

УДК 631.433.3: 631.811.92

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОДУЦИРОВАНИЯ CO₂ В ТОРФАХ НЕОСУШЕННОГО И ОСУШЕННОГО МЕЗООЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА

Е. Н. ИККОНЕН

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Выполнена сравнительная оценка интенсивности продуцирования углекислого газа в торфах неосушенного и осушенного (период осушения 20 лет) участков мезоолиготрофного болота района южной Карелии. Для обоих участков определено пространственное распределение интенсивности продуцирования газа по профилю исследуемых почв до глубины 50 см. Работа выполнена в лабораторных условиях методом инкубирования образцов торфа в контролируемых условиях температуры и влажности почвы. Максимальное продуцирование углекислого газа отмечено на глубине 0–10 см, общая стабилизация процесса происходит на 15-ти см, и далее с глубиной интенсивность меняется незначительно. Показано влияние температуры, влажности и степени разложения торфа на процесс продуцирования CO₂ в торфяной почве.

Ключевые слова: торф, продуцирование CO₂, осушение болот, температура, влажность торфа.

E. N. Ikkonen. THE INTENSIVITY OF CO₂ PRODUCTION IN UNDISTURBED AND DRAINED PEAT OF A MESOOLIGOTROPHIC MIRE

We made a comparative study of the intensity of carbon dioxide production by *Sphagnum* peats of an undisturbed and a drained (20 years since drainage) sites of a mesooligotrophic mire in southern Karelia. The spatial distribution of the intensity of gas production at different depths down to 50 cm was determined in both sites. The study was done under laboratory conditions by incubating peat samples under controlled temperature and soil moisture. Maximal carbon dioxide production was detected at a depth of 0–10 cm. The process generally stabilized at the depth of 15 cm, without further significant changes in the intensity with depth. It is shown that the temperature, moisture and degree of peat decomposition influence the process of CO₂ production in peat soils.

Key words: peat, CO₂ production, drainage, temperature, peat moisture.

Введение

Эмиссия углекислого газа обусловлена несколькими процессами, протекающими в почве. К основным относят процессы газопереноса и генерирования газа. Генерирование CO₂ в почве происходит при дыхании корней растений и продуцировании газа в результате жизнедеятельности почвенных микроорга-

низмов. Интенсивность процесса продуцирования CO₂ в почве зависит, в первую очередь, от разнообразия почвенных микроорганизмов, от их количественного и качественного состава.

При освоении торфяников эмиссия CO₂ из почвы увеличивается, что приводит к потерям углерода болотной экосистемой [Silvola, 1986; Саковец и др., 2000]. Ранее нами было

определено, что осушение в течение 10 лет безлесного мезоолиготрофного болотного участка района южной Карелии повысило интенсивность валового дыхания болотной экосистемы и эмиссию углекислого газа из торфяной залежи [Икконен и др., 2001]. На данный момент остается невыясненным вопрос, вызвано ли усиление эмиссии углекислого газа из почвы при осушении мезоолиготрофного болота повышением продуцирования CO₂ за счет развития микробного компонента или оно связано с усилением объемов корневого дыхания при повышении продуктивности фитоценозов осушенного болота. Для ответа на поставленный вопрос было проведено исследование, целью которого являлась сравнительная оценка интенсивности продуцирования углекислого газа почвенными микроорганизмами в торфах неосушенного и осушенного участков мезоолиготрофного болота. В задачи работы входило исследование влияния температуры, влажности и степени разложения торфа на продуцирование CO₂ в торфяных почвах.

Объекты

Отбор образцов выполняли на неосушенном и осушенном участках открытого мезоолиготрофного кустарничково-пушицево-сфагнового болота района стационара «Киндасово» в южной Карелии (61°50' с. ш.).

