6	0.3	302	5.2	0.06	4.2	0.05	7.0	3.92	21.4	16.2	81

Примечание. *C*<sub>общ</sub> – содержание общего органического углерода, *N*<sub>общ</sub> – содержание общего азота, *H* – содержание водорода, *O* – содержание кислорода, *S* – удельная поверхность, *П* – пористость биоугля.

того, используя биоуголь в сельском хозяйстве, необходимо учитывать состав исходной биомассы, из которой производят карбонизированный продукт, потому что различная температура и скорость пиролиза определяют его различные свойства: содержание *CHNO*, рН, удельная поверхность, гидрофильность–гидрофобность, степень адсорбционной способности и т.п. [12, 13]. Следовательно, перспективы широкого применения различных биоуглей в разных типах почв остаются открытыми и требуют длительных исследований. Крупный и наиболее устойчивый биоуголь в нашей стране получают из древесных остатков, в то время как из растительных остатков, например, соломы злаковых, стеблей кукурузы, рисовой шелухи, виноградных, персиковых или яблочных жмыхов и косточек или скорлупы различных орехов и т.п. производят мелкий и менее устойчивый материал [14].

Цель работы – количественная оценка динамики содержания минеральных соединений азота в дерново-подзолистой супесчаной почве с разной окультуренностью после внесения древесного биоугля.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Вегетационно-полевой эксперимент провели на агрофизическом стационаре Меньковского филиала АФИ (Гатчинский р-н Ленинградской обл.) в течение вегетационных периодов 2012–2014 гг.

По двадцать 22-литровых вегетационных сосудов (высота – 40 см, площадь поверхности – 0.07 м<sup>2</sup>) без дна установили в средне- и высокоокультуренную дерново-подзолистую супесчаную почву (табл. 1). Разная степень окультуренности почвы

была достигнута внесением в 2003–2005 гг. разных доз навоза крупного рогатого скота, в совокупных дозах 220 т/га для среднеокультуренной почвы и 540 т/га – для высокоокультуренной почвы.

Основные объекты исследования – биоуголь, химическая характеристика которого представлена в табл. 2, дерново-подзолистая супесчаная почва и выращиваемые культуры. Кроме того, оценили целесообразность совместного внесения биоугля с нитроаммофоской (НАФК N16P16K16) из расчета N90, содержащей обе формы азота, главным образом потому, что в почве присутствует аммонийная и нитратная форма азота.

Биоуголь был получен быстрым бескислородным пиролизом (при температуре 550°C) из древесины ольхи, березы и осины. В почву внесли фракцию биоугля с диаметром 2–3 см.

Схема эксперимента включала следующие варианты для средне- и высокоокультуренной почв: 1 – контроль (*К*, почва без биоугля и азотного минерального удобрения), 2 – почва с биоуглем (*БУ*, 84.8 г/сосуд из расчета 12 т/га), 3 – почва с азотным удобрением (1.4 г НАФК/сосуд) и 4 – почва с биоуглем и НАФК (*БУ* + *НАФК*). Биоуголь и НАФК внесли в почву в 2012 г. и в последующие годы оценивали их последствие.

Выращиваемые культуры: 2012 г. – ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Ленинградский с подсевом многолетних трав (*Phleum pretense* L. и *Trifolium pretense* L.), 2013 г. – многолетние травы 1-го года пользования, 2014 г. – многолетние травы 2-го года пользования. Повторность эксперимента пятикратная.

Метеорологические данные за вегетационные периоды 2012–2014 гг. предоставлены Меньков-

