

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ ПРИ ВНЕСЕНИИ В НЕЕ БИОУГЛЯ[§]

© 2021 г. Л. В. Бойцова^{1,*}, Е. Я. Рижия², М. А. Москвин¹

¹ Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

² Российский государственный гидрометеорологический университет
192007 Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79, Россия

*E-mail: larisa30.05@mail.ru

Поступила в редакцию 17.02.2021 г.

После доработки 22.03.2021 г.

Принята к публикации 11.05.2021 г.

В двухлетнем вегетационно-полевом эксперименте изучили влияние внесения биоугля в дозе 20 т/га на содержание и сезонную динамику минеральных форм азота (аммонийной и нитратной). Вегетационно-полевой эксперимент заложен в Меньковском филиале Агрофизического института (МОС-АФИ, (Ленинградская обл.)), на дерново-подзолистых супесчаных почвах, различавшихся по степени окультуренности: среднеокультуренной и высокоокультуренной. Схема опыта: контроль (без биоугля) и почва с биоуглем в дозе 20 т/га. Цель исследования состояла в изучении влияния внесения биоугля на содержание минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве разного качества. Содержание аммонийного азота в образцах почв определяли индофенольным методом, концентрацию нитратов – спектрофотометрическим методом. Установлено, что внесение древесного биоугля в почву в дозе 20 т/га привело к увеличению содержания минеральных форм азота. В 2019 г. отмечено увеличение содержания минеральных форм азота в вариантах с биоуглем в 1.4 раза по сравнению с контролем, в 2020 г. – в 1.2 раза в тех же вариантах. Наибольшее увеличение содержания минеральных форм азота по сравнению с контрольным вариантом отмечено в почве со средней степенью окультуренности. В 2020 г. по сравнению с 2019 г. произошло уменьшение содержания нитратных форм азота и увеличение его аммонийных форм.

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

DOI: 10.31857/S0002188121080056

ВВЕДЕНИЕ

Минеральные соединения азота служат непосредственным источником питания растений [1]. Внесение биоугля влияет на физические условия почвенной среды и изменяет интенсивность процессов аммонификации и нитрификации, обуславливающих накопление ионов аммония и нитрат-ионов. Пока не удается найти устойчивой зависимости между концентрацией данных ионов в почве с наличием в ней биоугля вследствие крайней изменчивости почвенных условий в течение вегетационного периода. Известно, что скорость процессов аммонификации и нитрификации зависит

от температуры, влажности, реакции среды, содержания органического вещества и от многих других характеристик.

Основные механизмы, регулирующие изменения содержания минерального азота в почве с биоуглем, связаны с высокой катионообменной способностью “состарившегося” биоугля за счет окислительных реакций на его поверхности и последующего взаимодействия биоугля с минеральными веществами почвы [2, 3], также с его способностью изменять рН почвенной среды [4]. На данный процесс влияют также свойства биоугля, приводящие к увеличению влагоудерживающей способности почвы и, как следствие этого, уменьшающие общий объем выщелачивания элементов [5, 6]. Кроме того, происходит микробная

[§] Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 19-016-00038-А.

Таблица 1. Химический состав биоугля (исходные данные до начала полевого опыта)

$C_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$	C : N	H, %	H : C	O, %	O : C	pH_{H_2O}	$W_{\text{гв}}$	Зольность
%								%	
88.9	0.43	207	3.2	0.04	5.1	0.06	8.3	3.1	1.8

Примечание. $W_{\text{гв}}$ – гигроскопическая влажность биоугля.

иммобилизации лабильного углерода, содержащегося в биоугле [3, 7]. Данный углерод может служить микробным субстратом, что приводит к увеличению потребности микробов в неорганическом азоте, и тем самым – к иммобилизации азота посредством биотических процессов [3, 6, 8, 9]. Считается, что биоуголь, благодаря своей пористой структуре, повышает число аэробных участков в почве, что способствует увеличению интенсивности нитрификации и снижению интенсивности денитрификации. Поэтому увеличивается содержание нитратного азота в почве и снижаются его потери при переходе в газообразную форму. Кроме того, биоуголь, как мелиорант, обладающий высокой адсорбционной способностью, путем катионного обмена может адсорбировать NO_3^- и NH_4^+ , снижая эмиссию почвенного аммиака и, таким образом, увеличивая содержание доступного азота в почве, улучшая ее плодородие. Тем не менее, адсорбция аммонийного азота биоуглем может привести к снижению его доступности нитрифицирующим микроорганизмам [10].

