

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА
ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ, ЭМИССИЮ CO₂ И АЗОТНЫЙ РЕЖИМ
ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ**

Л. Н. Лученок, кандидат сельскохозяйственных наук

С. Г. Баран, аспирант

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

А. С. Тулина, кандидат биологических наук

В. М. Семенов, доктор биологических наук

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

г. Пущино, Россия

Ключевые слова: торфяные почвы, Полесье, эмиссия CO₂, ферментативная активность, дегидрогеназа, сельскохозяйственное использование.

Введение

Около 700 тыс. га осушенных торфяных почв Полесья интенсивно используется в сельском хозяйстве более 40 лет. В первые годы после осушения уделялось большое внимание детальному изучению интенсивности эмиссии диоксида углерода [1] и ферментативной активности [2, 3] торфяных почв, азотному режиму [4, 5] и влиянию на эти процессы способов использования, обработок почвы и др. В последние годы данным вопросам уделяется мало внимания. Кроме того, не ведется оценка динамики этих процессов — как торфяных почв, так и вновь сформированных дегроторфяных; влияния на них обработки почвы, доз и систем удобрений, видового состава возделываемых культур не проводится. Проведены исследования по изучению трансформации химического состава торфяных почв [6], водного режима [7, 8], а также влиянию его на эмиссию CO₂ и CH₄ [9].

Целью исследований является оценка влияния длительности сельскохозяйственного использования на биохимическую активность и связанные с ней эмиссию CO₂ и азотный режим торфяных почв различных стадий трансформации.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили на мелиоративных объектах Белорусского Полесья с различными (40—450 лет) временными лагами осушительной мелиорации, на которых были выбраны по 2—3 реперных точки для оценки эмиссии CO₂ и биохимической активности: канал Бона (Кобринский район Брестской области около н.п. Борисово), предполагаемый срок эксплуатации ~450 лет; польдер Кристиново (в составе польдерной системы «Лопатино», Пинский район Брестской области), предполагаемый срок службы ~250 лет; объект Марьинский (исходное название — Болото Марьино, Любанский район Мин-

ской области около н.п. Коммуна) после осушения ~100 лет; Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗил, Лунинецкий район, Брестская область), срок службы ~45—50 лет. На каждом объекте были подобраны точки с содержанием ОВ > 50, 20—35 и менее 10 %.

В полевых условиях измеряли эмиссию углекислого газа и в почвенных пробах с места отбора газовых проб в лабораторных условиях определяли активность дегидрогеназы (индикатор общей микробиологической активности). На территории ПОСМЗил было отобрано 6 реперных точек с различным содержанием органического вещества (ОВ) и сельскохозяйственным использованием: в заповеднике (естественная растительность), на осадочной площадке и прилегающем поле (многолетние злаковые травы), на пашне под кукурузой в кормовых севооборотах с различным содержанием ОВ. На польдере Кристиново — под ячменем в кормовом севообороте и под многолетними травами. Образцы почвы и газовые пробы отбирали в июле (11.07.12). Повторность двухкратная. Предполагается, что вклад корневого дыхания в общую эмиссию CO₂ торфами и торфяными почвами существенно ниже, чем вклад микробного дыхания, в силу высокого содержания в этих объектах органического вещества. При измерении эмиссии CO₂ в почвах под кукурузой изоляторы устанавливали в междурядьях. В остальных случаях с поверхности почв и торфа удаляли корни вегетирующих растений, очес и опад. Гидротермические условия полевых условий при проведении экспериментов и отборе почвенных проб, а также возделываемая культура и содержание в них ОВ представлены в табл. 1.

