

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*114.261;630*114.251

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АЗОТА В ПОЧВЕ
ВЫСОКОПРОДУКТИВНОГО БЕРЕЗНЯКА ЮЖНОЙ ТАЙГИ

© 2012 г. С.М. Разгулин

Институт лесоведения РАН

143030 Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское

E-mail: root@ilan.ras.ru

Поступила в редакцию 28.04.2010 г.

Продуктивность нетто-минерализации азота в горизонтах дерново-палевоподзолистой почвы A_0-A_1 (0–6 см), A_1 (6–11 см) и A_2 (11–21 см) березняка-кисличника, измеренная в период с 21 мая по 2 ноября 2009 г., составила 6.7 ± 0.9 , 3 ± 0.4 и 5.5 ± 0.6 г N м⁻². Продуктивность нитрификации 0.4 ± 0.1 , 1.1 ± 0.2 и 1.4 ± 0.1 г N м⁻², соответственно. Всего в почвенном профиле 0–21 см было минерализовано 15.2 ± 1.1 г N м⁻² (150 кг N га⁻¹). За период исследований температура и увлажнение почвы коррелировали с активностью аммонификации и накоплением аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_1 . Гидротермический режим почвы определял активность нитрификации в горизонте A_2 , и сезонную динамику накопления нитратов во всех горизонтах почвенного профиля. Сезонный ход накопления аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_2 не коррелировал с продукцией углекислоты из почвы, но в горизонте A_1 эта связь была обозначена $-r = 0.55$ при $p = 0.25$. При среднесезонной эмиссии аммиака из лесной почвы, равной 58 ± 19 мкг N м⁻² сут, потери азота составили 95 ± 31 г N га⁻¹ за период исследований.

Аммонификация, нитрификация, эмиссия аммиака, эмиссия углекислоты.

Дефицит азота в почве, лимитирующий продуктивность бореальных лесов, стимулирует устойчивый интерес к исследованию различных ветвей азотного баланса, включая минерализацию азота в почве, наиболее продуктивного и возможно, главного процесса цикла, обеспечивающего азотное питание древостоев [7]. В подзоне южной тайги европейской части России минерализация азота в лесных почвах и эмиссия аммиака из них рассмотрена в немногих публикациях [9, 10] и в условиях “in situ” исследована недостаточно.

Вместе с тем это фундаментальный параметр функционирования экосистем, тесно связанный с циклом углерода, который интенсивно исследуется в связи с глобальным потеплением и необходимостью получения прогнозных характеристик. Однако варианты прогнозов будут неполными без оценок минерализации азота в почвах. Фрагментарные измерения минерализации азота, выполненные в отдельные периоды вегетации в лаборатории, в условиях оптимальной температуры и увлажнения [5] не заменяют измерение хода процесса в природе, на протяжении периода вегетации или всего года.

Задачей настоящей работы служит характеристика сезонной динамики и продуктивности процесса нетто-минерализации азота в различных горизонтах почвы березняка-кисличника.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в Шекснинском лесничестве Рыбинского лесхоза (Ярославская обл.). Экспериментальный участок располагался на склоне кр. Нахта в березняке-кисличнике (9Б1Ос), возрастом 90 лет, I класса бонитета, полнотой 0.8, с плотностью подроста ели 2500 экз. га⁻¹. В подлеске клен, рябина, жимолость, волчье лыко. Напочвенный покров представлен щитовником мужским, кислицей, сочевичником, снытью, копытнем европейским, аконитом. Почва дерново-палево подзолистая, легкосуглинистая. Подстилка маломощная 0.5–1 см. Хорошо выражен гумусовый горизонт мощностью до 10 см, с темноокрашенной верхней частью и сероватой нижней. Элювиальная часть профиля бурого цвета, следов оглеения нет. На глубине 60–70 см почва подстилается моренным суглинком, обога-

ценным карбонатом кальция, стимулирующим слабокислую реакцию почв и высокую насыщенность основаниями обменного комплекса [1].

