

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ДОСТУПНОСТЬ АЗОТА В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ

О.А. Шапченкова, М.А. Пляшечник, С.Р. Лоскутов

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28; e-mail: [shapchenkova@mail.ru](mailto:shapchenkova@mail.ru)

Внесение мочевины в дозах 12 и 60 кг N/га в течение 3 лет способствовало аккумуляции органического вещества, общего и аммонийного азота в мерзлотных почвах Центральной Эвенкии. По данным термического анализа в составе органического вещества лесной подстилки экспериментальных пробных площадей увеличилась доля наименее термически устойчивых компонентов.

**Ключевые слова:** почва, мочевина, органическое вещество, азот, термический анализ

Application of urea at rates 12 and 60 kg N·ha<sup>-1</sup> during 3 years resulted in accumulation of organic matter, and increase of total nitrogen and ammonium-N concentrations in permafrost soils of Central Evenkia. Thermal analysis showed that a part of the least thermal stable components in organic matter of the forest floor was higher in experimental plots.

**Key words:** soil, urea, organic matter, nitrogen, thermal analysis

### ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность растительных сообществ бореальной зоны лимитируется низким содержанием доступного азота в почвах, что подтверждено отзывчивостью древостоев на внесение удобрений (Бузыкин и др., 1996). Опыт применения азотных удобрений в лесных экосистемах показывает, что улучшение роста деревьев, как правило, имеет временный характер. Это в значительной степени обусловлено повышенным поглощением азота в течение первого вегетационного сезона после внесения удобрений. Повышенное содержание минеральных форм азота в подстилке и минеральной части почвы наблюдается также непостоянно; количество доступного азота возвращается на прежний уровень спустя 2 года после внесения удобрений (Prescott et al., 1992). Ответная реакция древостоя отмечалась через 10-15 лет после 6-кратного внесения 112 кг N/га, а также при однократном применении больших доз азотных удобрений (470 кг N/га) (Binkley, Reid, 1985; Prescott et al., 1995).

Внесенный азот может быть потерян вследствие вымывания и улетучивания, поглощен растениями. Однако значительная его часть иммобилизуется в органических и минеральных горизонтах почвы. Ответ на вопрос, является ли иммобилизованный азот источником питания растений в течение длительного времени или недоступным запасом, затруднен вследствие недостаточной изученности влияния удобрений на микробиологические процессы круговорота азота в лесной подстилке (Prescott et al., 1992). Показано, что несбалансированное применение высоких доз азота может негативно влиять на процессы азотного цикла, приводя к истощению азотного фонда почв (Никитишен, Личко, 2008). Целью работы являлась оценка влияния трехлетнего внесения азотных удобрений на органическое вещество (ОВ) и доступность азота в мерзлотных почвах Центральной Эвенкии.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории Эвенкийского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, расположенного в среднем течении реки Нижняя Тунгуска, рядом с пос. Тура.

Исследуемая территория, согласно лесорастительному районированию, относится к Нижне-Тунгусскому округу лиственничных и лиственнично-темнохвойных северотаежных лесов Ангаро-Тунгусской таежной провинции Среднесибирской лесорастительной области и характеризуется повсеместным распространением многолетней мерзлоты (цит. по Прокушкин, 2008). Среднегодовая температура воздуха -9,5 °С, средняя температура января -36,8 °С, июля - 15,8 °С (по данным для пос. Тура). Сумма положительных температур (выше 0 °С) равна 1502°, сумма активных температур (выше 10 °С) - 1144°. Годовое количество осадков 322 мм. Продолжительность безморозного периода 76 дней. Средняя температура поверхности почвы в июле составляет 20°С, на глубине 10 см - 13,2 °С (Справочник по климату..., 1967, 1969). Три пробные площади (ПП) были заложены в лиственничнике (*L.gmelinii*(Rupr.) Rupr) багульниково-брусничном зеленомошном с подлеском из *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar. Состав древостоя 10 Лц (возраст 70-90 лет), средний диаметр 86,6 см, средняя высота 8,2 м, полнота 0,57, запас 58,4 м<sup>3</sup>/га (Прокушкин, 2008). Каждая ПП размером 15x15 м была разделена на 4 подквadrата размером 7,5x7,5 м и имела по периметру буферную зону 4 м. Из азотных удобрений применяли мочевину (карбамид), которую вносили ежегодно в дозах 12 и 60 кг N/га, равномерно рассыпая гранулы по 6 параллельным линиям на каждой ПП, включая двухметровые буферные полосы по периметру. Последствие азотных удобрений изучали по прошествии 3-летнего периода внесения. На ПП в середине июля под синузиями