В микрорельефе исследуемого мезоолиготрофного болотного участка кочки занимают 15 % площади, равнинные участки – 85 %. В травяно-кустарничковом ярусе повышенный доминируют *Andromeda polifolia* L., *Eriophorum vaginatum* L. На равнинных пространствах преобладают *A. polifolia* L., *Carex pauciflora* L., *E. vaginatum* L. В меньшем обилии присутствуют *Betula nana* L., *C. rostrata* L., *Menyanthes trifoliata* L. Сплошной моховой покров на повышениях образует *Sphagnum balticum* L. с небольшой примесью *S. magellanicum* L., *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., на равнинных местах – *S. balticum* L. с примесью *S. magellanicum* L., *S. papillosum* L. В 1983 г. часть изучаемого болотного участка была осушена каналами глубиной 1 м с межканальным расстоянием 40 м. Мощность торфяной залежи неосушенной части болотного участка составляет 2,2 м. Торфяная залежь подстилается ленточными глинами. Мощность торфяной залежи осушенного участка – 1,60 м, подстилающая порода – суглинок. Тип торфов, степень его разложения и плотность представлены в таблице.

Тип, степень разложения и плотность торфа

Глубина залега-ния, см	Тип торфа	Степень разложе-ния торфа, %	Плотность торфа, г·см ⁻³
А. Неосушенный участок болота			
0–10	Сфагновый, мочажинный, верховой	0–5	0,02
10–20	Сфагновый, мочажинный, верховой	5–10	0,04
20–40	Сфагновый, мочажинный, верховой	10–15	0,04
40–50	Сфагновый, переходный	15–20	0,05
Б. Осушенный участок болота			
0–10	Сфагновый, мочажинный, верховой	10	0,04
10–40	Сфагновый, мочажинный, верховой	10–15	0,05
40–50	Сфагновый, переходный	15–20	0,05

Методы

На неосушенном и осушенном участках болота специально разработанным пробоотборником вырезали по два торфяных монолита (D = 20 см, h = 50 см), не содержащих корневых систем растений. Монолиты транспортировали в лабораторию, где их разрезали на пятисантиметровые пласты и до начала эксперимента хранили при температуре +2 °С. В начале эксперимента из каждого пласта торфа вырезали, стараясь не нарушать почвенной структуры, 6–7 цилиндрических образцов объемом около 100 см³. Каждый образец был помещен в стеклянную цилиндрическую емкость так, чтобы только верхняя плоскость торфяного цилиндра имела прямой контакт с окружающей атмосферой. Для определения влияния влажности торфа на интенсивность продуцирования углекислого газа часть образцов каждого слоя была искусственно увлажнена дистиллированной водой. В течение всего эксперимента образцы торфа каждого слоя инкубировали при постоянной температуре из диапазона +2 ... +25 °С. Измерение интенсивности продуцирования газа проводили начиная с 3-го дня инкубации. Образец почвы в стеклянной емкости помещали в металлическую камеру, соединенную системой трубок с газоанализатором на CO₂ (DX6000, RMT Ltd, Россия). Камеру герметично закрывали крышкой со встроенным в нее вентилятором, необходимым для установки равномерной концентрации углекислого газа во всем объеме системы и быстрой подачи продуцируемого газа к измерительному устройству газоанализатора. Объем воздушного пространства в замкнутой системе «камера – соединительные трубки – газоанализатор» строго фиксировали. После помещения почвенного образца в камеру для измерения и полной герметизации

системы одну минуту выделяли на выравнивание содержания CO_2 во всем воздушном объеме системы. Далее регистрировали изменение концентрации газа в течение трех минут с частотой два измерения в секунду. Интенсивность потока газа определяли по скорости увеличения концентрации CO_2 в замкнутом воздушном пространстве известного объема. Для каждого образца почвы измерения продуцирования в нем CO_2 выполняли в трехкратной повторности.

Для определения абсолютно сухого веса и весовой влажности использованные в эксперименте образцы торфа высушивали при температуре 104°C .

Статистическая обработка результатов эксперимента была выполнена в пакете STATGRAPHICS Plus.