Минерализацию азота измеряли в горизонтах A_0 – A_1 (0–6 см), A_1 (6–11 см) и A_2 (11–21 см) методом инкубации изолированных проб без растений в условиях “in situ” с мая по ноябрь 2009 г. в 8-кратной повторности для каждого горизонта. В указанных горизонтах почвенного профиля вырезали пробы размером 10×30 см. Каждую пробу после тщательного удаления зеленых частей растения делили на две равные части. Одну из двух частей транспортировали в лабораторию для определения начальных концентраций минерального азота, другую помещали в пакет из капроновой сетки форматом 15×20 см с ячейками 1×1 мм. Пакеты возвращали на место вырезанной пробы, в соответствии с горизонтом, маскировали и инкубировали 26–28 суток [Robertson et al.; 1999 цит. по: 9, 12].

Минерализацию азота рассчитывали как разность концентраций минеральных форм элемента в пробах в конце и начале экспозиции. В основе расчета лежит предположение, что образовавшийся в результате деструкции азотсодержащих органических соединений и накопившийся в пробе без растений азот /нетто-минерализация/, представляет разность между общим минерализованным азотом и азотом, иммобилизованным микроорганизмами. Этот азот доступен для растений [Ено 1960; Gosz et al., 1973; Adams et al. 1989 цит. по: 7].

В лаборатории из проб удаляли крупные (более 1 мм в диаметре) включения. Подстилку и пробы из горизонтов A_1 и A_2 последовательно сепарировали с помощью сит с диаметром отверстий 10 и 5, а также 3 и 2 мм соответственно. Затем пробы перемешивали, помещали в полиэтиленовые пакеты 15×20 см и хранили в холодильнике при 4 °С.

Обменный аммоний определяли в вытяжке 2% раствора хлорида калия, используя метод диффузионно-изотермической дистилляции аммиака [8] во всех повторностях. Содержание нитратов измеряли в вытяжке 0,05% раствора сернокислого калия восстановлением до нитритов на омедненном кадмии и определении последних с использованием реактивом Грисса [2, 8]. Азот нитратов определялся в каждой повторности первые три срока и в смешанном образце из 8 составляющих в остальные периоды.

С мая по ноябрь в 4 изолированных камерах измеряли эмиссию углекислоты с поверхности почвы (Собщ.) [6], и в 2 камерах из горизонта с

удаленной до глубины 25 см верхней частью профиля (Сэл). Пробы воздуха отбирали в вакуумированные флаконы объемом 15 мл с герметичным зажимом в 3-кратной повторности при экспозиции 0,5 ч. Концентрацию углекислоты измеряли с помощью анализатора с поглотителями Реберга, оттитровывая избыток гидрата окиси бария соляной кислотой [2]. В качестве газа-носителя использовали аргон.

С мая по ноябрь было выполнено 9 сроков измерения эмиссии аммиака с поверхности лесной почвы методом изолированных камер, с десятикратной повторностью за каждый срок измерения [10].

В начале каждого срока стальной трубкой диаметром 54 мм в 30-кратной повторности измеряли запас подстилки. Объемный вес горизонтов, измеренный в 6-кратной повторности был равен в A_0 – A_1 , A_1 и A_2 , соответственно 0,49, 0,87 и 1,11 г см⁻³. На глубине 1 и 5 см измеряли температуру почвы (T_1 и T_5). Влажность почвы определялась высушиванием проб в термостате при 85 °С в течение 48 ч.

В табл. 1 представлено среднее содержание минерального азота, отнесенное к сухому весу почвы в начале и по окончании экспозиции. В табл. 2 приведены данные расчетов накопления азота в виде разности между произведениями веса горизонта на 1 м² и содержанием элемента в конце и начале экспозиции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание аммония в почве березняка закономерно убывает в ряду A_0 – $A_1 > A_1 > A_2$, отражая поступление и трансформацию азотсодержащего органического субстрата в почвенном профиле (табл. 1).

В сезонной динамике содержания аммония в горизонте A_0 – A_1 максимальные концентрации были отмечены в мае-июне и июне-июле, а минимальные – в октябре (табл. 1). Сезонные изменения этого параметра коррелировали с температурой почвы (табл. 3). Регуляция сезонных изменений концентраций аммонийного азота температурой почвы была отмечена ранее в автоморфных почвах сосняков Карелии [Федорец, Бахмет 2003 цит. по: 9] и подстилке южно-таежных березняков [9].