мхов (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Aulocomnium palustre* Hedw.) и лишайников (*Cladonia alpestris* (L.) Rubenh., *Cetraria cucullata* (Bellardi.) Ach., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Cladina mitis* (Sandst.) Hustich), в трехкратной повторности были отобраны образцы лесной подстилки (зеленую часть мхов и лишайники предварительно срезали).

Свойства почвы определяли согласно следующим методам: гранулометрический состав – по Качинскому; реакцию среды почвенного раствора – потенциометрически; содержание органического углерода – по Тюрину; обменные кальций и магний – по ГОСТ 26487-85; гидролитическую кислотность – по ГОСТ 26212-91; обменную кислотность – по Соколову (Аринушкина, 1970); общий азот – по ГОСТ 26107-84; обменный аммоний – по ГОСТ 26489-85.

Термический анализ был проведен с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1 (Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb, Germany). Подготовка образцов проводилась в соответствии с общепринятой методикой определения углерода в почвах (Аринушкина, 1970). Образцы почв были проанализированы в окислительной атмосфере (воздух) при следующих условиях: для ТГ – скорость нагрева 10, 20, 30 °С·мин<sup>-1</sup> от 25 до 600 °С, скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл·мин<sup>-1</sup>, масса образца 24–27 мг, тигель Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> цилиндрической формы; для ДСК – скорость нагрева 10 °С·мин<sup>-1</sup> от 25 до 600 °С, тигель алюминиевый с перфорированной крышкой, эталон – пустой алюминиевый тигель, скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл·мин<sup>-1</sup>, масса образца 1,3–1,5 мг. Обработка результатов измерений осуществлялась с помощью пакета программ, поставляемого с приборами.

Для выявления различий в термических свойствах ОВ лесной подстилки на контрольной и экспериментальных пробных площадях были определены кинетические параметры термического разложения ОВ по методам Бройдо и Озавы (Уэндландт, 1978).

Ряд авторов считает эти методы наиболее приемлемыми в исследованиях термических свойств синтетических полимеров, натуральной и модифицированной древесины, органического вещества почвы (Turmanova et al., 2008; Vecchio et al., 2006; Teasa et al., 2008). На основе анализа величин кажущейся энергии активации термодеструкции серии образцов можно делать выводы о стабильности процесса, уточнять характеристики термостабильности компонентов исследуемого материала.

По методу Бройдо для расчета энергии активации использовалось уравнение:

$$\ln[-\ln(1-\alpha)] = A - (E_a/R \cdot T), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень термического превращения исследуемого образца,  $T$  – температура (К),  $R = 8,314$  Дж·(К·моль)<sup>-1</sup> – универсальная газовая постоянная,  $E_a$  – кажущаяся энергия активации.  $(1-\alpha)$  имеет смысл степени незавершенности процесса термического разложения – в данном случае – ОВ почв.  $\alpha =$

$(M_0 - M_T)/M_0$ , где  $M_0$  – масса органического вещества в исходном образце почвы,  $M_T$  – масса ОВ в образце при температуре  $T$  в ТГ-эксперименте. По линейным графикам, построенным в координатах  $\ln[-\ln(1-\alpha)] - 1/T$ , рассчитывалась  $E_a$ .