Результаты и обсуждение

Максимальные скорости продуцирования углекислого газа отмечены в верхних (0–10 см) слоях торфяной залежи (рис. 1) и достигали $1,58 \pm 0,26$ и $0,97 \pm 0,17$ мг $\text{CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ соответственно на неосушенном и осушенном участках болота. В ряде работ [Hogg, 1993; Moore, Dalva, 1993] также отмечается, что в слоях торфа, близких к поверхности, наблюдается наибольшее продуцирование CO_2 , с глубиной же интенсивность процесса снижается. Отбор образцов торфа был выполнен в осенний период, когда в почву поступает свежий растительный опад. Осенью в активности микроорганизмов происходит подъем, объяснимый попаданием в почву большого количества легкогидролизуемых органических соединений опада, что и определяет максимальную интенсивность продуцирования углекислого газа в верхних слоях торфяной залежи.

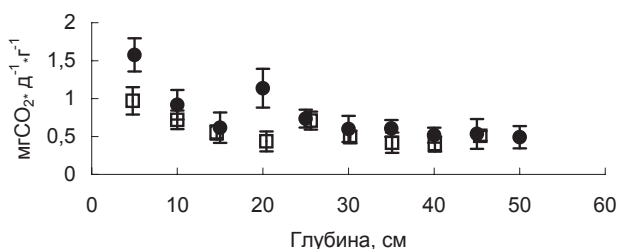


Рис. 1. Продуцирование CO_2 по глубине торфяной залежи 0–50 см неосушенного (круглые, с заливкой) и осушенного (квадратные, без заливки) участков мезоэлиготрофного болота

На обоих участках исследования на глубине 0–10 см торфяная залежь представлена сфагновым, мочажинным верховым типом торфа,

однако степень разложения и плотность торфов различна (табл.). Ранее было показано, что увеличение степени разложения снижает интенсивность разложения в торфах верхового вида, так как торф меньшей степени разложения содержит больше доступных для микроорганизмов веществ [Инишева, Дементьева, 2000]. Низкая степень разложения поверхностного торфа неосушенного участка обусловила более высокое, по сравнению с торфами осушенного участка, продуцирование углекислого газа в слое 0–10 см (рис. 1). При температуре 15°C повышение степени разложения торфа с 5 до 20 % снизило продуцирование в нем газа от 0,70 до 0,35 мг $\text{CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$.

В результате осушения происходит перераспределение почвенных частиц, обрушение крупных пор, уплотнение торфяной залежи и, как следствие, увеличение твердого вещества в единице объема [Paivanen, 1982]. Плотность торфа глубины 0–10 см осушенного болотного участка в два раза превышает плотность торфа неосушенного участка. Далее с глубиной плотность торфов двух участков различается незначительно (табл.). Из-за существенной разницы в плотности торфов поверхностного слоя будет более корректным сравнивать продуцирование CO_2 для глубины 0–10 см в расчете не на 1 г, а на 1 см^3 . Пересчет показал, что значения интенсивности продуцирования газа в естественных и осушенных торфах слоя 0–10 см, выраженные на единицу объемного веса торфов, статистически не различны ($P > 0,05$) и составляют в среднем по всему диапазону исследованных температур и влажности почвы $0,038$ мг $\text{CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$. Таким образом, в единичном объеме неосушенного торфа меньшей степени разложения и плотности в результате микробиологических процессов продуцируется столько же углекислого газа, сколько и в единичном объеме осушенного торфа более высокой степени разложения и плотности. Если бы в продуцировании газа торфами участвовал только микробиологический комплекс, то можно было бы предположить, что результатом данного соответствия является равенство эмиссии углекислого газа из почвы исследуемых участков. Однако углекислый газ поступает в почву и при дыхании корней растений. Следовательно, показанное ранее [Саковец и др., 2000; Икконен и др., 2001] усиление эмиссии CO_2 при осушении переходного торфяника можно объяснить повышением объемов генерирования газа в почве при корневом дыхании растений. Под влиянием осушения возрастает видовое разнообразие растительности, особенно напочвенного покрова, повышается продуктивность

фитоценозов [Саковец и др., 2000]. В частности, при осушении торфяника растет фитомасса подземной части растений [Германова, Саковец, 2004], следствием чего является большая выработка CO_2 корнями растений на осушенном болоте по сравнению с неосушенным.