Цель работы – изучение влияния биоугля на содержание минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве разного качества.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проведены с середины мая по конец сентября 2019–2020 гг. на территории экспериментальной опытной станции АФИ (МОС-АФИ) (п. Меньково, Гатчинский р-н, Ленинградская обл.). Vegetационно-полевой эксперимент заложен на Агрофизическом стационаре МОС-АФИ. Почвы стационара представлены дерново-подзолистыми супесчаными разновидностями. Данные почвы различались по степени окультуренности и качеству: среднеокультуренная (СОК) и высокоокультуренная (ВОК). В 2003–2005 гг. в среднеокультуренную почву был внесен навоз КРС 220 т/га, высокоокультуренную почву – 540 т/га [11].

На начало опыта в конце апреля 2019 г. почва участков СОК и ВОК характеризовалась следующими агрохимическими показателями. Средне-

окультуренная почва имела pH_{KCl} 5.3, содержание $C_{\text{орг}}$ – 1.53%, $N_{\text{общ}}$ – 0.17%, $N-NO_3$ – 16.4 мг/кг почвы, $N-NH_4$ = 5.6 мг/кг почвы, подвижных (по Кирсанову) P_2O_5 – 255, K_2O – 112 мг/кг почвы. Высокоокультуренная почва отличалась от почвы СОК большими величинами данных показателей, а именно: pH_{KCl} 6.4, $C_{\text{орг}}$ – 2.92%, $N_{\text{общ}}$ – 0.28%, $N-NO_3$ – 22.3 мг/кг почвы, $N-NH_4$ – 6.7 мг/кг почвы, подвижные (по Кирсанову) P_2O_5 – 994, K_2O – 542 мг/кг почвы.

Опытные делянки размером 4 м² (2 × 2 м) заложены 20 мая 2019 г. на парцеллах почв с СОК и ВОК, на контрольных участках (без дополнительного внесения различных доз минеральных удобрений). Схема опыта включала 2 варианта в трехкратной повторности: 1 – контроль (без биоугля), 2 – почва с биоуглем в дозе 20 т/га.

В качестве биоугля использовали древесный уголь из березы сорта “Премиум” (береза 1-го класса), фракция с размером частиц угля 0.5–5.0 см. Биоуголь произведен быстрым пиролизом при температуре 600°C на предприятии ООО “Файервуд” (Ленинградская обл, Тосненский р-н, д. Коркино). Химическая характеристика биоугля представлена в табл. 1. Перед внесением в почву биоуголь просеивали через сито с размером ячейки 2 см. Биоуголь в дозе 20 т/га (или 2 кг/м²) вносили в верхний слой 0–10 см почвы вручную.

На делянках в течение вегетационного периода 2019 г. в качестве тест-объекта возделывали викоовсяную смесь (вика посевная яровая сорта Львовский (*Vicia sativa* L.) и овес яровой сорта Боррус (*Avena sativa* L.) в соотношении 30 : 70) из расчета 200 кг семян/га (или 21.3 г/м²). Посев состоялся 21 мая. В 2020 г. возделывался люпин белый сорт Дега (*Lupinus albus* L.) как сидерат под озимую пшеницу, посев проведен 15 мая из расчета 200 кг семян/га, запашка – 16 августа.

Отбор почвенных образцов в вариантах опыта проводили по стандартной методике [12] с помощью почвенного бура из слоя 0–10 см. Объединенную пробу в каждом варианте составляли из индивидуальных проб, отобранных равномерно со всей площади участка. Периодичность отбора