Таблица 1 — Гидротермические условия полевых измерений эмиссии CO₂

Объект (длительность сельскохозяйственного использования)		Содержание ОВ, %	T _{возд.} , °C	T _{почвы} , °C	Влажность почвы, вес. %
ПОСМЗил (~40 лет)	заповедник (естественная болотная растительность)	77,0	26	19	26,9
	осадочная площадка (злаковые травы)	80,3	32	25	36,4
	поле около осадочной площадки (злаковые травы)	86,9	31	24	29,6
	под кукурузой в кормовом севообороте (N ₀ P ₀ K ₀)	19,8	34	24	2,2
	под кукурузой в кормовом севообороте (N ₀ P ₀ K ₀)	4,0	26	23	0,5
	под кукурузой в кормовом севообороте (N ₇₅ P ₈₀ + 50 т/га навоза)	4,6	28	25	0,7
Объект Марьинский (~100 лет)	картофель	53,4	30	24	43,1
		93,1	28	20	33,45
Польдер Кристиново (~250 лет)	многолетние злаковые травы (N ₀ P ₀ K ₀)	12,3	29	23	8,3
	под ячменем в кормовом севообороте (NPK)	61,7	29	22	33,0
Канал Бона (~450 лет)	под ячменем в кормовом севообороте (NPK)	75,3	29	21	33,2
	озимое тритикале (NPK)	5,4	31	20	6,8
	многолетние злаковые травы (N ₀ P ₀ K ₀)	21,0	29	21	15,9
		64,1	27	25	43,6

Скорость (интенсивность) эмиссии диоксида углерода с поверхности изучаемых объектов измеряли камерным методом. Концентрацию CO_2 в газовых пробах определяли на хроматографе Кристалл Люкс 4000М.

Содержание ОВ измеряли методом прокаливания (СТБ 2042-2010).

Активность дегидрогеназы изучаемых почв определяли по модифицированному методу Ленарда [10]. Так, 1,5 г воздушно-сухой почвы перемешивали с 10 мг CaCO_3 . Затем добавляли 3 мл H_2O , 1 мл 3 % 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида (ТТХ), 1 мл 1 % глюкозы. Полученную смесь инкубировали 24 часа при 37°C , затем добавляли 5 мл этилового спирта. Далее суспензию фильтровали в мерные колбы объёмом 25 мл, до метки доводили этанолом. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре Proscan MC 122 при 485 нм относительно этанола. Активность выражали в мг 2,3,5-трифенилформаза (ТФФ) на 1,5 г почвы за 24 часа.

Фракционный состав почвенного азота проводили по методу Семененко Н. Н. [11]. Почвенные пробы отбирали 3 декада марта —1 декада апреля.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что связи интенсивности дегидрогеназной активности и эмиссии CO_2 (характеризующих минерализацию) с длительностью сельскохозяйственного использования не установлено (табл. 2). На эмиссию CO_2 в некоторой степени оказывает влияние способ сельскохозяйственного использования. С одной стороны, оно может как интенсифицировать ее, так и, по различным причинам, связанными с технологическими моментами, тормозить этот процесс. Так, при одинаковом содержании ОВ (87—93 %) на объектах после 40 лет использования (ПОСМЗиЛ, травы) и после 100 лет (объект Марьинский, картофель) интенсивность выделения CO_2 была в одних пределах и составила 1360 ± 142 и 1052 ± 426 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час соответственно. Т.е. под травами на «молодом» объекте интенсивность была незначительно выше по сравнению с объектом Марьинский.

При содержании ОВ в пределах 75—80 % и сравнимой влажности почвы (27—36 вес. %) в севообороте под ячменем (польдер Кристиново) эмиссия CO_2 в среднем в 1,3—1,6 раза выше, чем в заповеднике или под бессменной культурой трав. Однако минимальные и максимальные пределы на этих объектах перекрываются только лишь с тенденцией ее увеличения в севообороте.

При содержании ОВ 50—65 % и влажностью 33—44 вес. % эмиссия варьировала от 556 ± 47 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час на объекте со 100-летним использованием в севообороте под картофелем до 1190 ± 104 и 1133 ± 123 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час под травами на объектах 250 и 450 лет сельхозиспользования соответственно.