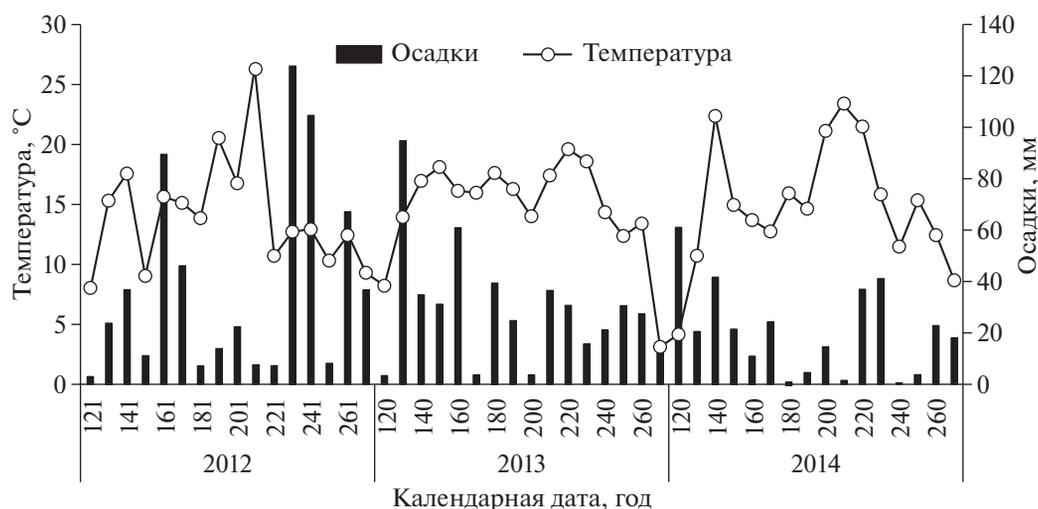


Рис. 1. Динамика температуры воздуха и количества осадков (по декадам месяцев) за вегетационные периоды 2012–2014 гг.

ской метеостанцией, расположенной в 200 м от объекта исследований (рис. 1). За вегетационный период 2012 г. (май–сентябрь) выпало 590 мм осадков, средняя температура воздуха составила 14.1°C. Согласно среднестатистическим метеоданным по Ленинградской обл., вегетационный период относится к влажному (преобладание пасмурной погоды и превышение нормы осадков в каждом вегетационном месяце) и прохладному периоду. В 2013 г. вегетационный период являлся умеренно-влажным (близким к климатической норме) и теплым (470 мм осадков и 15.8°C – средняя температура воздуха). Третий вегетационный период эксперимента был засушливым (из-за отсутствия осадков в июле) и теплым (333 мм и 14.9°C). Волны холода и тепла оказывали воздействие на поверхность почвы и в зависимости от температуры воздуха, их продолжительности, количества осадков проникали в нижележащие слои почвы и оказывали разное влияние на численность и активность микроорганизмов.

Отбор образцов почв выполняли каждые 10 сут в течение 3-х вегетационных периодов. Содержание аммонийного азота в образцах почв определяли колориметрическим методом в солевой вытяжке (1 н. раствор KCl), индофенольным методом (ГОСТ 26489-85), содержание нитратов – в виде окрашенного диазосоединения (ГОСТ 26488-85) на спектрофотометре Spectroflex 6100 (WTW, Германия).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ “Microsoft Excel”, вычисляя величины средних, стандартных отклонений, ошибки. Достоверность различий средних оценивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) при  $p \leq 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшими процессами внутрипочвенной трансформации азота являются аммонификация и нитрификация. Характер динамики содержания аммонийного азота ( $N-NH_4$ ) во время вегетационных периодов описывался классической кривой (рис. 1а, б). Максимум содержания  $N-NH_4$  наблюдали во всех вариантах средне- и высококультурной почвы в начале вегетационного периода. Уменьшение содержания аммонийного азота в почве выявлено в конце вегетационного периода. Наши данные согласовались с результатами многих исследований сезонной динамики содержания аммонийного азота [15, 16]. Относительное увеличение содержания аммонийного азота в почве в начале вегетационного периода вызвано возрастанием микробиологической активности после зимне-весеннего периода и с началом роста и развития корневых систем возделываемых культур. Уменьшение содержания аммонийного азота в почве обусловлено увеличением интенсивности нитрификации, возможной его ассимиляцией почвенной биотой и усилением его потребления растениями в период прироста биомассы. Кроме того, общая тенденция уменьшения содержания  $N-NH_4$  в середине вегетационного периода связана с изменением воздушного, теплового и водного режимов почвы, обусловленным засухами в июне и июле, что также оказало влияние на интенсивность микробиологических процессов аммонификации и нитрификации.

Результаты исследования контрольного варианта среднекультурной почвы показали (рис. 2а), что содержание  $N-NH_4$  варьировало в 2012 г. от 2 до 20 мг/кг, в 2013 и 2014 гг. – от 1.6 до 4.0 мг/кг.