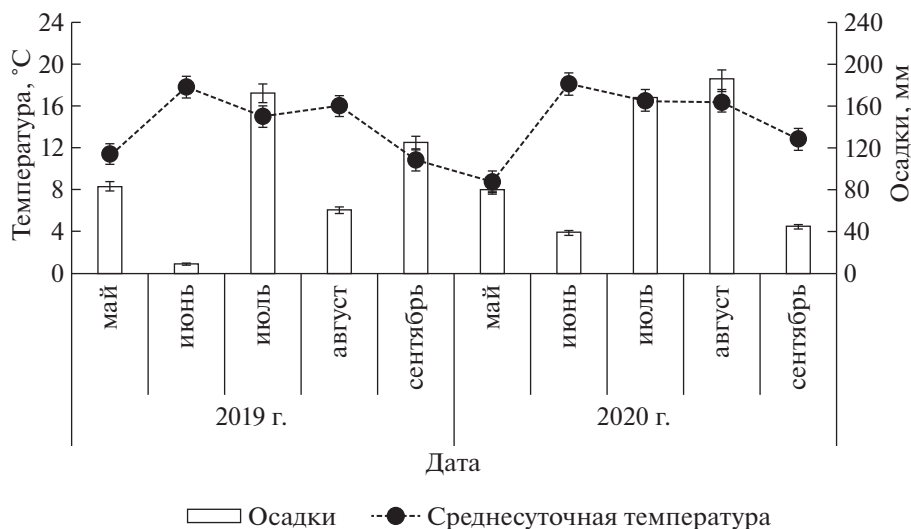


Рис. 1. Сравнительная характеристика среднесуточной температуры и осадков в течение вегетационных периодов 2019 и 2020 гг.

образцов — через каждые 10–12 сут с момента закладки опыта.

Метеорологические показатели в течение вегетационных периодов 2019–2020 гг. фиксировали на метеостанции, находящейся в 200 м от Агрофизического стационара (рис. 1).

Сравнивая вегетационные периоды 2019 и 2020 гг., можно отметить общие закономерности погодных явлений по месяцам. Май в годы исследования характеризовался как холодный месяц со средним количеством осадков до 80 мм, июнь — как жаркий и засушливый (но в 2020 г. осадков выпало на 30 мм больше, чем в 2019 г.), июль — теплый и влажный, август — теплый (но в 2020 г. еще и влажный по сравнению с 2019 г., когда осадков выпало всего 60 мм), сентябрь — холодный и умеренно-влажный.

Сезон 2020 г. с июня по сентябрь характеризовался более высокими среднесуточными температурами воздуха и большим количеством осадков по сравнению с аналогичным периодом 2019 г. Среднесуточная температура воздуха данного периода в 2020 г. была на 1°C выше, чем в 2019 г., и составила 15.9°C, количество осадков за тот же период в 2020 г. было равно 109.3 мм, в 2019 г. — несколько меньше (92.1 мм).

Содержание аммонийного азота в образцах почв определяли колориметрическим методом в солевой вытяжке (1 н. раствор KCl) с индофенолом (ГОСТ 26489-85), нитратного азота — в виде окрашенного диазосоединения (ГОСТ 26488-85) спектрофотометрическим методом (на спектрофотометре Spectroflex 6100, WTW, Германия).

Все анализы выполнены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ “Microsoft Excel”. Определены средние величины, их стандартные отклонения, корреляции Пирсона, достоверность различий средних при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение содержания минерального азота в биоугле экстракцией 2 М KCl не позволила получить достоверные результаты. Установлены следы присутствия аммонийного азота и отсутствие нитратов в биоугле. Результаты других исследователей согласовались с нашими данными. Показано, что в биоугле может содержаться от 0.6 до 1.8 мг N/kg [13]. В наших ранее проведенных экспериментах по изучению сорбции питательных веществ было установлено, что биоуголь может поглотить калия в 4 раза больше, чем содержится в растворе. В меньшем количестве усваивается аммоний, фосфор и кальций. Данные элементы поглощаются примерно с одинаковой интенсивностью и количестве. Нитраты и магний практически не сорбировались биоуглем [14].

Анализ данных, полученных в течение вегетационного периода 2019 г., выявил постепенное снижение содержания аммонийного азота в дерново-подзолистой супесчаной почве с СОК, тогда как в вариантах почвы с ВОК отмечали его увеличение во время первых 2-х нед опыта и последующее снижение (рис. 2а). Данное повышение было связано, вероятно, с большей биологической активностью в почвах с ВОК. Высококультуренная