Уравнение Озавы–Флинна–Уолла имеет вид (Vecchio et al., 2006):

$$\ln\beta = B - 1.052 \cdot (E'/R \cdot T)_{\alpha}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – скорость нагрева,  $T$  – температура (К),  $E'$  – энергия активации, кДж·моль<sup>-1</sup> В - constant. При постоянном значении  $\alpha$  по углу наклона прямой в координатах  $\ln\beta - 1/T$  рассчитывается  $E'$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров ПП представлен криогидроморфными почвами – криоземами типичными (Классификация почв..., 1997). Почвы имеют легкосуглинистый гранулометрический состав (содержание физической глины 24,1 %), в летний период протаивают на глубину 30–40 см. Переувлажнение почв обусловлено присутствием в почвенном профиле многолетней мерзлоты, которая служит слоем водоупора. Органогенные горизонты почв характеризуются кислой и слабокислой реакцией среды, слабой насыщенностью почвенного поглощающего комплекса (ППК) обменными основаниями. В составе ППК наряду с кальцием и магнием в небольших количествах присутствуют алюминий и водород. В минеральной части содержание ОВ резко снижается, реакция среды переходит в нейтральную, степень насыщенности ППК значительно увеличивается (табл. 1). По данным литературы, запасы подстилки в зеленомошных и лишайниковых микроассоциациях листовенничных биогеоценозов Центральной Эвенкии составляют в среднем 37,6 т/га и 28,5 т/га (Токарева, 2005).

Ряд исследователей считают, что основным источником азота для растительных сообществ в условиях сплошного распространения вечной мерзлоты является подстилка, где сосредоточено до 40–70 % поглощающих корневых окончаний (Прокушкин и др., 2008).

В мочеvine азот находится в амидной форме (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>). После внесения, мочеvine под влиянием микроорганизмов аммонифицируется с образованием углекислого аммония (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, который поглощается почвой и затем постепенно нитрифицируется. Как известно, интенсивность превращения азотистых веществ в почвах зависит от комплекса природных факторов, среди которых наибольшее значение имеют температура и влажность. В климатических условиях северных территорий мобилизация почвенного азота протекает очень медленно, что связано с низкой биологической активностью, обусловленной неблагоприятными гидротермическими условиями и недостатком в почвах легкодоступных для микроорганизмов форм органического углерода (Биологическая активность...,

1970; Попова, 1983). В почвах северной тайги Средней Сибири минерализация органических азотсодержащих соединений осуществляется до образования аммония (Шугалей, Ведрова, 2004),

который является основным источником азотного питания для растений и микроорганизмов. Нитратная форма азота в почвах обнаружена лишь в следовых количествах (Прокушкин и др., 2008).

**Таблица 1 - Физико-химические свойства почвы**

Горизонт, глубина, см	pH <sub>вод.</sub>	С, %	Н <sub>г</sub> , ммоль/ 100 г	Обменные катионы, ммоль/100 г		Обменная кис-лотность по Соколову, ммоль/100 г		СНО, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	
Ov, 0-7,5	4,9	79,6*	53,8	59,0	14,2	0,855	0,608	58
Ogd, 7,5-13,5	6,4	43,2*	20,0	59,0	17,9	0	0	79
Bd,tix, ⊥, 13,5-26	7,0	0,93	2,1	17,3	6,9	0,005	0,015	92

Примечание: Н<sub>г</sub> – гидролитическая кислотность; СНО – степень насыщенности основаниями; \* – потеря при прокаливании.

В таблице 2 представлены данные по физико-химическим и химическим свойствам образцов подстилки, отобранных на контрольной и экспериментальных ПП через год после последнего внесения мочевины. За трехлетний период в почву на

экспериментальных ПП было внесено 36 и 180 кг N/га, что привело к заметному увеличению содержания ОБ, общего и аммонийного азота по сравнению с контролем. Внесение мочевины не оказало влияния на реакцию среды почвенного раствора.