Таким образом, под пропашными культурами эмиссия CO_2 не возрастает в разы, а находится в одинаковых пределах, как под травами. Возможно, из-за большого количества корневых и пожнивных остатков под последними, процессы минерализации которых

Таблица 2 — Активность дегидрогеназы и связанная с ней эмиссия CO_2 с поверхности торфяных почв различных стадий трансформации и периодов сельскохозяйственного использования

Объект	Культура	Содержание ОВ, %	Эмиссия CO_2 , мг C/m^2 в час (min-max)	Активность дегидрогеназы, мг ТФФ/1,5 г почвы за
ПОСМЗил (~40 лет)	заповедник	77,0	999±66 (933 - 1065)	31,53±7,92
	осадочная площадка (злаковые травы)	80,3	818±19 (799 - 837)	13,02±0,54
	поле около осадочной площадки (злаковые травы)	86,9	1360±142 (1218 - 1502)	16,19±2,94
	кукуруза на зеленую массу	19,8	999±104 (895 - 1103)	27,71±2,80
	под кукурузой в кормовом севообороте ($N_0P_0K_0$)	4,0	321±76 (245 - 397)	2,58±0,26
	под кукурузой в кормовом севообороте ($N_{75}P_{80} + 50$ т/га навоза)	4,6	335±57 (278 - 392)	3,30±0,33
Объект Марь- инский (~100 лет)	картофель	53,4	556±47 (509 - 603)	21,92±2,05
		93,1	1052±426 (626-1478)	27,24±2,35
Польдер Кристиново (~250 лет)	многолетние злаковые травы ($N_0P_0K_0$)	12,3	1561±123 (1438 - 1684)	10,64±1,01
		61,7	1990±104 (1886 - 2094)	-
	под ячменем в кормовом севообороте (NPK)	75,3	1327±360 (967 - 1687)	46,23±3,95
Канал Бона (~ 450 лет)	озимое тритикале (NPK)	5,4	489±28 (461 - 517)	4,15±0,23
	многолетние злаковые травы ($N_0P_0K_0$)	21,0	958±218 (740 - 1176)	20,98±1,42
		64,1	1133±123 (1010 - 1256)	27,92±2,03

выше, чем в севооборотах, интенсивность выделения углекислого газа также выше. Т.е. в агроторфяных почвах после 40 лет сельхозиспользования минерализации подвергается свежее органическое вещество растительных остатков, которых много и под травами, и на слабо осушенных болотах при естественной растительности.

При ОВ 12—21 % (влажность 2—16 вес. %) под кукурузой на 40-летнем объекте эмиссия такая же, как под травами на 450-летнем объекте — 999±104 и 958±218 мг C/m^2 в час. Возможно, потенциальная эмиссия CO_2 в севообороте под кукурузой должна быть выше, но она лимитируется почвенно-гидрологическими условиями, создаваемыми при ее возделывании [12]. На польдере Кристиново (250 лет использования) под многолетними травами эмиссия CO_2 составила 1990±104 мг C/m^2 в час, т.е. в 1,75 раз выше, чем под аналогичными травами на канале Бона. Анализ данных показал, что на польдере Кристиново эмиссия CO_2 выше по сравнению со всеми объектами независимо от содержания в них ОВ.

При снижении содержания ОВ в органогенном слое менее 5 % снижается и эмиссия CO_2 . Лимитирующим фактором в этом случае может быть снижение весовой влажности почвы до 0,5—0,7 %. При более высокой влажности на 450-летнем объекте (канал Бона), где влажность почвы составляет 6,8 %, интенсивность выделения CO_2 была в среднем 1,4—1,5 раза выше по сравнению с 40-летним объектом (ПОСМЗил). Однако эти незначительные варьирования могут быть связаны с видовым разнообразием возделываемых на объектах культур.