В высокоокультуренной почве (рис. 2б) динамика данного показателя в контрольном варианте варьировала в 2012 г. от 5 до 24 мг/кг, в последующие годы – от 2 до 7 мг/кг.

Основные различия в содержании аммонийного азота в почвах контрольных вариантов обусловлены выращиванием различных сельскохозяйственных культур и разными погодными условиями в течение вегетационных периодов. Большое количество пожнивных остатков в верхнем слое почвы под клевером красным в 1-й и 2-й год пользования замедляло прогревание почвы и способствовало иммобилизации доступного азота микроорганизмами. Результаты метеорологических наблюдений (рис. 1) показали, что количество осадков в вегетационные периоды 2013 и 2014 гг. было существенно меньше, чем в первый год исследования. Многие исследования подтвердили снижение численности аммонифицирующих бактерий при снижении влажности почвы до 40% ПВ [17, 18].

Внесение в почву НАФК в 2012 г. привело к достоверному ( $p < 0.05$ ), почти 2-кратному увеличению содержания аммонийного азота как в среднеокультуренной, так и в высокоокультуренной почве по сравнению с контролем. Известно, что внесение минеральных удобрений приводит к прямому и косвенному влиянию на почвенные процессы, главным образом к усилению микробиологической активности, что проявляется в изменении концентрации доступных форм азота [19]. Максимальное содержание аммонийного азота в почве с НАФК в первый год исследования выявлено в первой декаде лета: от 20 до 41 мг/кг почвы и от 30 до 50 мг N-NH<sub>4</sub>/кг почвы соответственно для средне- и высокоокультуренной почвы. Как и в контрольном варианте, весной и осенью концентрация аммонийного азота в почвах с НАФК была больше по сравнению с показателями, установленными в середине вегетационного периода (июнь–июль). Значительное снижение содержания N-NH<sub>4</sub> во 2-м и 3-м году эксперимента обусловлено прекращением внесения НАФК ввиду того, что выращивали травы 1-го и 2-го года, представленные клевером красным и тимофеевкой луговой. Клевер имеет слабую потребность в дополнительных азотных удобрениях и является прекрасным азотфиксатором, фиксирующим до 70% азота из атмосферы [20]. По мнению ученых [21, 22], в почвах с клевером отмечается тенденция к снижению содержания как аммонийного, так и нитратного азота. На создание и сохранение клубеньков клевер красный расходует немалое количество энергии. Поэтому при произрастании на богатых азотом почвах клевер красный не выдерживает конкуренции со сторо-