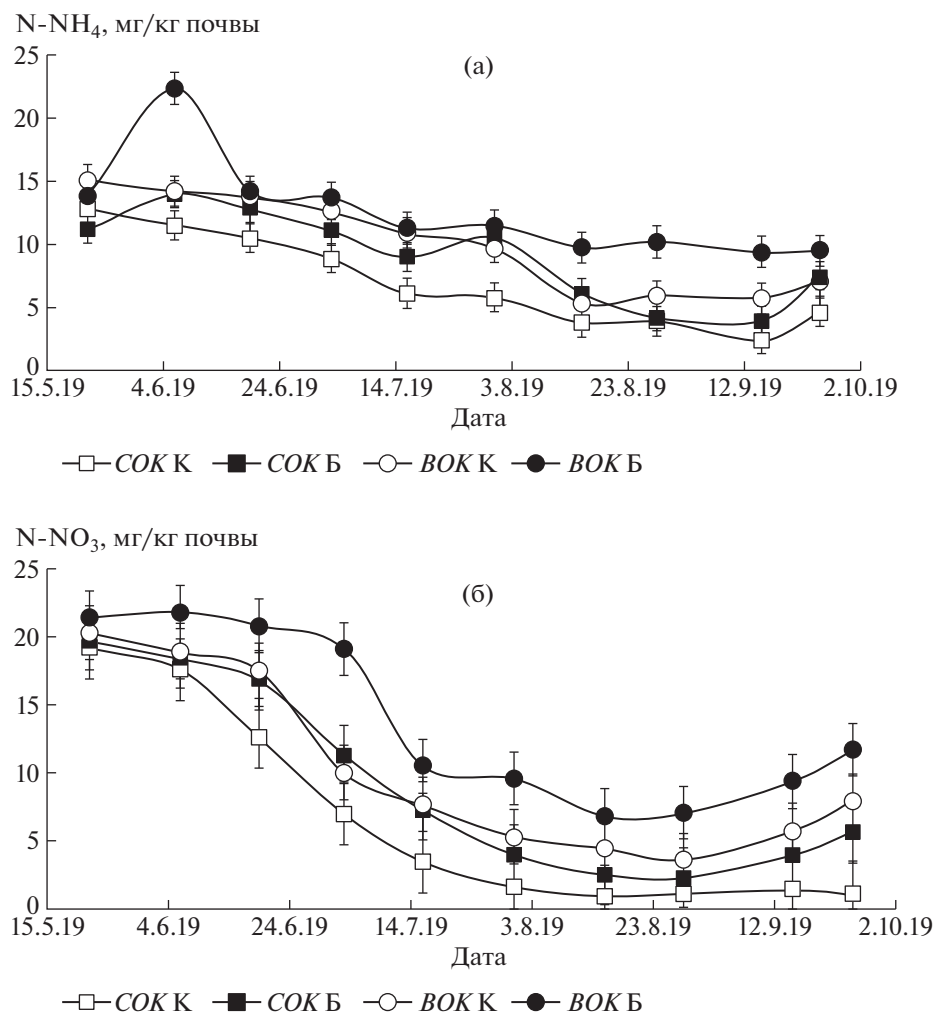


Рис. 2. Динамика содержания: (а) – аммонийного азота, (б) – нитратного азота в дерново-подзолистой супесчаной почве со средней и высокой степенью окультуренности (2019 г.) (COK – средне окультуренная почва, BOK – высоко окультуренная почва, К – контроль, Б – биоуголь). То же на рис. 3.

почва характеризовалась более благоприятными условиями для развития микроорганизмов и растений, т.к. обладала бóльшим содержанием органического вещества и подвижных элементов. Снижение концентрации аммонийного азота в ходе дальнейшего вегетационного периода в почве было обусловлено увеличением интенсивности процессов нитрификации. Кроме этого, аммонийный азот является важнейшим источником питания для растений и поступает в растения быстрее, чем его нитратный, т.к. для его использования на построение органических веществ растениям не требуется предварительное восстановление и дополнительные энергозатраты как при использовании растениями нитратной формы азота [15].

Кроме того, общая тенденция уменьшения содержания N-NH₄ в середине вегетационного пе-

риода, возможно, была связана с изменением воздушного, теплового и водного режимов почвы из-за засухи в июне и июле, которая оказала неблагоприятное влияние на интенсивность микробиологических процессов цикла азота.

Оптимальная температура для минерализации почвенного органического вещества составляет $\approx 28\text{--}30^\circ\text{C}$. При уменьшении температуры на 10°C интенсивность минерализации уменьшается на 50%, и она почти останавливается при 0°C [16]. Изменение влажности почвы влияет на минерализацию в меньшей степени, чем изменение температуры. Отмечена более интенсивная минерализация при чередовании засушливых и влажных периодов. Во время минерализации органического вещества высвобождается NH₃, он получает протон во влажном субстрате и превращается в

NH_4^+ . В сухом субстрате происходит эмиссия аммиака, что приводит к потере азота [17].