В целом закономерности биохимической активности, выраженные через интенсивность дегидрогеназы, согласуются с полученными по эмиссии CO_2 [13]. Оба эти показателя являются индикаторами общей микробиологической активности и отражают интенсивность трансформации ОВ. Эти показатели также зависят от содержания ОВ в органогенном слое. Зависимость эмиссии CO_2 от содержания ОВ имеет умеренную связь ($R^2 = 0,5$):

$$y = -0,4047x^2 + 43,312x + 354,97, \quad (1)$$

где y — эмиссии CO_2 , мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час;

x — содержание ОВ в органогенном слое, %.

Зависимость активности дегидрогеназы от содержания ОВ хорошо аппроксимируется ($R^2 = 0,7$) логарифмической кривой:

$$y = 25,929\text{Ln}(x) - 49,976, \quad (2)$$

где y — активность дегидрогеназы, мг ТФФ/1,5 г почвы за 24 ч;

x — содержание ОВ в органогенном слое, %.

Еще одним показателем общей биохимической активности, а также минерализации ОВ торфяных почв, является содержание в них различных фракций почвенного азота. Проведены аналитические работы по количественному определению фракционного состава почвенного азота торфяных почв различных стадий трансформации и продолжительности их сельскохозяйственного использования. Оценку влияния степени трансформации торфяных почв на содержание различных фракций почвенного азота проводили по следующим показателям: нитратный азот ($N_{\text{N-NO}_3}$), аммонийный азот ($N_{\text{N-NH}_4^+}$), минеральный азот (N_{m}), легкогидролизуемый азот (N_{l}), трудногидролизуемый азот (N_{hl}), негидролизуемый азот (N_{uh}) и валовый азот (N_{g}). Нитратный, аммонийный, минеральный и легкогидролизуемый азоты эффективно отражают степень трансформации торфяных почв и лабильность ОВ.

Установлено, что фракционный состав почвенного азота определяется содержанием ОВ в органогенном слое 0—20 см (рис. 1, табл. 3). Однако для оценки плодородия торфяных почв различных стадий трансформации и длительности сельскохозяйственно-

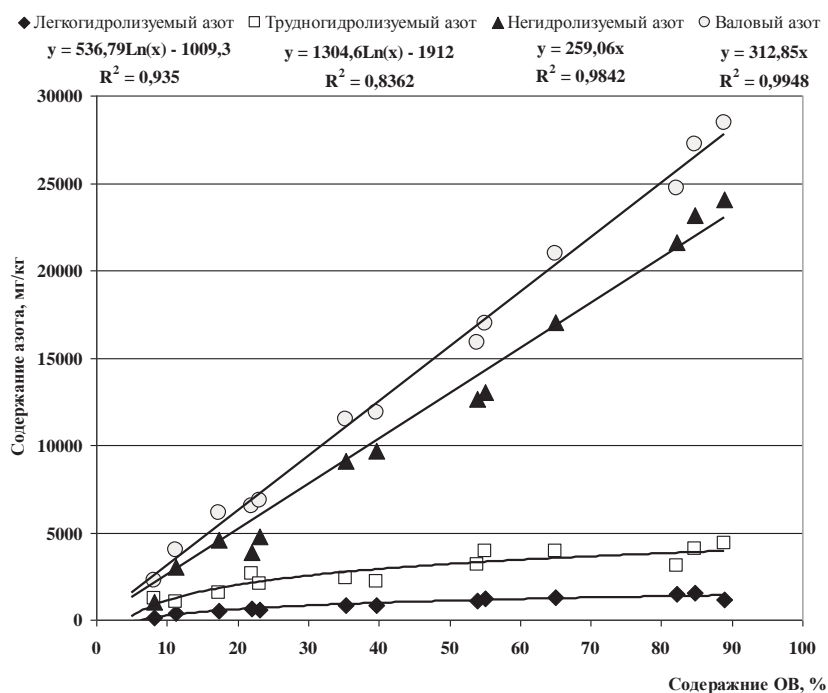


Рисунок 1 — Зависимости содержания легкогидролизующего, трудногидролизующего, негидролизующего и валового азотов от ОВ в слое 0—20 см