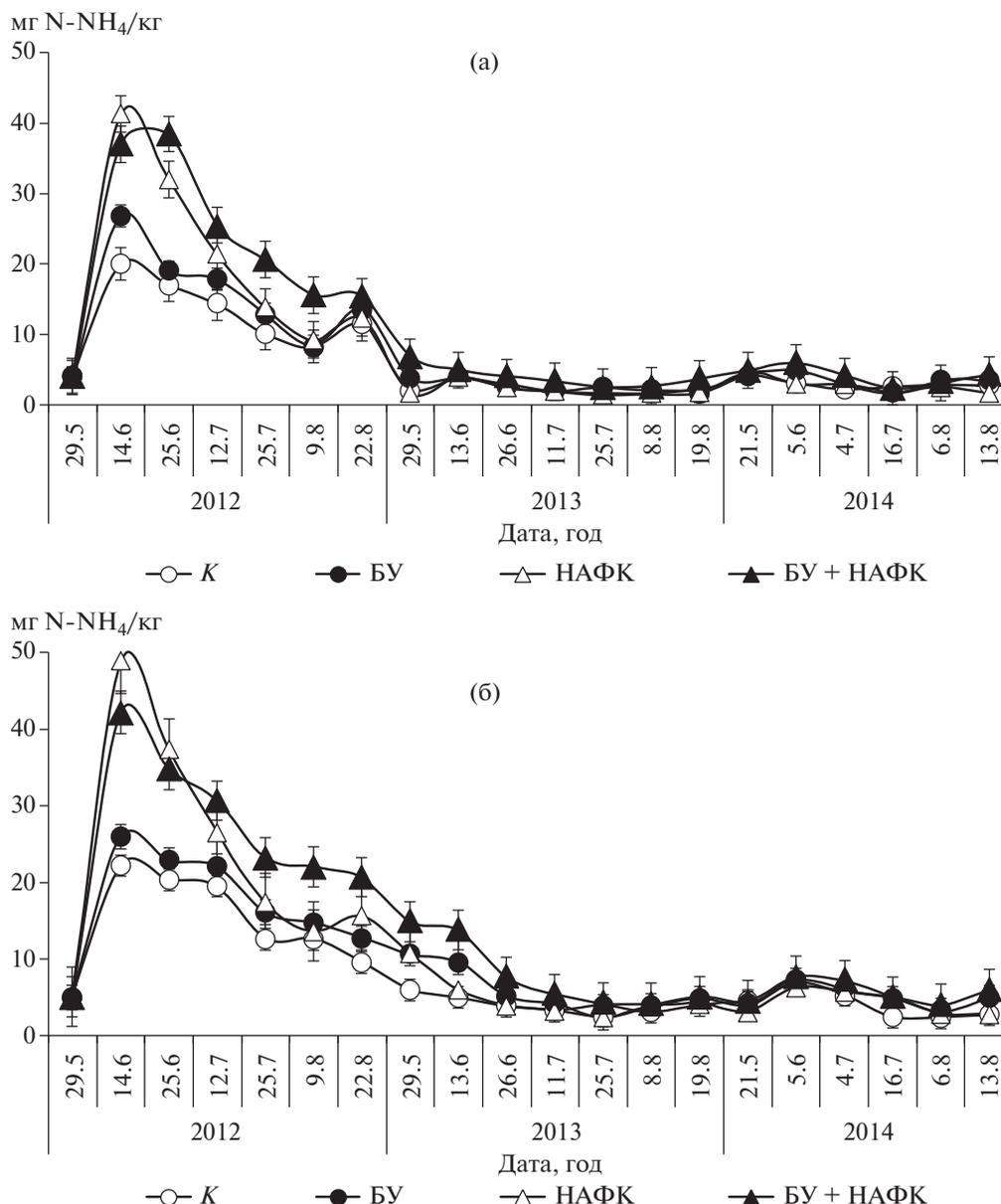
ны других растений, не вступающих в альянс с азотфиксаторами. Последствие НАФК в 2013 и 2014 гг. выразилось в сокращении содержания аммонийного азота в почве по сравнению с первым годом исследования. Концентрация N-NH<sub>4</sub> варьировала в течение данных вегетационных периодов от 1.5 до 7.2 мг/кг почвы с недостоверным ее преобладанием (на 7–12%) в высокоокультуренной почве по сравнению со среднеокультуренной почвой.

Внесение биоугля в среднеокультуренную почву (рис. 2а) как индивидуально, так и совместно с НАФК, недостоверно влияло на динамику содержания аммонийного азота в изученных вариантах по сравнению с вариантами без биоугля (контроль и НАФК соответственно). Содержание N-NH<sub>4</sub> в вариантах К и БУ, а также в вариантах НАФК и БУ + НАФК было практически одинаковым, но с трендом увеличения его содержания в почве вариантов с биоуглем на 6–10% в первый год исследования и с отсутствием этого тренда во 2-й и 3-й годы исследования.

Внесение биоугля индивидуально в высокоокультуренную почву (рис. 2б) привело к недостоверному увеличению содержания N-NH<sub>4</sub> на 8–12% в первый год исследования по сравнению с контролем. Совместное внесение биоугля с НАФК выразилось в незначительном снижении концентрации N-NH<sub>4</sub> на 5–9% с момента начала вегетации. Через 20 сут вегетации содержание аммонийного азота увеличилось на 12–15% по сравнению с вариантом с НАФК и оставалась на достигнутом уровне до конца вегетационного периода. В последующие периоды 2013 и 2014 гг. данный показатель оставался больше, чем в аналогичных вариантах без биоугля, но без достоверных различий между данными вариантами.