В горизонте A_1 максимальное содержание аммония отмечено в июле-августе, а минимальное – в сентябре. Уровень регуляции сезонной динамики содержания аммония температурой почвы в этом горизонте был ниже, чем в гори-

Таблица 1. Содержание азота аммония (А) и нитратов (Н), эмиссия аммиака (Э), продукция углекислоты (С), температура (Т) и влажность (В) почвы в березняке-кисличнике на даты начала и окончания экспозиции

Параметр	21.V-16.VI	16.VI-14.VII	14VII-11VIII	11.VIII-8.IX	8.IX-6.X	6.X-2.XI
A, мг N 100 г ⁻¹						
A ₀ -A ₁	5.9 ± 1	2.9 ± 0.2	4.5 ± 0.5	13 ± 2.7	5.4 ± 0.8	12.4 ± 0.4
A ₁	2.4 ± 0.3	1.6 ± 0.2	2.4 ± 0.4	1.8 ± 0.5	2.6 ± 0.2	2.8 ± 0.4
A ₂	1.4 ± 0.1	2.4 ± 0.4	1.4 ± 0.1	1.7 ± 0.1	0.6 ± 0.06	1.4 ± 0.1
H, мг N100 г ⁻¹						
A ₀ -A ₁	0.1	1.17	0.55	1.58	0.135	0.383
A ₁	0.1	1.22	0.34	1.49	0.300	0.531
A ₂	0.07	0.45	0.192	0.751	0.161	0.289
Э, мкг N м ⁻² сут ⁻¹	56 ± 27	39 ± 6	114 ± 75	119 ± 62	18 ± 6	5 ± 2
С, г С м ⁻²						
C _{обн} /C _{ан}	137 / 29	101 / 56	157 / 38	99 / 23	52 / 9	24 / 10
T ₁ /T ₅ , °C	13.1 / 11.5	17.4 / 15.1	17.8 / 15.3	13.7 / 12.9	9.6 / 9.8	3.3 / 4.6
B, %, A ₀ -A ₁ / A ₁ / A ₂	42 / 33 / 23	39 / 26 / 21	34 / 24 / 18	37 / 22 / 17	42 / 24 / 23	42 / 23 / 23

Таблица 2. Аммонификация (Ам), нитрификация (Нф), накопление аммония (На) и нитратов (Нн), запас подстилки (Зп) и изменение запаса подстилки (Из) в почве березняка – кисличника

Параметр	Дата начала и окончания экспозиции					
	21.V–16.VI	16.VI–14.VII	14.VII–11.VIII	11.VIII–8.IX	8.IX–6.X	6.X–2.XI
Ам, мг N 100 г ⁻¹ сут ⁻¹						
A ₀ –A ₁	– 0.11	0.30	0.25	0.19	0.07	0.05
A ₁ /A ₂	–0.03 / 0.04	– 0.02 / 0.01	0.01 / 0.03	0.08 / 0.02	0.07 / 0.02	0.04 / 0.01
Нф, мг N 100 г ⁻¹ сут ⁻¹						
A ₀ –A ₁	0.04	0.01	0.008	0.007	0.001	0.002
A ₁ /A ₂	0.04 / 0.014	0.04 / 0.02	0.01 / 0.004	0.008 / 0.006	–0.0002/0.003	–0.0002 / –0.001
На, мг N м ⁻²						
A ₀ –A ₁	– 882 ± 219	2499 ± 808	2058 ± 247	1587 ± 327	617 ± 186	441 ± 235
A ₁	– 348 ± 156	– 291 ± 309	87 ± 187	957 ± 243	827 ± 190	479 ± 117
A ₂	1143 ± 476	388 ± 233	1099 ± 141	777 ± 244	666 ± 207	444 ± 244
Нн, мг N м ⁻²						
A ₀ –A ₁	315 ± 113	308 ± 244	72 ± 4	62 ± 7	7 ± 5	14 ± 2
A ₁	487 ± 204	500 ± 58	100 ± 21	99 ± 8	–2 ± 3	– 3 ± 4
A ₂	421 ± 55	621 ± 55	143 ± 12	181 ± 43	96 ± 18	– 21 ± 35
Зп, г м ⁻²	1852 ± 131	2005 ± 122	1577 ± 118	1428 ± 87	1717 ± 105	2162 ± 183
Из, г м ⁻²	153	– 428	– 149	289	445	2228 ± 192 66

зонте A₀–A₁ (табл. 1, 3). В элювиальном горизонте максимальные концентрации аммония были отмечены в начале и по окончании периода исследований, а минимальные – с середины июля по сентябрь (табл. 1). Сезонные изменения этого параметра хорошо регулировались влажностью почвы (табл. 3).