Таблица 3 — Зависимости содержания азота различных фракций (мг/кг) от ОВ (%) в антропогенно-преобразованных торфяных почвах

Фракция азота	Зависимость*	R^2
Валовый азот	$N_g = 312,85OB$	0,99
Негидролизующий азот	$N_{nh} = 259,06OB$	0,98
Трудногидролизующий азот	$N_{nl} = 1304,6Ln(OB) - 1912$	0,84
Легкогидролизующий азот	$N_l = 536,79Ln(OB) - 1009,3$	0,93
Минеральный азот	$N_m = 1,01OB$	0,66
Нитратный азот	$N_{N-NO_3^-} = 0,50OB$	0,82
Аммонийный азот	$N_{N-NH_4^+} = 0,61OB$	0,67

го использования необходимо оценивать запасы азота (т/га) в них с учетом всех происходящих с этими почвами изменений (осадка, уплотнение и т.д.).

Установлено, что запасы валового, негидролизующего, нитратного и аммонийного азотов зависят от содержания ОВ в слое 0—20 см, в то время как содержание трудногидролизующего и легкогидролизующего азота находятся в одних пределах вне зависимости

Таблица 4 — Зависимости запасов азота различных фракций (т/га) от ОВ (%) в антропогенно-преобразованных торфяных почвах

Фракция азота	Зависимость	R^2
Валовый азот	$N_g = 0,1123OB + 5,373$	0,5829
Негидролизующий азот	$N_{nh} = 0,1133OB + 3,0443$	0,6902
Минеральный азот	$N_m = 0,0015OB + 0,043$	0,4094
Нитратный азот	$N_{N-NO_3^-} = 0,0011OB + 0,0044$	0,8225
Аммонийный азот	$N_{N-NH_4^+} = 0,0011OB + 0,021$	0,7607