Отсутствие достоверного влияния биоугля на содержание аммония в изученных почвах согласовалось с результатами исследований других ученых [23, 24]. Изучая микробиологическую и ферментативную активность в почвах с биоуглем, отмечали увеличение биологической активности бактерий-аммонификаторов и гидроксилламинредуктазы в почве в начале экспериментов и отсутствие различий между почвой в контрольном варианте и почвой с биоуглем в течение их дальнейшей динамики во время опыта.

Содержание нитратного азота в вариантах опыта в среднем за изученные вегетационные периоды достоверно ( $p < 0.05$ ), в 2.8 раза превосходило содержание аммонийного азота. Известно, что аммонийный азот не накапливается в заметных количествах в почве, т.к. потребляется растениями, микроорганизмами или подвергается дальнейшему превращению в почве [25]. Дина-



**Рис. 2.** Динамика содержания аммонийного азота в вариантах вегетационно-полевого опыта: (а) – среднекультуренная почва, (б) – высококультуренная почва, К – контроль, БУ – биоуголь, НАФК – нитроаммофоска, БУ + НАФК – совместное внесение биоугля и нитроаммофоски,  $n = 5$ . То же на рис. 3.

мика содержания нитратного азота в вариантах опыта представлена на рис. 3.

Результаты исследования контрольного варианта среднекультуренной почвы (рис. 3а) показали, что содержание  $N-NO_3$  варьировало в 2012 г. от 12 до 48 мг/кг, в 2013 и 2014 гг. – от 6 до 14 мг/кг. В высококультуренной почве в контроле (рис. 3б) содержание  $N-NO_3$  варьировало в 2012 г. от 16 до 51 мг/кг, в последующие годы – от 11 до 22 мг/кг. Характер динамики содержания нитратного азота как в среднекультуренной, так и в высококультуренной почве в течение первых 2-х лет

проявился в увеличении данного показателя от начала вегетационного периода к его середине, далее некоторым его снижением в середине вегетационного периода, связанного с активным увеличением биомассы корней выращиваемых культур, и его дальнейшим уменьшением к концу вегетационных периодов. В 3-й год эксперимента наблюдали повышение концентрации нитратного азота во всех вариантах опыта с середины лета к концу вегетационного сезона, что было связано с разложением пожнивных остатков и их запашкой под озимую пшеницу.