**Таблица 2 - Физико-химические и химические свойства лесной подстилки на пробных площадях после 3-летнего внесения мочевины**

Пробная площадь	pNH <sub>2</sub> O	ППП, %	N, %	N-NH <sub>4</sub> , мг·кг <sup>-1</sup>
1 (контроль)	<u>5,1-5,4</u>	<u>22,2-48,6</u>	<u>0,292-0,672</u>	<u>19-31</u>
	5,3	35,3	0,475	24,7
2 (12 кг N/га)	<u>5,1-6,1</u>	<u>37,0-63,4</u>	<u>0,428-0,804</u>	<u>40-52</u>
	5,5	46,1	0,575	44,3
3 (60 кг N/га)	<u>5,0-6,1</u>	<u>32,2-76,0</u>	<u>0,420-0,924</u>	<u>49-141</u>
	5,4	49,9	0,607	101,0

Примечание: в числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние значения; ППП – потеря при прокаливании.

Содержание органического вещества в лесной подстилке на экспериментальных ПП 2 и 3 возросло в среднем на 31 и 41 %, общего азота – на 21 и 28 % соответственно. Увеличение содержания ОБ и азота связано с поступлением большего количества растительного опада, вероятно, обогащенного азотом (Prescott et al., 1992). Отмечено, что внесение удобрений увеличивает образование тонких корней (King et al., 2002). Бузыкин А.И. с соавторами (1996) наблюдали повышенное (в 2-2,5 раза) содержание азота во мхах и лишайниках по сравнению с контролем через год после внесения мочевины в дозах 100-500 кг N/га в сосняках Приангарья.

Содержание доступного аммонийного азота (N-NH<sub>4</sub>) в подстилке увеличилось в 1,8 и 4,1 раза по градиенту внесения мочевины. По-видимому, это в большей степени обусловлено тем, что аммонийный азот, образующийся при гидролизе мочевины, в условиях слабого развития процесса нитрификации накапливается и не подвергается дальнейшим превращениям. Благодаря обменно-му поглощению аммонийный азот малоподвижен. По данным В.Н. Переверзева (1987) вынос аммонийного азота не превышал 0,5 % от суммарного выноса минерального азота за пределы пахотного слоя.

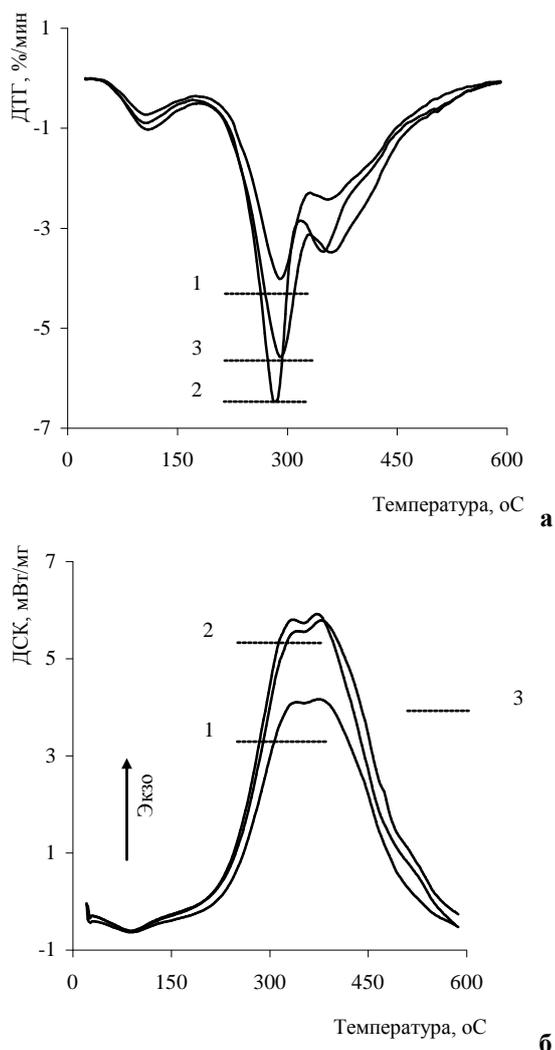
Кроме того, применение азотных удобрений способствует активизации процессов мобилизации азота в почвах за счет повышения протеоли-

тической активности, роста численности аммонификаторов и активности ферментов аммонификации (Хазиев, Агафарова, 1977).