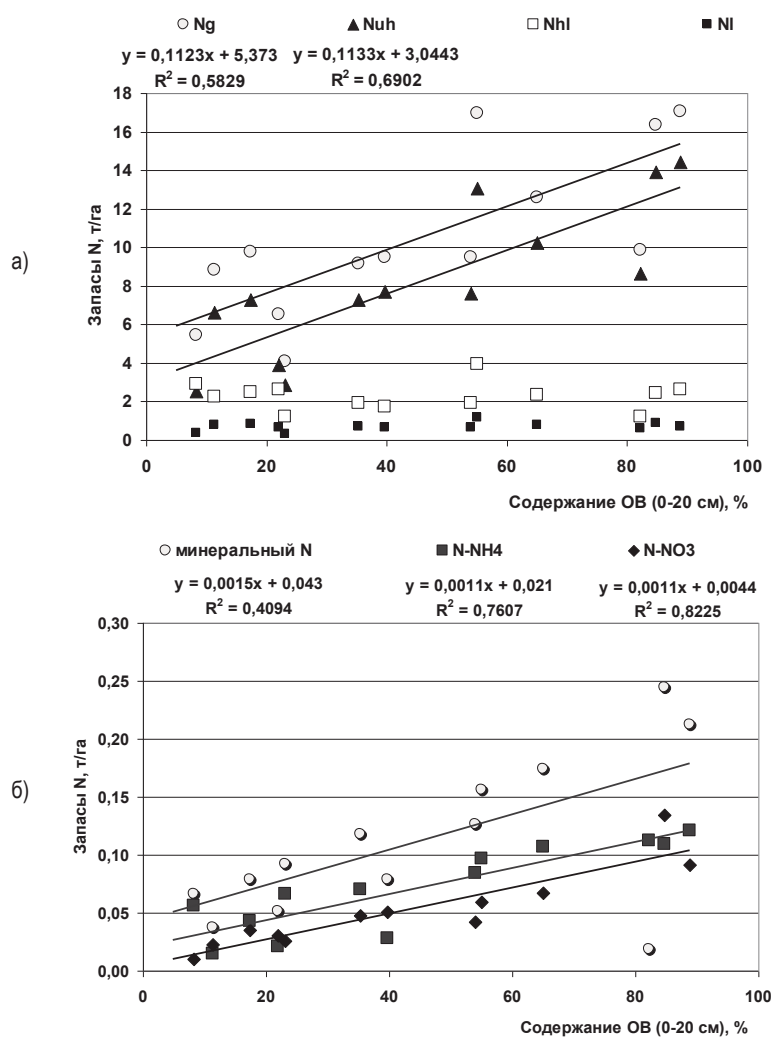


Рисунок 2 — Зависимости запасов почвенного азота (по фракциям) от содержания ОВ

от стадии трансформации торфяной почвы (рис. 2, табл. 4).

Так как почвенные образцы отбирали ранней весной, то во всех пробах независимо от содержания ОВ содержание аммонийного азота несколько выше по сравнению с нитратным (рис. 2б).

Кроме того, отмечено, что запасы (т/га) валового, негидролизуемого, минерального, нитратного и аммонийного азота в торфяных почвах различных стадий трансформации изменяются в пределах 1,5—2 раз, а не в 4—5, как его содержание (мг/кг).

Установлено, что качественный состав пула азота зависит от стадии трансформации торфяных почв. Основная часть N представлена фракцией негидролизуемого (47—

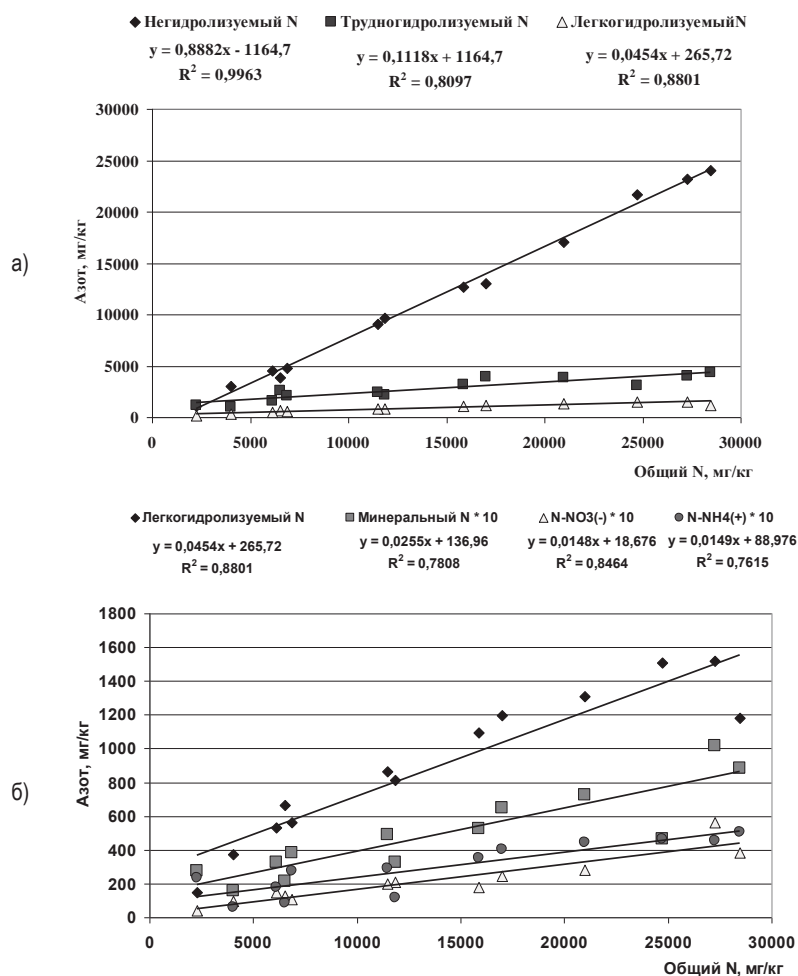


Рисунок 3 — Зависимости содержания фракций азота от валового азота (диапазон содержания Нобц в слое 0-20 см — 2200—28 500 мг/кг)