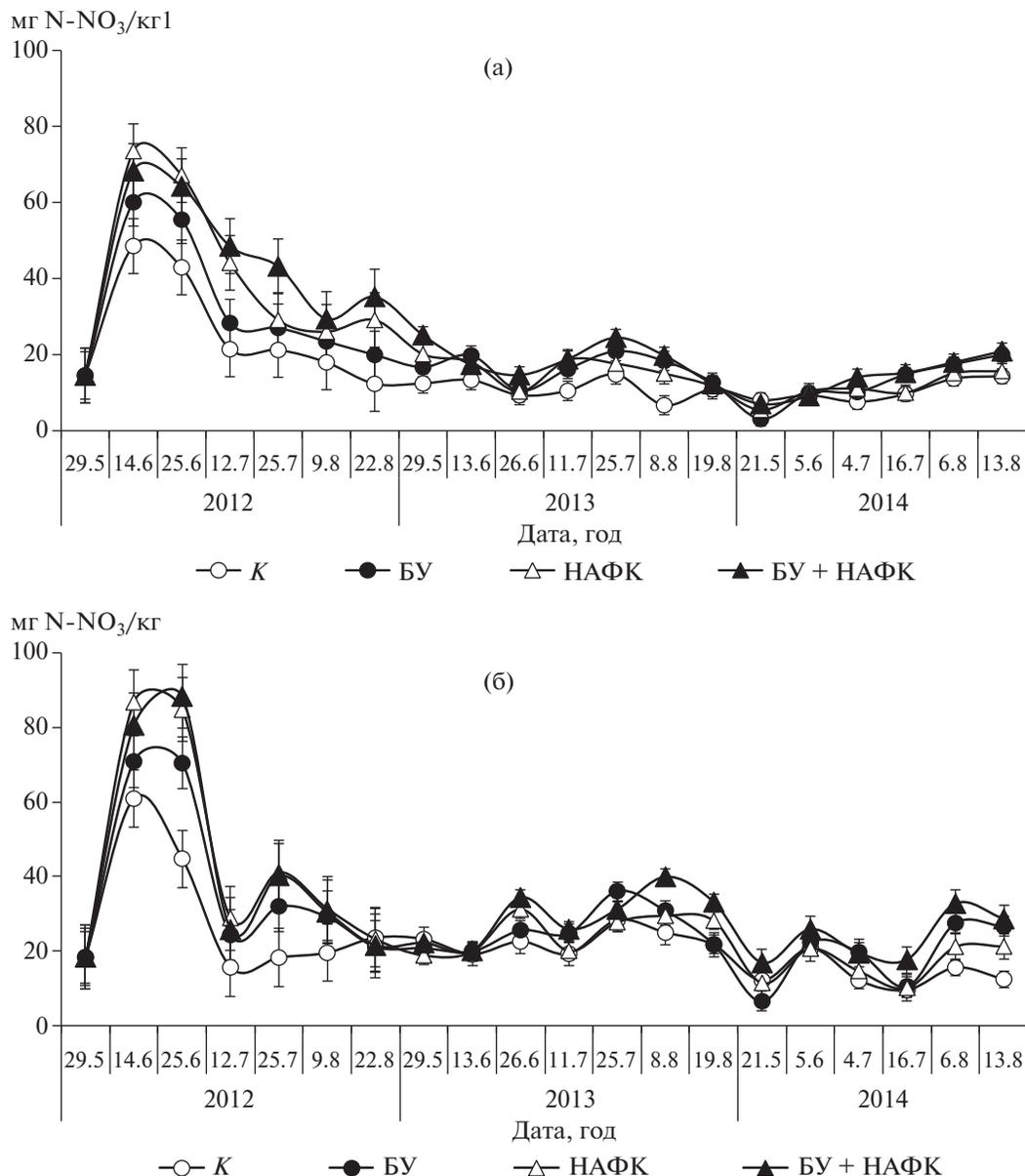


Рис. 3. Динамика содержания нитратного азота в вариантах вегетационно-полевого опыта в течение вегетационных периодов 2012–2014 гг.: (а) – среднеокультуренная почва, (б) – высоко окультуренная почва.

Внесение НАФК в первый год эксперимента привело к достоверному ( $p < 0.05$ ) увеличению содержания N-NO<sub>3</sub> на 12–15% в среднеокультуренной почве и на 8–12% в высокоокультуренной почве по сравнению с контролем. Максимальное содержание N-NO<sub>3</sub> в почве во всех вариантах эксперимента было отмечено в первой декаде лета, которое варьировало от 14.0 до 60.1 мг N-NO<sub>3</sub>/кг в среднеокультуренной почве и от 18 до 86 мг N-NO<sub>3</sub>/кг в высокоокультуренной почве.

В последующие годы, когда НАФК не вносили, содержание нитратного азота в почве всех вариантов опыта достоверно снизилось ( $p < 0.05$ ) по

сравнению с содержанием нитратного азота в почве вариантов в первый год исследования. Однако прослежено некоторое последствие минерального удобрения, которое выразилось в недостоверном увеличении содержания нитратного азота в почве по сравнению с контролем. На 3-й год исследования в почвах с разной окультуренностью между вариантом контроль и вариантом с минеральным удобрением существенных различий в содержании нитратного азота не отмечали.

Внесение биоугля в средне- и высокоокультуренную почву привело к достоверному ( $p < 0.05$ ) увеличению содержания нитратного азота в поч-

ве как по сравнению с контролем, так с вариантом с минеральным удобрением. В первый год исследования содержание нитратного азота в почве с биоуглем превысило его содержание в почве без биоугля в среднем в 1.3 раза. В течение данного вегетационного периода динамика содержания нитратного азота в среднеокультуренной почве варьировала от 14 до 60 мг/кг, в высокоокультуренной почве – от 25 до 70 мг/кг почвы. Наибольшее содержание нитратного азота выявлено при совместном внесении биоугля с НАФК, которое варьировало 18 до 79 мг/кг в среднеокультуренной почве и от 28 до 95 мг/кг – в высокоокультуренной почве. В последующие годы исследования содержание нитратного азота в данных вариантах также сохранялось на более высоком уровне по сравнению с вариантами без биоугля и варьировало от 15 до 45 мг N-NO<sub>3</sub>/кг почвы, без достоверных различий между вариантами с различной окультуренностью.