Сезонные изменения содержания аммония были взаимосвязаны только в горизонтах A₀–A₁ и A₁, с $r = 0.74$ при $p = 0.09$.

Активность аммонификации в горизонте A₀–A₁ сокращалась в мае–июне (вероятно, из-за превышения скорости иммобилизации аммония микроорганизмами над скоростью аммонификации) и была максимальна в июне–июле, снижаясь в остальные периоды и коррелируя с влажностью почвы (табл. 2, 3).

В горизонте A₁ этот показатель был низким в первые два срока, возрастал к августу–сентябрю и снижался осенью, также коррелируя с влажностью почвы (табл. 2, 3).

В элювиальном горизонте активность процесса была положительна весь сезон, максимумы отмечены в мае–июне и июле–августе, а минимумы – в июне–июле и октябре (табл. 2). Активность аммонификации не коррелировала с температурой и влажностью почвы (табл. 3).

Накопление аммония, выраженное на единицу площади в горизонте A₀–A₁, было минималь-

ным в мае–июне, максимальным в июне–июле и уменьшалось в остальные периоды, коррелируя с увлажнением почвы (табл. 2, 3). Продуктивность процесса составила 6.3 ± 0.9 г N м⁻².

В горизонте A₁ была отмечена убыль накопления аммония в первые два срока, затем незначительный рост в июле–августе, резкое увеличение в августе–сентябре и сентябре–октябре, затем снижение в октябре (табл. 2). Возможно, уменьшение накопления аммония в первые два срока (на 348 и 291 мг N м⁻²) было связано с близкими значениями нитрификации в эти сроки – 487 и 500 мг N м⁻² (табл. 2). За период исследований процесс хорошо регулировался изменением влажности почвы (табл. 3). С учетом недостоверных значений, продуктивность накопления аммония была равна 1.9 ± 0.3 г N м⁻².

В горизонте A₂ наибольшее накопление аммония отмечено в первый срок, затем зафиксировано снижение в июне–июле, рост в июле–августе и последующее снижение со второй половины августа по ноябрь. Температура и влажность почвы не регулировали сезонные изменения процесса (табл. 3). С учетом недостоверного накопления во второй срок, продуктивность аммонификации составила 4.1 ± 0.6 г N м⁻².

Сезонные изменения накопления аммония в трех горизонтах не были синхронны, так как максимумы процесса были отмечены в разное время (табл. 2).

В содержании нитратов не зафиксировано последовательного снижения их концентраций в горизонтах A_0-A_1 , A_1 и A_2 . Минимальное и максимальное содержание нитратов характерно для горизонта $A_0-A_1 - 0.022$ и $0.55 \text{ мг N } 100 \text{ г}^{-1}$ (табл. 1). Сезонные изменения этого параметра были синхронны в трех горизонтах ($r = 0.79-0.99$, $p = 0.06 - 0.0001$), с максимумами в июне-июле, и коррелировали с температурой почвы (табл. 3).

Активность нитрификации была близка в горизонтах A_0-A_1 и A_1 , уменьшаясь в элювиальной части профиля. Во всех горизонтах максимумы процесса были отмечены в первые два срока, затем наблюдалось снижение активности (табл. 2). В горизонтах A_1 и A_2 процесс хорошо регулировался совокупными изменениями температуры и влажности почвы (табл. 3).

Накопление нитратов во всех горизонтах выражалось величинами одного порядка и было положительным. Низкие значения, полученные в конце периода исследований были недостоверны (табл. 2). Сезонные изменения этого параметра синхронны также во всех горизонтах ($r = 0.94-0.99$ при $p = 0.004-0.0001$), с максимумами в мае-июне и июне-июле и минимумами в остальные периоды, хорошо коррелируя с совокупными изменениями температуры и влажности почвы (табл. 2, 3).