Внесение биоугля привело к повышению содержания аммонийного азота в почве с *СОК* и *ВОК*. В вариантах с почвой с *СОК* биоуголь способствовал повышению содержания N-NH_4 в среднем на 38%, а в вариантах с почвой *ВОК* – на 33%. Повышение содержания аммонийного азота в почве с биоуглем могло быть связано с адсорбцией N-NH_4 на поверхности биоугля, и, как результат, со снижением выщелачивания N-NH_4 из почвы. Аналогичные результаты были получены в экспериментах [18].

Содержание нитратного азота в сезон 2019 г. в почве с *ВОК* было достоверно больше ($p < 0.05$), чем в почве с *СОК*. Это согласовалось с данными, полученными для почв разной степени окультуренности в 2012–2014 гг. [19]. В дерново-подзолистой супесчаной почве с *СОК* отмечено снижение содержания нитратного азота в ходе вегетационного периода (рис. 26). В почве с *ВОК* в течение первых 5-ти нед опыта концентрация N-NH_3 значительно не изменялась, далее наблюдали ее уменьшение, а затем увеличение в конце вегетационного периода.

В вариантах почвы *СОК* и *ВОК* зафиксировано достоверно ($p < 0.05$) большее количество нитратов по сравнению с контрольными вариантами, что, по-видимому, свидетельствовало об усилении процессов нитрификации при внесении в почву биоугля. Внесение биоугля в почву с *СОК* повысило содержание N-NO_3 в среднем на 39%, в почву с *ВОК* – на 36%. Большой отклик на внесение биоугля в почву наблюдали в почве *СОК*. Данная почва обладала более низким нитрификационным потенциалом по сравнению с почвой *ВОК*, что привело к увеличению нитрификации и повышению содержания нитратного азота [20].

Корреляционный анализ данных, полученных в сезоне 2019 г., выявил отрицательную связь между температурой почвы и содержанием в ней минеральных форм азота: $r = -0.50 \dots -0.56$ – для нитратного азота и более тесную связь ($r = -0.58 \dots -0.86$) – для аммонийного азота. Влияние влажности почвы на содержание нитратов в почве *СОК* было слабым ($r = -0.16 \dots -0.30$), в почве *ВОК* зафиксирована тесная отрицательная связь ($r = -0.50 \dots -0.54$). При этом в почве с биоуглем данная связь была сильнее в обоих вариантах. Корреляция между влажностью почвы и содержанием в ней аммонийного азота, напротив, в почве *СОК* была несколько сильнее ($r = -0.28 \dots -0.42$), чем в почве *ВОК* ($r = -0.17 \dots -0.29$). В почве с био-

углем данная связь была более тесной в обоих вариантах.

В течение 2020 г. от мая до начала июля содержание аммонийной формы азота в почве *СОК* в контроле оставалось практически на одном уровне – 6.60–6.84 мг/кг почвы, затем в середине июля происходило увеличение содержания аммонийного азота в 2.2 раза по сравнению с началом наблюдений (рис. 3а). К окончанию периода зафиксировано уменьшение концентрации N-NH_4 до 8.13 мг/кг почвы, что превосходило величину этого показателя в мае месяце. Внесение биоугля привело к повышению содержания аммонийного азота в почве с *СОК*. Тренд изменения содержания N-NH_4 в почве *СОК* с биоуглем был такой же, как и в почве *СОК* в контроле, за исключением начала мая, когда было зафиксировано небольшое уменьшение содержания аммонийной формы азота.

Изменение содержания аммонийного азота в дерново-подзолистой супесчаной почве *ВОК* в целом происходило так же, как и в почве *СОК*. Однако содержание N-NH_4 характеризовалось достоверно ($p < 0.02$) большими величинами при сравнении почв *СОК* и *ВОК* в контроле и при внесении в них биоугля. Кроме того, к окончанию вегетационного периода содержание аммонийного азота в почве *ВОК* с биоуглем сравнялось с таковым в почве *ВОК* в контроле.

Внесение биоугля привело к достоверному ($p < 0.02$) повышению содержания аммонийного азота в почве с *СОК* и *ВОК*. В вариантах с почвой с *СОК* биоуголь способствовал повышению содержания N-NH_4 в среднем за сезон на 29%, в вариантах с почвой *ВОК* – на 25% по сравнению с контролем. Повышение содержания аммонийного азота в почве с биоуглем в 2020 г. объясняется теми же причинами, что и повышение данного параметра в 2019 г.