В литературе встречаются разные данные о последствии минеральных удобрений в почвах. Повышенную концентрацию N-NH<sub>4</sub> в лесных подстилках хвойных насаждений через год после внесения азотных удобрений (160 кг N/га) наблюдал Прескотт с соавторами (Prescott, et al., 1992). Другими исследователями (Переверзев и др., 1970) не было обнаружено никакого последствия внесенной мочевины уже на следующий год: содержание минеральных форм азота в вариантах с внесением удобрения и в контроле было примерно одинаковым. Образовавшийся в результате гидролиза мочевины аммонийный азот нитрифицировался в течение трех месяцев после ее внесения.

Доля аммонийного азота в подстилке возрастает от 0,5 % до 1,7 % от общего содержания азота по мере увеличения доз внесения мочевины.

Влияние внесения мочевины на качество органического вещества оценивалось с помощью методов термического анализа (ДСК и ТГ). Ниже представлены данные для ОБ лесной подстилки (рис. 1). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) – метод термического анализа, который позволяет регистрировать тепловой поток, характеризующий происходящие в веществе изменения в результате нагрева.



**Рисунок 1 - ДТГ (А) и ДСК (Б) (скорость нагрева 10 °С·мин<sup>-1</sup>) образцов подстилки контрольной и экспериментальных пробных площадей: 1 – контроль, 2 – ПП 2 (12 кг N/га), 3 – ПП 3 (60 кг N/га)**

Эндотермические реакции связаны с потерей воды образцом, а экзотермические – с термической деструкцией органического вещества (разложение, окисление) (Dell'Abate et al., 2003). Площадь эндотермических пиков образцов подстилки экспериментальных ПП 2 и 3 значительно больше контрольной величины, что свидетельствует об их большей гигроскопичности вследствие более высокого содержания ОВ (табл. 3). В температурном интервале экзотермы слабо выделяются 2 пика, отстоящие друг от друга на 35-37°C. Эти температурные максимумы свидетельствуют о разложении двух фракций ОВ. Преимущественно, это углеводные компоненты ОВ (олиго- и полисахариды), т.к. температуры максимумов экзотерм невысокие. Ароматические компоненты присутствуют в образце в меньшем количестве, гетерогенны по своему составу и не характеризуются наличием пика на ДСК-кривой в высокотемпературной области. Так, согласно

приводимым в литературе данным (Manning et al., 2005), до 80 % массы образца α-целлюлозы разлагается уже при 350 °С, а для термодеструкции лигнина характерен более широкий температурный интервал экзотермы с максимумом при 450 °С. Суммарный экзoeffект также больше для образцов лесной подстилки ПП 2 и 3 по сравнению с контролем. Это связано с большим выделением тепла в результате деструкции большего количества ОВ. Термогравиметрическая кривая отражает потерю массы образцом в результате нагрева. По ДТГ-кривым, отражающим скорость потери массы исследуемыми образцами при нагреве, также выделяются две стадии термодеструкции ОВ.

Первая стадия характеризуется хорошо выраженным пиком на ДТГ- кривых с максимумом при 275-285°C. Образцы подстилки экспериментальных ПП имеют более низкую температуру указанного пика и более высокую максимальную скорость разложения ОВ – 2,83 и 2,98 %·мин<sup>-1</sup>, соответственно, по сравнению с контролем (1,94 %·мин<sup>-1</sup>). Это свидетельствует о том, что в составе ОВ преобладают наименее термически устойчивые компоненты, которые быстро разлагаются при нагреве. К моменту достижения максимальной скорости разложения ОВ (285°C; 1,94 %·мин<sup>-1</sup>) в образце подстилки контрольной ПП потеря массы составила 29 % ОВ, а в образцах ПП 2 и 3 при этой же температуре – уже 33-34 %. Последнее является подтверждением большего содержания в подстилке компонентов ОВ, разлагающихся в низкотемпературном интервале, что, вероятно, обусловлено количеством и качеством поступающего растительного опада. Однако в целом по потере массы, соответствующей I стадии, все образцы сопоставимы между собой (табл. 4). Вторая стадия характеризуется слабо выраженным широким пиком и, судя по температуре, как и в случае с ДСК, включает термическую деструкцию в основном углеводных компонентов и в меньшей степени ароматических соединений. Потеря массы образцами на II стадии составляет 48-49 % ОВ.