В горизонте A_0-A_1 в первый срок, и в горизонте A_1 в первый и второй срок, нитрификация, равная, соответственно, 315, 487 и 500 мг N м^{-2} , была получена при убывающей аммонификации в эти же сроки – на 882, 348 и 291 мг N м^{-2} . В горизонте A_2 в июне-июле накопление нитратов было почти в два раза выше накопления аммония за этот период – 621 и 388 мг N м^{-2} , соответственно (табл. 2). При измерении минерализации азота в 6 образцах почв (горизонт A_1) под основными лесообразующими породами Сибири в лабораторных условиях, в 3 вариантах эксперимента нитрификация также превышала аммонификации в 1.2–9.5 раза [5]. Это может быть связано с разными периодами оборота азота в системе “почва-микроорганизмы”, которые равны суткам для аммония и часам для нитратов [Stark, Hart 1997; Westbrook, Devito, 2004 цит. по: 7]).

В горизонте A_1 максимальное содержание аммония отмечено в июле-августе, а минимальное – в сентябре. Уровень регуляции сезонной динамики содержания аммония температурой почвы в этом горизонте был ниже, чем в горизонте A_0-A_1 (табл. 1, 3).

Сезонная динамика аммонификации и нитрификации хорошо коррелировали только в гори-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции (r , R) и уровни значимости (p) между содержанием аммония (А) и нитратов (Н), аммонификацией (Ам) и нитрификацией (Нф), накоплением аммония (На) и нитратов (Нн), температурой (Т) и влажностью почвы (В)

Параметр	r , R	p	Параметр	r , R	p
A_0-A_1					
А – Т	0.74	0.09	Нф – (Т, В)	0.88	0.10
А – В	0.42	0.39	На – Т	0.37	0.46
Н – Т	0.58	0.23	На – В	0.75	0.08
Н – В	0.14	0.78	На – (Т, В)	0.82	0.21
Ам – Т	0.56	0.24	Нн – Т	0.49	0.32
Ам – В	0.73	0.09	Нн – В	0.77	0.07
Нф – Т	0.50	0.31	Нн – (Т, В)	0.86	0.12
Нф – В	0.13	0.79	A_2		
На – Т	0.56	0.25	А – Т	0.40	0.43
На – В	0.73	0.10	А – В	0.82	0.04
Нн – Т	0.52	0.29	А – (Т, В)	0.83	0.17
Нн – В	0.11	0.83	Н – Т	0.63	0.17
Нн – (Т, В)	0,84	0.14	Н – В	0.30	0.56
A_1			Ам – Т	0.30	0.56
А – Т	0.62	0.18	Ам – В	0.01	0.98
А – В	0.31	0.53	Нф – Т	0.61	0.19
Н – Т	0.66	0.15	Нф – В	0.22	0.67
Н – В	0.04	0.93	Нф – (Т, В)	0.89	0.09
Ам – Т	0.35	0.49	На – Т	0.36	0.47
Ам – В	0.77	0.07	На – В	0.19	0.71
Ам – (Т, В)	0.81	0.19	Нн – Т	0.62	0.18
Нф – Т	0.51	0.30	Нн – В	0.21	0.68
Нф – В	0.78	0.06	Нн – (Т, В)	0.90	0.07

зонте A_1 , с $r = 0.84$ и $p = 0.03$, где накопление аммония и нитратов первые три срока выразилось соизмеримыми величинами и в третий срок до нитратов был окислен весь аммоний (табл. 2).

Продуктивность нитрификации в горизонтах A_0-A_1 , A_1 и A_2 с учетом недостоверных значений была равна 0.4 ± 0.1 , 1.2 ± 0.2 и $1.4 \pm 0.1 \text{ г N м}^{-2}$, соответственно. Наибольшая продуктивность процесса в элювиальной толще получена за счет высокого объемного веса при минимальных активностях нитрификации.

Корреляции сезонных изменений минерализации азота с совокупным учетом действия гидротермических параметров почвы, содержания в ней органических форм С, N, P, отношений С:N и С:P часто объясняют не более 30–44% сезонных вариаций процесса [7].