Содержание нитратного азота в 2020 г. в почве с *ВОК* было больше, чем в почве с *СОК*, однако различия в содержании нитратного азота не являлись достоверными ($p < 0.1$). В дерново-подзолистой супесчаной почве всех изученных вариантов наблюдали волнообразное изменение содержания нитратного азота в течение вегетационного периода 2020 г. (рис. 3б). При этом максимальные величины содержания N-NO_3 зафиксированы в середине июня (11.1 мг/кг в почве *СОК* и 13.5 мг/кг в почве *ВОК* в контрольных вариантах, 13.0 мг/кг в почве *СОК* и 15.7 мг/кг в почве *ВОК* при применении биоугля). Июнь являлся самым теплым и сухим месяцем вегетационного периода. Среднесуточная температура воздуха состави-

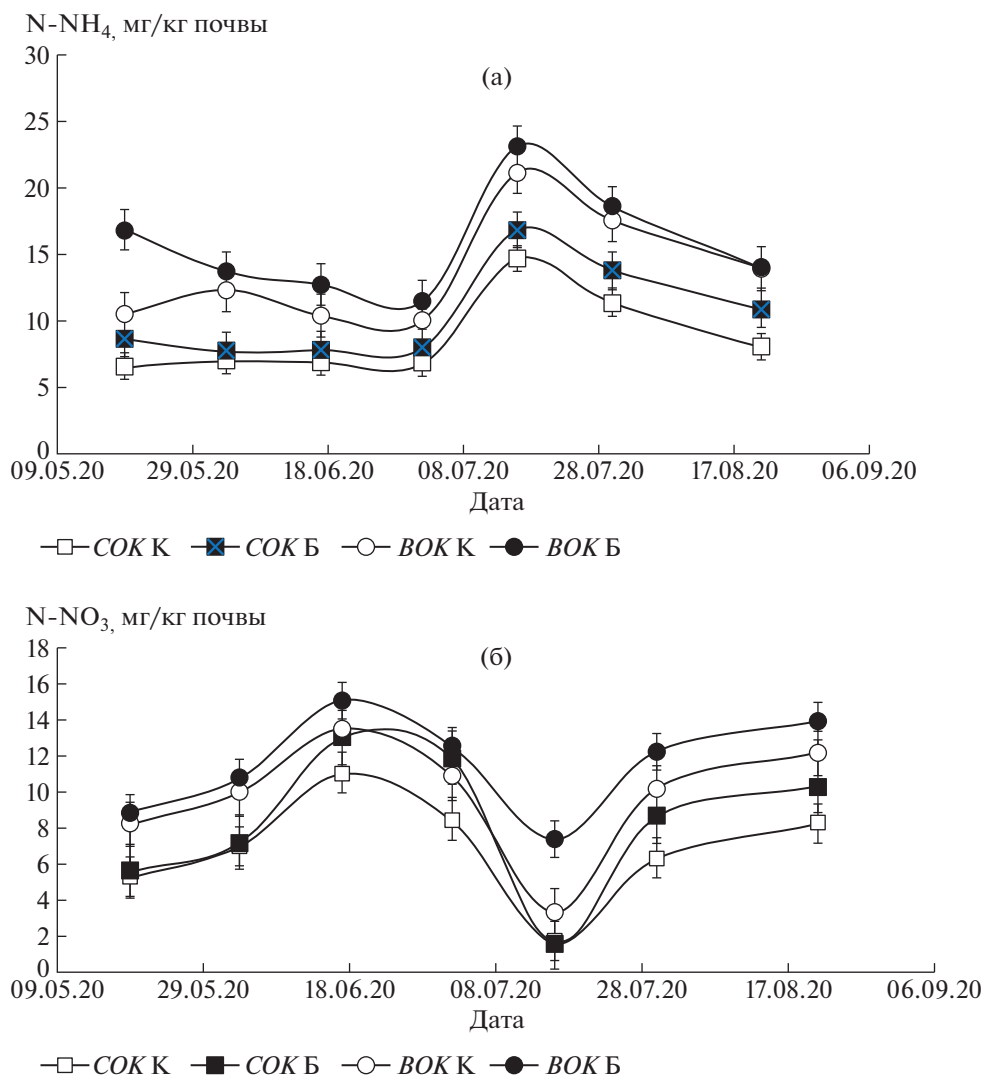


Рис. 3. Динамика содержания: (а) – аммонийного азота, (б) – нитратного азота в дерново-подзолистой супесчаной почве со средней и высокой степенью окультуренности (2020 г.).