В пределах II стадии термодеструкции мы выделили 2 интервала (318(324)-380 °С и 380-600 °С) потери массы с целью максимального разграничения разложения (окисления) углеводных и ароматических компонентов ОВ. По данным, приводимым в литературе (De la Rosa et al., 2008 и др.), деструкция термолабильных углеводных компонентов ОВ заканчивается при 380(400 °С), далее происходит окисление термостабильной органики (ароматических соединений). Так, оказалось, что еще 24-26 % ОВ разлагается в интервале 318(324)-380 °С и только 22-24 % после 380 °С. В целом, на компоненты, разлагающиеся в интервале 210-380 °С, приходится 76-78 % массы ОВ лесной подстилки.

Таблица 3 - Показатели ДСК лесной подстилки

Эндо-пик, °С	Общий эндоэффект, Дж·г <sup>-1</sup>	Температура 1-го экзопика, °С	Температура 2-го экзопика, °С	Общий экзоэффект, кДж·г <sup>-1</sup>
87	-85,8	ПП 1 (контроль) 341	376	5,24
88	-130,2	ПП 2 (12 кг N/га) 336	373	7,06
88	-127,3	ПП 3 (60 кг N/га) плечо при 340	377	6,92

Таблица 4 - Термодеструкция органического вещества лесной подстилки

Общая потеря массы, %	Потеря массы ОВ, %	I стадия		II стадия	
		t, °С <sup>(1)</sup>	потеря массы, % <sup>(2)</sup>	t, °С <sup>(1)</sup>	потеря массы, % <sup>(2)</sup>
32,5	28,6	ПП 1 (контроль)			
		$\frac{210-324}{285}$	$\frac{15,0}{52}$	$\frac{324-600}{\text{плечо}340}$	$\frac{13,6}{48}$
42,8	37,6	ПП 2 (12 кг N/га)			
		$\frac{210-318}{275}$	$\frac{19,7}{52}$	$\frac{318-600}{334}$	$\frac{17,9}{48}$
44,1	39,3	ПП 3 (60 кг N/га)			
		$\frac{210-318}{277}$	$\frac{20,2}{51}$	$\frac{318-600}{337}$	$\frac{19,1}{49}$

Примечание: <sup>1</sup> – в числителе – температурный интервал убыли массы, в знаменателе – температура пика ДТГ. <sup>2</sup> – в числителе – потеря массы образцом при нагреве в % от исходной навески; в знаменателе – потеря массы образцом в данном интервале температуры в % от потери массы ОВ.

Для проведения расчета кинетических характеристик термического разложения ОВ ( $E_a$  и  $E'$ ) экспериментальные ТГ- и ДТГ-кривые трансформировались в функции  $\alpha = F(t)$  и  $d\alpha/dT = f(t)$ .

Линейные анаморфозы фрагментов ТГ-кривых, рассчитанные по уравнению (1) для образцов лесной подстилки контрольной и экспериментальных ПП ( $R^2$  изменяется от 0,994 до 0,999) указывают на протекание термического разложения ОВ в две стадии с разными энергиями активации (рис. 2).

Применение изоконверсионного метода оценки энергии активации  $E'$  процесса термодеструкции ОВ (уравнение (2)) показало, что и этот метод позволяет установить отличия термических свойств подстилки (рис. 2Б; величина  $R^2$  линейных зависимостей, рассчитанных по уравнению (2) изменялась от 0,927 до 0,999).

Расчеты кажущейся энергии активации по разным методам четко указывают на существование сходства и различия термических свойств ОВ подстилки контрольной и экспериментальных ПП. Сходство заключается в том, что разложение ОВ в одинаковых неизотермических условиях происходило в две стадии. Существенные различия отмечаются между величинами энергии активации для первой стадии термодеструкции ОВ подстилки контрольной и экспериментальных ПП (рис. 2), что указывает на неодинаковую степень биотрансформации растительных остатков.