87 % от валового N), который практически не участвует в биологическом круговороте (рис. 3а). Чем выше содержание ОВ, тем выше доля негидролизующего N. Фракция трудногидролизующего азота (отдаленный резерв в питании растений) была в пределах 12—53 % от валового и в 2,7—3,7 раза выше по сравнению с легкогидролизующим N. Отмечена обратная зависимость: чем выше содержание ОВ, тем ниже доля трудногидролизующего N.

Аналогичная тенденция отмечена с легкогидролизующим и минеральным азотом. Однако минеральный N был менее вариабелен в зависимости от валового азота. Его доля колебалась в пределах 0,19—0,39 %. Четкой зависимости доли аммонийного и нитратного азота в общем пуле почвенного N в зависимости от ОВ не выявлено (рис. 3б).

Выводы

1. В торфяных почвах с содержанием ОВ более 60 % эмиссия CO_2 с поверхности на объектах заповедник (слабо осушен) — ПОСМЗил (40 лет после осушения) — объект Марьинский (100 лет) — польдер Кристиново (250 лет) — канал Бона (450 лет после осушения) составляла 999 ± 66 — 1360 ± 142 — 1052 ± 426 — 1327 ± 360 — 1133 ± 123 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час. Снижение содержания ОВ в почвах до 5—10 % приводит к снижению эмиссии в 2—10 раз: 127 ± 56 — 1561 ± 123 — 489 ± 28 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час в ряду ПОСМЗил — польдер Кристиново — канал Бона. Исключение — на польдере Кристиново, где эмиссия CO_2 не зависела от содержания ОВ и была выше по сравнению с другими объектами. Отмечено, что эмиссия связана с почвенной влажностью, которая может значительно ее лимитировать. При трансформации торфяных почв снижаются вододерживающие свойства почв, что нелинейно влияет на минерализацию. Культуры в меньшей степени влияют на этот показатель. Так, на ПОСМЗил под кукурузой (ОВ ~ 20 %) и на канале Бона под многолетними злаковыми травами (ОВ 21 %) эмиссия CO_2 идентичная — 999 ± 104 и 958 ± 218 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час соответственно. Даже в заповеднике с естественной растительностью (ОВ 77 %) эмиссия CO_2 составила 999 ± 66 мг $\text{C}/\text{м}^2$ в час, т.е. имеет такое же значение, как на почвах, находящихся в сельскохозяйственном использовании. Кроме того, не получено достоверных различий эмиссии CO_2 под травами и кукурузой, картофелем или зерновыми. Полученные зависимости эмиссии CO_2 с поверхности торфяных почв различных стадий трансформации согласуются с активностью дегидрогеназы, что свидетельствует о характеристике двумя параметрами одних и тех же процессов.

2. Запасы почвенного азота в органогенном слое почвы 0—20 см относительно стабильны по стадиям трансформации торфяных почв. По запасам его лабильных форм (минеральный, в т.ч. аммонийный и нитратный), доступных для питания растений, антропогенно-преобразованные торфяные почвы можно разделить на 3 группы: с содержанием ОВ до 35—40 %, 41—60 % и более 61 %. Первая группа характеризуется повышенным количеством доступных для растений форм азота: легкогидролизуемого и минерального. В пределах группы запасы лабильных форм азота изменяются незначительно. Азотный режим почв определяется не длительностью сельскохозяйственного использования торфяных почв (на каждом объекте представлены почвы от агроторфяных до минеральных остаточно-торфяных с низким содержанием ОВ или постторфяных), а степенью их трансформации, которая зависит от первоначальной мощности торфяной залежи.