Снижение активности CO_2 продуцирования от поверхности торфяной залежи до глубины 15 см более резко выражено в торфах неосушенного болота. Относительно глубины 5 см на глубине 15 см в неосушенных торфах скорость процесса снизилась на 60 %, в то время как в осушенных торфах – на 30 %. Далее с глубиной процесс стабилизировался на уровне $0,58 \pm 0,15$ и $0,47 \pm 0,11$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ для неосушенного и осушенного участков болота соответственно. Различия в интенсивности продуцирования газа на глубине 10–50 см между исследуемыми участками статистически недостоверны ($P > 0,05$). Исключение составили глубины 20 см неосушенного и 25 см осушенного участков, в которых наблюдалось некоторое усиление CO_2 продуцирования. На обоих исследованных торфяниках на глубине 40 см сфагновый, мочажинный верховой тип торфа сменился на сфагновый переходный, но данный переход не отразился на скорости продуцирования в нем углекислого газа. В ряде работ также не выявлены значимые различия в интенсивности CO_2 продуцирования торфами разного типа [Hogg, 1993; Moore, Dalva, 1993].

Температурная зависимость интенсивности продуцирования углекислого газа в торфе близка к линейной (рис. 2). Статистический анализ результатов показал, что в неосушенных торфах температура объясняет 23 % вариаций скорости выработки CO_2 , в осушенных торфах – 29 %. В условиях низких температур (2°C) интенсивность продуцирования газа не различалась статистически достоверно ни по глубине торфяной залежи, ни между исследованными болотными участками и составила $0,23 \pm 0,08$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$. Экстраполяция температурной зависимости CO_2 потоков степенной функцией показала, что при нулевых и ниже температурах процесс продуцирования газа продолжается на уровне $0,16$ – $0,18$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$. В работе N. S. Panikov [1999] также показано, что при промерзании почвы до -16°C микробиологическая активность не подавляется полностью и продолжается процесс продуцирования углекислого газа.

Прогревание почвы до 25°C усиливало продуцирование CO_2 до $2,02 \pm 0,34$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ в слое 0–10 см неосушенного болота, $1,09 \pm 0,22$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ в слое 10–50 см неосушенного болота и $0,89 \pm 0,09$ $\text{мг CO}_2 \cdot \text{д}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ на осушенном

болоте по всей исследованной глубине. Полученные результаты подтверждают выводы ряда авторов о повышении интенсивности продуцирования CO_2 в торфах с ростом температуры [Прозорова, 1988; Hogg, 1993; Moore, Dalva, 1993].

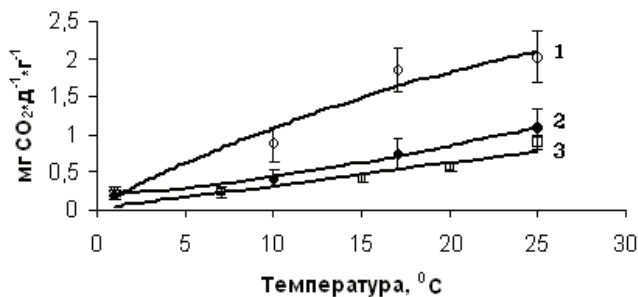


Рис. 2. Температурная зависимость интенсивности продуцирования CO_2 в торфах неосушенного болота на глубине 0–10 см (1), неосушенного болота на глубине 15–50 см (2) и в торфах осушенного мезоолиготрофного болота на глубине 15–50 см (3)