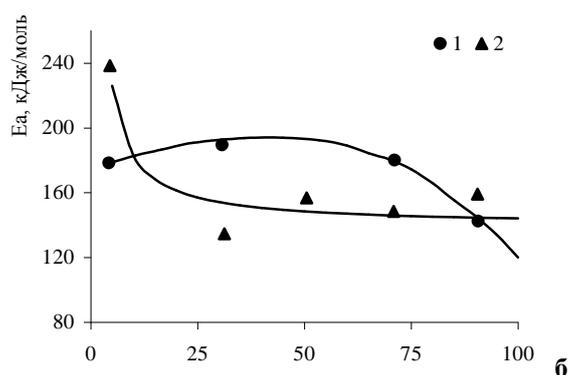
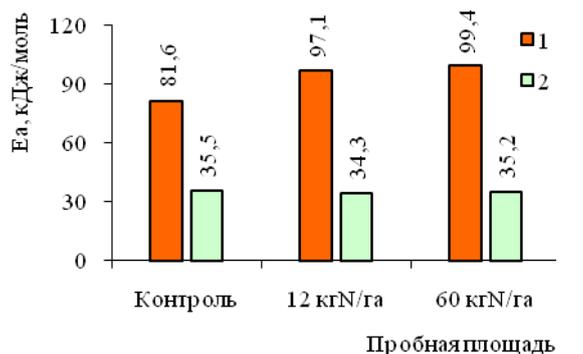


Рисунок 2 - Энергия активации термического разложения ОВ лесной подстилки, рассчитанная по уравнению (1) – А и (2) – Б. I, II – стадии термодеструкции ОВ. Примечание: Температурный интервал первой стадии – (218-240) ÷ (282-294) °С, второй – (289-305) ÷ (553-560) °С

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение мочевины в течение трех лет способствовало аккумуляции ОБ, общего и аммонийного азота в лесной подстилке экспериментальных ПП. При этом в составе ОБ лесной подстилки присутствует больше наименее термически устойчивых компонентов по сравнению с контролем.