Библиографический список

1. Трыбіс, В. П. Колькасць CO_2 у глебавым паветры і ураджай раслін / В. П. Трыбіс, У. М. Пятніцкі // Весці АН БССР сер.с.-г. н. — 1977. — №1. — С. 40—42.
2. Луинович, И.С. и др. Физико-химические свойства торфяно-болотных и заболоченных почв БССР и их изменения под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного освоения // Основные результаты научно-исследовательской работы Института мелиорации за 1956 г. — Минск. — 1957.

3. Щербакова, Т.А. Биологическая активность маломощных торфяных почв и ее изменение под влиянием мелиорации и освоения / Т.А. Щербакова [и др.] // Проблемы Полесья. — Минск, 1975. — Вып. 4. — С.228—247.
4. Белов, Г. Д. Что надо знать об обработке торфяных почв / Г. Д. Белов [и др.] / Мн: Ураджай, 1978 — 56 с.
5. Лупинович, И. С. Характеристика торфяно-болотных и заболоченных почв Белорусской ССР / И. С. Лупинович [и др.] // Некоторые результаты научно-исследовательской работы института за 1955 г. — Мн., 1956. — С. 30—45.
6. Семененко, Н. Н. Влияние осушения и сельскохозяйственного использования на трансформацию химического состава торфяных почв // Мелиорация, 2009. — № 2(62). — С. 147—152.
7. Лихацевич, А.П. Изменение свойств маломощной торфяной почвы в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования / А.П. Лихацевич, Н.М. Авраменко, В.В. Ткач // Вести Академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. — 2011. — №2. — С. 60—65.
8. Русак, Т. И. Влажность устойчивого завядания на старопахотных торфяных почвах Полесья / Т.И. Русак, Э. Н. Шкутов // Мелиорация. — 2008. — № 2 (60). — С. 154—162.
9. Couwenberg, J. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy / J. Couwenberg [et al] // Hydrobiologia. — 2011, 674/ — P. 67—89.
10. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии.— М.: Наука, 1990. — 178 с.
11. Семененко, Н. Н. Агрохимические методы исследования состава соединений азота, фосфора и калия в торфяных почвах, 2013. — 78 с.
12. Davidson, E. A. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest / E.A. Davidson, E. Belk, R. D. Boon // Global Change Biology. — 1998. — V. 4. — P. 217—227.
13. Tiwari, M.B. Enzyme activity and carbon dioxide evolution from upland and wetland rice soil under three agricultural practices in hilly regions / M.B. Tiwari, B.K. Tiwari, R.R. Mishra // Biology and Fertility of Soils.— 1989. — V. 7 — № 4. — P. 359—364.

Исследования проведены при поддержке БРФФИ, в рамках выполнения проекта Б12Р-167.

Summary

L. Luchenok, S. Baran, A. Tulina, V. Semenov

INFLUENCE OF DURATION OF AGRICULTURAL USE ON ENZYMATIC ACTIVITY, EMISSION OF CO₂ AND NITRIC MODE OF PEAT SOILS OF POLESYE

The investigation results showed a peat soil complex formation of different transformation degrees: agropeat and degropeat at every drained peat regardless of the agricultural use period (up to 450 years) with different organic matter content. The nitrogen status of peat soils is determined only by the degree of their transformation (agropeat soils amounts to 10-17 thousand kg per ha, and in degropeat soil 5.5-6.5 thousand kg per ha) and the portion of available for plants nitrogen forms increases (easy-hydrolyzable from 4-6% to 8-10% and mineral nitrogen – from 0,2-0,3% to 0,5-0,6% relative to the total N). Carbon dioxide emission from the surface of peat soil with more than 60% organic matter content was in the range of 999 ± 66 – 1360 ± 142 mg C/m² per hour either at undrained or involved in agricultural use areas. Organic matter content reducing in soils up to 5-10% leads to emission decreasing by 2-10 times: 127 ± 56 – 1561 ± 123 C/m² per hour.

Поступила 09.04.14