Аналогичные результаты, установившие увеличение содержания нитратов в почвах с биоуглем, были получены во многих лабораторных и полевых экспериментах [26–28]. Отмечали, что каждая почва характеризуется той или иной концентрацией нитратного азота, которая зависела от кислотности, температуры, влажности, количества органического вещества, соотношения C : N в данном органическом веществе. В результате круговорота веществ нитраты в больших количествах вымываются в нижележащие горизонты или улетучиваются в результате процесса денитрификации из почвы в атмосферу. Внесение в почву биоугля как мелиоранта, характеризующегося пористой структурой и большой удельной поверхностью, способствует изменению физических условий среды и увеличивает адсорбцию влаги [29] и удержание минеральных элементов, в том числе нитратного азота. В этой связи почвы с биоуглем накапливают больше нитратного азота, что имеет существенное экологическое значение для питания растений. Согласно результатам недавних лабораторных исследований [30], внесение биоугля как в средне-, так и в высокоокультуренную дерново-подзолистую супесчаную почву также приводило к накоплению достоверно большего количества нитратов по сравнению с контрольным вариантом, что способствовало повышению доступности выращиваемым культурам минерального азота из почвы данного варианта.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение древесного биоугля в дозе 1% от массы дерново-подзолистой супесча-

ной почвы, во-первых, не оказало влияния на концентрацию аммонийного азота как в среднеокультуренной, так и в высокоокультуренной почве, во-вторых, способствовало увеличению концентрации нитратного азота в 1-й год исследования в 1.3 раза, как по сравнению с почвой в контрольном варианте, так и с почвой с минеральным удобрением. В последующие годы исследования последствие биоугля в почве сохранялось и выразилось в тренде увеличения содержания минерального азота по сравнению с почвами без биоугля. При этом содержание нитратного азота в высоко окультуренной почве было достоверно больше ( $p < 0.05$ ) во всех вариантах опыта по сравнению с содержанием нитратного азота в среднеокультуренной почве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчагин В.А., Шевченко С.Н., Зудилин С.Н., Горянин О.И. Инновационные технологии возделывания полевых культур в АПК Самарской области: Учеб. пособ. Кинель: РИЦ СГСХА, 2014. 192 с.
2. Glaser B., Birk J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio) // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2012. V. 82. P. 39–51.
3. Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C. Biochar application to soils, a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2009. 149 p.
4. Bourke J., Manley-Harris M., Fushimi C. Do all carbonized charcoals have the same structure? A model of the chemical structure of carbonized charcoal // *J. Industr. Engin. Chem. Res.* 2007. V. 46. P. 5954–5967.
5. Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment // *Austral. J. Soil Res.* 2007. V. 45. № 8. P. 629–34.
6. Sohi S., Krull E., Lopez-Capel E. A review of biochar and its use and function in soil // *Advanc. Agron.* 2010. V. 105. P. 47–82.
7. Dempster D.N., Jones D.L., Murphy D.V. Organic nitrogen mineralization in two contrasting agro-ecosystems is unchanged by biochar addition // *Soil Biol. Biochem.* 2012. V. 48. P. 47–50.
8. DeLuca T.H., MacKenzie M.D., Gundale M.J. Biochar effects on soil nutrient transformation // *Biochar for environmental management: Science and technology* / Eds. Lehmann J., Joseph S. London: Earthscan, 2009. P. 251–270.
9. Jones D., Rousk J., Edwards-Jones G., DeLuca T.H., Murphy D.V. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial // *Soil Biol. Biochem.* 2012. V. 45. P. 113–124.
10. Karer J., Wimmer B., Zehetner F., Kloss S., Soja G. Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions // *Agric. Food Sci.* 2013. V. 22. P. 390–403.