Вероятно, взаимосвязи между гидротермическими параметрами почвы и минерализацией азота (табл. 3) косвенно отражают роль деструкционных процессов, также зависящих от режима

тепла и влаги. Так, накопление аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_1 коррелировало с изменением запаса подстилки как источником энергетического субстрата с $r = 0.59$ и 0.71 при $p = 0.21$ и 0.11 соответственно.

Сезонные изменения накопления аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_2 не коррелировали с продукцией углекислоты (Сп) и (Сэл) из этих горизонтов, но в горизонте A_1 связь между сезонной динамикой аммонификации и (Сп) была обозначена – $r = 0.55$ при $p = 0.25$. В лабораторных условиях связь эмиссии углекислоты и аммонификации между 6 вариантами эксперимента за один срок измерения отсутствовала [5].

Таким образом, с 21 мая по 2 ноября в горизонтах A_0-A_1 , A_1 и A_2 хорошо дренированной и аэрированной почвы высокопродуктивного березняка было минерализовано 6.7 ± 0.9 , 3 ± 0.4 и 5.5 ± 0.6 г $N\ m^{-2}$, соответственно. Продуктивность нитрификации составляла 0.4 ± 0.1 , 1.1 ± 0.2 и 1.4 ± 0.1 г $N\ m^{-2}$, или 6, 36 и 25% минерализованного азота. Всего в почвенном профиле 0–21 см было минерализовано 15.2 ± 1.1 г $N\ m^{-2}$ ($150\ kg\ N\ га^{-1}$), из них 12.3 г $N\ m^{-2}$ было аммонифицировано, а 2.9 г $N\ m^{-2}$ (19%) приходилось на нитрификацию.

В зрелых широколиственных лесах Канады и США, на дерново-подзолистых почвах, в горизонтах 0–25 см за вегетацию минерализуется 6 и 11 г $N\ m^{-2}$, при вкладе нитрификации равном 92 и 60 %, соответственно [11, 12].

При содержании $C_{орг}$ и $N_{орг}$ в горизонтах A_0-A_1 , A_1 и A_2 равных соответственно 5.2 и 0.33%, 1.5 и 0.13%, 1.3 и 0.09% [4], запас $N_{орг}$ в этих горизонтах составил 98, 56 и 100 г $N\ m^{-2}$. Соответственно, минерализуется 6.8, 5.3 и 5.5% от запасов органического азота, что соответствует данным [Zotl (1958, 1960) цит. по: 7].

Если принять, что минерализуется в первую очередь легкогидролизуемая фракция органического азота, определяемая по методике Шконде и Королевой, то ее содержание в горизонтах A_0-A_1 и A_1 равно 6.9 и 7.1% [3]. Это составляет 6.7 и 4 г $N\ m^{-2}$, совпадая с измеренным значением в верхнем горизонте и превышая измеренную величину в горизонте A_1 .

Продукция углекислоты из профиля почвы 0–21 см с 21 мая по 2 сентября составила 570 г $C\ m^{-2}$. Аммонификация как функция аэробного распада азотсодержащего органического субстрата может быть выражена как частное от деления деструкционного потока углерода на величину отношения C:N. Деструкция, равная 85% эмиссии CO_2 [6], составила 484 г $C\ m^{-2}$.

При средневзвешенном по профилю почвы отношению C:N равном 14, могло бы минерализоваться $484:14 = 34$ г $N\ m^{-2}$. Измеренная нетто-минерализация равна 15 г $N\ m^{-2}$, вероятно, $34 - 15 = 19$ г $N\ m^{-2}$ иммобилизуется почвенными микроорганизмами.

Сезонные изменения эмиссии аммиака из почвы имели вид одновыпуклой кривой с максимумами в середине периода (табл. 1), коррелируя с температурой почвы и ее увлажнением с $r = 0.67$ и 0.86 при $p = 0.14$ и 0.03 , соответственно. При среднесезонной эмиссии равной 58 ± 19 мкг $N\ m^{-2}\ сут^{-1}$, непродуктивные потери азота составили 95 ± 31 г $N\ га^{-1}$ за период исследований.