ла 18.1°C, количество осадков – 38.9 мм. Далее до середины августа наблюдали уменьшение содержания N-NO₃ во всех вариантах опыта. Варианты различались абсолютными величинами содержания нитратного азота. Например, в почве контрольных вариантов *СОК* и *ВОК* содержалось меньше нитратного азота, чем в аналогичных вариантах с добавлением биоугля, что, по-видимому, свидетельствовало о более интенсивном процессе нитрификации в почвах с биоуглем. Кроме того, биоуголь, обладающий большой удельной поверхностью и пористостью, способствует адсорбции влаги [21] и удержанию минеральных элементов, в частности, нитратного азота. В этой связи почвы с биоуглем накапливают больше нитратного азота, что имеет существенное значение для питания растений. Однако различия в со-

держании нитратного азота в почвах *СОК* и *ВОК* при внесении биоугля не были достоверными ($p < 0.1$). Внесение биоугля в почву с *СОК* повысило содержание N-NO₃ в среднем на 21%, в почву с *ВОК* – на 18% по сравнению с контролем. Данные различия объясняются причинами, изложенными выше. В целом для вариантов с биоуглем были характерны более высокие уровни содержания N-NH₄ и N-NO₃, что согласовалось с данными других авторов [22, 23].

Корреляционный анализ данных, полученных в 2020 г., выявил положительную связь между температурой почвы и содержанием в ней минерального азота ($r = 0.10–0.74$) во всех вариантах, за исключением варианта почвы с *ВОК* и внесением биоугля, где такой связи не обнаружено в отношении аммонийного азота. Влияние влаж-

ности почвы на содержание нитратов во всех вариантах было слабым, за исключением варианта почвы с *ВОК* и внесением биоугля ($r = -0.57$). Корреляция между влажностью почвы и содержанием в почве аммонийного азота носила отрицательный характер ($r = -0.55...-0.59$).

При сравнении изученных почв по величине среднего содержания в них аммонийного и нитратного азота за вегетационные периоды 2019 и 2020 гг., можно отметить следующие закономерности. В 2020 г. во всех вариантах исследованных почв произошло уменьшение содержания нитратного азота, за исключением варианта *СОК*, где его содержание осталось практически на уровне 2019 г. (6.62 и 6.86 мг/кг почвы соответственно). Наибольшим снижением среднего содержания нитратного азота характеризовалась почва с внесением биоугля. В варианте почвы с *СОК* и внесением биоугля снижение данного параметра произошло на 9%, в варианте почвы с *ВОК* и биоуглем – на 17% по сравнению с 2019 г. Среднее за сезон содержание аммонийного азота увеличилось во всех вариантах, причем наибольшее увеличение зафиксировано для высокоокультуренной почвы как с внесением биоугля, так и без него. В варианте с почвой *ВОК* увеличение составляло 36%, в варианте *ВОК* и биоуглем – 25%, по сравнению с 2019 г.

Данные изменения были связаны с метеорологическими условиями, сложившимися в вегетационные периоды 2019–2020 гг. Погодные условия, сложившиеся в 2020 г., в большей степени способствовали процессу аммонификации, чем нитрификации, в изученных почвах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение древесного биоугля в дерново-подзолистую супесчаную почву в дозе 20 т/га привело к увеличению содержания минеральных форм азота в течение 2-х лет. При этом в 2019 г. отмечали увеличение содержания минеральных форм азота в вариантах с биоуглем в 1.4 раза по сравнению с контролем, в 2020 г. – в 1.2 раза в тех же вариантах. Наибольшее увеличение содержания минеральных форм азота по сравнению с контрольным вариантом отмечено в почве со средней степенью окультуренности. В 2020 г. по сравнению с 2019 г. произошло уменьшение содержания нитратных форм азота и увеличение его аммонийных форм. Корреляционная связь содержания минеральных форм азота в почве с ее влажностью и температурой в 2019 г. носила отрицательный характер, в 2020 г. с влажно-