11. *McCormack S.A., Ostle N, Bargett R.D., Hopkins D.W. and Vanbergen A.J.* Biochar in bioenergy cropping systems: impacts of soil faunal communities and linked ecosystem processes // *Global Change Biol. Bioenergy*. 2013. V. 5. № 2. P. 81–95.
12. *Lehmann J., Rillig M.C., Thies J.* Biochar effects on soil biota – A review // *Soil Biol. Biochem.* 2011. V. 43. P. 1812–1836.
13. *Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Downie A., Berger E., Rust J., Scheer C.* Influence of biochars on flux of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from Ferrosol // *Austr. J. Soil. Res.* 2010. V. 48. № 6–7. P. 555–568
14. *Юркевич Ю.Д.* Производство древесного угля // *Леспротоминформ*. 2010. № 3(69). С. 140–145.
15. *Соколов О.А., Семенов В.М.* Методология оценки азотного питания сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 1994. № 9. С. 137–149.
16. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Аникст Д.М., Листова М.П., Прошкин В.А., Романенков В.А.* Основные направления исследований по агрохимии азота в современном земледелии // *Бюл. Географической сети опытов с удобрениями*. М., 2009. Вып. 6. 76 с.
17. *Кудеяров В.Н.* Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 214 с.
18. *Минеев В.Г.* Агрохимия. Учебник. 2-е изд. М.: КолосС, 2004. 720 с.
19. *Свистова И.Д.* Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощающий комплекс и микробного сообщества выщелоченного чернозема // *Агрохимия*. 2004. № 6. С. 16–23.
20. *Минеев В.Г., Козлова Ю.Е., Кураков А.В.* Влияние последствий минеральных удобрений на микробиологические и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // *Докл. РАСХН*. 2001. № 4. С. 19–21.
21. *Гамзиков Г.П.* Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, СО, НовосибирскГАУ, 2013. 790 с.
22. *Минеев В.Г., Кинжаев Р.Р., Арзамазова А.В.* Влияние длительного действия и последствий удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и динамику изменения биогенных и токсичных элементов в агроценозе // *Агрохимия*. 2007. № 6. С. 5–13.
23. *Castaldi S., Rounding M., Baronti S.* Impact of biochar application to a Mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas // *Chemosphere*. 2011. V. 85. P. 1464–1471.
24. *Банкина Т.А., Рижия Е.Я., Орлова Н.Е., Милосердова В.А., Груздева Ю.И.* Влияние биоугля на содержание лабильного углерода и минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве // *Тр. Всерос. Научн. Конф. с международ. участием “Почвы в биосфере”*, посвящ. 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Новосибирск, 10 сентября–14 октября 2018 г. С. 21–25.
25. *Завалин А.А., Соколов О.А.* Поток азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. 591 с.
26. *Bengtsson G., Bengtson P., Månsson K.F.* Gross nitrogen mineralization, immobilization and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity // *Soil Biol. Biochem.* 2003. V. 35. P. 143–154.
27. *Libutti A., Mucci M., Francavilla M.* Effect of biochar amendment on nitrate retention in a silty clay loam soil // *Ital. J. Agron.* 2016. V. 11. P. 273–276.
28. *Knowles O.A., Robinson B.H., Contangelo A.* Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids // *Sci. Total Environ.* 2011. V. 409. P. 3206–3210.
29. *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. 46–53.
30. *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.

## Effect of Biochar on the Content of Mineral Forms of Nitrogen in Sod-Podzolic Sandy Loam Soil with Different Fertility

E. Ya. Rizhiya<sup>a, #</sup>, N. P. Buchkina<sup>a</sup>, and E. V. Balashov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Agrophysical Research Institute  
Grazhdanskiy prosp. 14, St. Petersburg 195220, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: alenarizh@yahoo.com*

In a three-year field experiment a dynamics of ammonium and nitrate nitrogen content in the sod-podzolic sandy loam soil with different fertility was studied after incorporation of wood biochar at a rate of 1% of soil weight. In vegetation vessels, located at field conditions, the studies were carried out in the following treatments: 1 – soil-control, 2 – soil with biochar, 3 – soil with mineral fertilizer and 4 – soil with the combined application of biochar and mineral fertilizer were studied. The results of the studies showed that the application of biochar did not affect the content of ammonium nitrogen, but significantly increased the content of nitrate nitrogen as compared to that in the treatments without biochar.

*Key words:* ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, wood biochar, sod-podzolic soil, degree of soil fertility.