Заключение. За период исследований температура и влажность почвы регулировали содержание аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_2 , активность аммонификации и накопление аммония в горизонтах A_0-A_1 и A_1 , активность нитрификации и накопление нитратов в горизонте A_1 . Гидротермический режим почвы обуславливал активность нитрификации в горизонте A_2 , а также сезонную динамику накопления нитратов во всех горизонтах почвенного профиля. Сезонные изменения накопления аммония не коррелировали с продукцией углекислоты в исследованных горизонтах, но в горизонтах A_0-A_1 и A_1 аммонификация коррелировала с изменением запаса подстилки как источником энергетического субстрата. Всего в почвенном профиле высокопродуктивного березняка с 21.V по 2.X было минерализовано 150 кг $N\ га^{-1}$, при вкладе нитрификации, равном 19%. В верхнем горизонте почвы минерализованный азот был представлен легкогидролизуемой фракцией органического азота. Потери азота за счет эмиссии аммиака за этот период была на 4 порядка меньше количества минерализованного азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатуров Ю.Д., Зворыкина К.В., Ильюшенко А.Ф. Типы березовых лесов центральной части южной тайги. М.: Наука, 1982. 155 с.
2. Алевин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
3. Кошельков С.П., Терентьева Е.Н. Группы азота, фосфора, гумусовых соединений в почвах сплошных вырубков березняков южной тайги // Лесоведение. 1985. № 2. С. 10–15.
4. Максимова А.Е. Изменение содержания и состава гумуса при смене березы елью на старопашотных

- почвах в Ярославской области // Почвоведение. 1987. № 9. С. 110–118.
5. *Меняйло О.В.* Влияние древесных пород Сибири на скорость минерализации почвенного органического вещества // Почвоведение. 2009. № 10. С. 124–1247.
6. *Разгулин С.М.* Деструкция органического вещества почвы и ассимиляция азота в экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2004. № 8. С. 927–930.
7. *Разгулин С.М.* Минерализация азота в почвах борельных лесов // Лесоведение. 2008. № 4. С. 57–62.
8. *Разгулин С.М.* Полевой метод измерения минерализации азота в лесных почвах // Почвоведение. 2009. № 11. 1341–1344.
9. *Разгулин С.М.* Минерализация азота в подстилке южнотаежного березняка // Лесоведение. 2009. № 3. С. 73–76.
10. *Разгулин С.М., Степанов А.Л.* Эмиссия аммиака из дерново-подзолистой почвы под разными фитонозами // Почвоведение. 2009. № 7. С. 853–856.
11. *Devito K.J., Westbrook C.J., Schiff S.L.* Nitrogen mineralization and nitrification in upland and peatland forest soils in two Canadian Shield catchment // Canadian Journal Forest Research. 1999. V. 29. P. 1793–1804.
12. *Groffman P.M., Driscoll C.T., Fahey T.J., Hardy J.P., Fitzhugh R.D., Therney D.* Effect of mild winter freezing on soil nitrogen and carbon dynamics in a northern hardwood forest // Biogeochemistry. 2001. V. 56. P. 191–213.

Nitrogen Mineralization in Soil of a Highly Productive Southern Taiga Birch Forest

S.M. Razgulin

The nitrogen mineralization in the A_0-A_1 (0–6 cm), A_1 (6–11 cm), and A_2 (11–21 cm) horizons of a *Betuletum oxalidosum* measured from May 21 to November 2, 2009 was 6.7 ± 0.9 , 3.0 ± 0.4 , and 5.5 ± 0.6 g N m⁻²; the nitrification productivity was 0.4 ± 0.1 , 1.1 ± 0.2 , and 1.4 ± 0.1 g N m⁻², respectively. A total of 15.2 ± 1.1 g N m⁻² (150 kg N ha⁻¹) was mineralized in the 0- to 21- cm soil layer. The soil temperature and moisture correlated to the activity of ammonification and ammonium accumulation in the A_0-A_1 and A_1 horizons. The joint effect of soil temperature and moisture controlled the nitrification activity in the A_2 horizon and seasonal dynamics of N accumulation in all the soil horizons. The seasonal course of nitrate accumulation did not correlate with the carbon dioxide production in the soils. In the soil under the highly productive birch stand from May 21 to October 2, 150 kg N ha⁻¹ were mineralized, the nitrification contribution being 19%. For this period, the mean daily ammonia emission from the forest soil equaled 58 ± 19 μ g N m⁻²; the nitrogen loss was 95 g N ha⁻¹.