стью была в основном отрицательной, с температурой – в основном положительной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В.М., Козым Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
2. Ding Y., Liu Y.X., Wu W.X., Shi D.Z., Yang M., Zhong Z.K. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns // Water Air Soil Pollut. 2010. V. 213 (1–4). P. 47–55.
3. Nelissen V., Rütting T., Huygens D., Staelens J., Ruyschaert G., Boeckx P. Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil // Soil Biol. Biochem. 2012. V. 55. P. 20–27.
4. Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil // Soil Sci. 2009. № 174. P. 105–112.
5. Ouyang L., Wang F., Tang J., Yu L., Zhan R. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2013. V. 13 (4). P. 991–1002.
6. 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.
7. Ippolito J.A., Laird D.A., Busscher W.J. Environmental benefits of biochar // J. Environ. Qual. 2012. V. 41 (4). P. 967–972.
8. Lehmann J., Rondon M. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics // Biol. Approach. Sustain. Soil Syst. 2006. V. 113 (517). P. 530.
9. Nelissen V., Saha B. K., Ruyschaert G., Boeckx P. Effect of different biochar and fertilizer types on N₂O and NO emissions // Soil Biol. Biochem. 2014. V. 70. P. 244–255.
10. 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.
11. Оленченко Е.А., Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Балашов Е.В. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее физические свойства и урожайность сельскохозяйственных культур в агрофизическом стационаре // Агрофизика. 2012. № 4. С. 8–18.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 419 с.
13. Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. Using poultry litter biochars as soil amendments // Soil Res. 2008. V. 46(5). P. 437–444.
14. 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.
15. Якушкина Н.И. Физиология растений. М.: Изд-во Владос, 2004. 464 с.

16. *Kirschbaum M.U.F.* The temperature dependence of organic-matter decomposition—still a topic of debate // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38 (9). P. 2510–2518.
17. *Заварзин Г.А.* Лекции по природоведческой биологии. М.: Наука, 2004. 348 с.
18. *Yao Y., Gao B., Zhang M., Inyang M., Zimmerman A.R.* Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil // *Chemosphere.* 2012. V. 89 (11). P. 1467–1471.
19. *Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Балашов Е.В.* Влияние биоугля на содержание минеральных форм азота в дерново-подзолистой супесчаной почве с разной степенью окультуренности // *Агрохимия.* 2020. № 8. С. 48–56.
20. *Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Рижия Е.Я., Оленченко Е.А.* Эмиссия закиси азота из легких сельскохозяйственных почв Ленинградской области // Мат-лы совещ.-семинара “Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота при производстве сельскохозяйственной продукции”. М., 2010. С. 46–53.
21. *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.
22. *Белая А.А., Патрушева О.В., Нестерова О.В., Бриксманс А.В.* Влияние биоугля на содержание некоторых форм азота в почве и биомассе капусты // Мат-лы Международ. научн. семинара “Биоуголь: свойства, применение в сельском хозяйстве, влияние на почвы, растения и окружающую среду”. АФИ, Санкт-Петербург, Россия, 08 декабря 2020 г. СПб.: АФИ, 2020. С. 8–12.
23. *Дубровина И.А.* Пролонгированное влияние биоугля на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы // Там же. С. 28–30.

Mineral Nitrogen Content in Sod-Podzolic Sandy Soils of Different Fertility after Application of Biochar

L. V. Boitsova^{a, #}, E. Ya. Rizhiya^{a, b}, and M. A. Moskvina^a

^a *Agrophysical Research Institute
Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg 195220, Russia*

^b *Russian State Hydrometeorological University
Voronezhskaya ul. 79, St.-Petersburg 192007, Russia*

[#]*E-mail: larisa30.05@mail.ru*

In a two-year vegetation-field experiment, the effect of applying biochar at a dose of 20 t/ha on the content and seasonal dynamics of mineral forms of nitrogen (ammonium and nitrate) was studied. The vegetation-field experiment was based in the Menkov branch of AFI (MOS-AFI, Leningrad region), on the sod-podzolic sandy loam soils differed in the degree of cultivation: medium-cultivated and high-cultivated. The scheme of the experiment: control (without biochar) and soil with biochar at a dose of 20 t/ha. The aim of the study was to study the effect of biochar application on the content of mineral forms of nitrogen in sod-podzolic sandy loam soil of different quality. The content of ammonium nitrogen in soil samples was determined by the indophenol method, the concentration of nitrates – by the spectrophotometric method. It was found that the introduction of wood biochar into the soil at a dose of 20 t/ha led to an increase in the content of mineral forms of nitrogen. In 2019, there was an increase in the content of mineral forms of nitrogen in the variants with biochar by 1.4 times compared to the control, in 2020 – by 1.2 times in the same variants. The greatest increase in the content of mineral forms of nitrogen in comparison with the control variant was observed in the soil with an average degree of cultivation. In 2020, compared to 2019, there was a decrease in the content of nitrate forms of nitrogen and an increase in its ammonium forms.

Key words: ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, woody biochar, sod-podzolic soil, degree of cultivation.