Первая стадия термического разложения ОБ лесной подстилки экспериментальных ПП характеризуется более высокой энергией активации, чем термодеструкция ОБ подстилки контрольной ПП. Активационный барьер протекания второй стадии термического разложения ОБ близок по величине для всех исследованных образцов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
- ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.
- ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 14 с.
- ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 5 с.
- Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв [Текст] / Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
- Биологическая активность и азотный режим торфяно-болотных почв в условиях Крайнего Севера [Текст] / В.Н. Переверзев [и др.] – Л.: Изд-во Наука, 1970. – 99 с.
- Бузыкин, А.И., Прокушкин, С.Г., Пшеничникова, Л.С. Реакция сосняков на изменение условий азотного питания / А.И. Бузыкин, С.Г. Прокушкин, Л.С. Пшеничникова // Лесоведение. – 1996. – № 3. – С. 3-15.
- Качинский, Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы и методы его изучения. [Текст] / Н.А. Качинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.
- Классификация почв России [Текст] / Л.Л. Шишов [и др.] – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1997. – 236 с.
- Никитишен, В.И. Баланс азота в агроэкосистемах на серых лесных почвах при длительном внесении удобрений / В.И. Никитишен, В.И. Личко // Почвоведение, 2008. – № 4. – С. 481-493.
- Переверзев, В.Н. Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова [Текст] / В.Н. Переверзев. – Л.: Наука, 1987. – 304 с.
- Попова Э.П. Азот в лесных почвах [Текст] / Э.П. Попова. – Новосибирск: Наука, 1983. – 136 с.
- Прокушкин, С.Г. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне центральной Эвенкии [Текст] / С.Г. Прокушкин, А.П. Абаимов, А.С. Прокушкин. – Красноярск: ИЛ СО РАН “ДарМа-печать”, 2008 – 161 с.
- Справочник по климату СССР: Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров [Текст] / Под ред. Е.Г. Роговской. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Вып. 21. – Ч. IV. – 402 с.
- Справочник по климату СССР: Температура воздуха и почвы / под ред. Н.П. Бахтина. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – Вып. 21. – Ч. II. – 504 с.
- Токарева, И.В. Водоэкстрагируемый органический углерод в лиственных биогеоценозах Центральной Эвенкии [Текст]: автореф. дис...канд. биол. наук. – Красноярск, 2005. – 19 с.
- Уэндландт, У. Термические методы анализа [Текст] / У. Уэндландт. – М.: Мир, 1978. – С. 54-70.
- Хазиев, Ф.Х. Активность ферментов азотного обмена и динамика азота в черноземах / Ф.Х. Хазиев, Я.М. Агафарова // Азотный фонд и биохимические свойства почв Башкирии: сб.ст. – Уфа, 1977. – С. 41-69.
- Шугалей, Л.С. Азотный фонд лиственничников северной тайги Средней Сибири / Л.С. Шугалей Л.С., Э.Ф. Ведрова // Известия АН Серия биологическая. – 2004. – № 2. – С. 247-256.
- Binkley, D. Long-term increase of nitrogen from fertilization of Douglas-Fir / D. Binkley, P. Reid // Canadian Journal of Forest Research. – 1985. – Vol. 15. – P. 1723-724.
- De la Rosa, J.M. Direct detection of black carbon in soils by Py-GC/MS, carbon-13 NMR spectroscopy and thermogravimetric techniques / J.M. De la Rosa, H. Knicker, E. López-Capel, D.A.C. Manning, J.A. González.
- Pérez, F.J. González-Vila // Soil Science Society of America Journal. – 2008. – Vol. 72. – P. 258–267.
- Dell’Abate, M.T. Hyphenated techniques of thermal analysis for characterization of soil humic substances / M.T. Dell’Abate, A. Benedetti, P.C. Brookes // Journal of Separation Science. – 2003. – Vol. 26. – P. 433–440.
- King, J.S. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine dynamics in loblolly pine / J.S. King, T.J. Albaugh, H.L. Allen, M. Buford, B.R. Strain, Ph. Dougherty // New Phytologist. – 2002. – Vol. 154. – P. 389-398.
- Manning, D.A.C. Seeing soil carbon: use of thermal analysis in the characterization of soil C reservoirs of differing stability / D.A.C. Manning, E. López-Capel, S. Barker // Mineralogical Magazine. – 2005. – Vol. 69(4). – P. 425–435.
- Prescott C.E., Kishchuk B.E., Weetman G.E. Long-term effects of repeated N fertilization and straw application in a jack pine forest. 3. Nitrogen availability in the forest floor / C.E. Prescott, B.E. Kishchuk, G.E. Weetman // Canadian Journal of Forest Research. – 1995. – Vol. 25. – No. 12. – P. 1991-1996.
- Prescott, C.E. Immobilization and availability of N and P in the forest floors of fertilized Rocky Mountain coniferous forests / C.E. Prescott, J.P. Corbin, D. Parkinson // Plant and soil. – 1992.– Vol. 143. P. – 1-10.
- Teaca, C-A. Effekt of wood waste disposal on dynamics of soil chemistry and wood biopolymers in a forest area situated on Bistrita and Bicaz valley, Neamt county, Romania / C-A. Teaca, R. Bodirlau, L-G. Breaban // EJEAFChe. – 2008. – Vol. 7.– No. 13. – P. 2695-2705.
- Turmanova, S.Ch. Non-isothermal degradation kinetics of filled with rice husk ash polypropylene composites / S.Ch. Turmanova, S.D. Genieva, A.S. Dimitrova, L.T. Vlaev // Express Polymer Letters. – 2008. –

Vol. 2. – No. 2. – P. 133-146.  
Vecchio, S. Explorative kinetic study on the thermal  
degradation of five wood species for application in the

archaeological field / S. Vecchio, G. Luciano, E. Franceschi //  
Annali di Chimica. – 2006. – Vol. 96. – Issue 11-12. – P. 715-725.

---

Поступила в редакцию 18 февраля 2010 г.  
Принята к печати 27 апреля 2011 г.