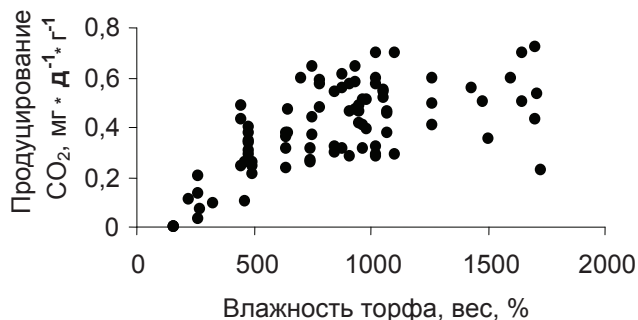


Рис. 3. Продуцирование CO_2 в сфагновом, переходном торфе различного уровня увлажнения. Температура торфа 15°C

Весовая влажность экспериментальных образцов торфа варьировала в пределах 200–1700 %. Коэффициент корреляции влажности торфа и продуцирования в нем углекислого газа равен 0,46, что показывает значимое влияние влажности на интенсивность процесса. Близкие к нулю значения продуцирования газа отмечены в торфе с низким содержанием влаги (300 вес.% и менее) (рис. 3). По мере увлажнения торфа до 600 вес.% продуцирование CO_2 резко повышается и далее с увлажнением торфа до уровня полного насыщения влагой не изменяется.

Выводы

Максимальное продуцирование углекислого газа отмечено в верхнем (0–10 см) слое торфяной залежи болота. На глубине 15 см продуцирование газа снижается в 2 раза и далее с глубиной интенсивность процесса не меняется.

Исключение составляет слой 20 см на осушенном и 25 см на неосушенном участках, где продуцирование усиливается по отношению к общему фону скорости процесса в торфах ниже 15 см.

Продуцирование CO_2 в сфагновом, мочажинном, верховом типе торфа интенсивнее на неосушенном болоте по сравнению с осушенным, что объясняется его низкой степенью разложения. Однако вследствие более низкой плотности поверхностного торфа неосушенного болота в единичном объеме торфов обоих болотных участков продуцируется равное количество углекислого газа. Следовательно, усиление эмиссии углекислого газа из торфяной почвы осушенного мезоолиготрофного болота не обусловлено повышением его продуцирования в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, а связано с ростом объемов корневого дыхания растительного покрова, развивающегося после осушения болота.

Температура почвы является основным фактором, определяющим интенсивность продуцирования CO_2 . С ростом температуры продуцирование углекислого газа усиливается. В сфагновых торфах процесс разложения органического вещества и связанное с ним продуцирование газа продолжается при температурах, близких к нулевым значениям. В торфе низкой влажности (менее 300 вес.%) продуцирование CO_2 минимально. Увлажнение торфа до 600 вес.% активизирует жизнедеятельность микробного комплекса и выработку в нем газа. Дальнейшее повышение влажности почвы слабо влияет на интенсивность процесса.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 01-04-48154. Автор благодарит Н. В. Стойкину за определение ботанического состава

торфов, С. И. Грабовик за описание растительного покрова исследуемых болот.

Литература

Германова Н. И., Саковец В. И. Почвенно-биологические процессы в осушенных лесах Карелии. Петрозаводск, 2004. 188 с.

Икконен Е. Н., Курец В. К., Грабовик С. И., Дроздов С. Н. Интенсивность углекислотного потока в атмосферу из мезоолиготрофного болота южной Карелии // Экология. 2001. № 6. С. 416–419.

Икконен Е. Н., Сидорова В. А. Применение динамических моделей при оценке интенсивности эмиссии углекислого газа из торфяных почв // Экологические функции почв Восточной Фенноскандии. Петрозаводск, 2000. С. 55–63.

Инишева Л. И., Дементьева Т. В. Скорость минерализации органического вещества торфов // Почвоведение. 2000. № 2. С. 196–203.

Лисс О. Л. Экологическая роль болотных экосистем // Экология и почвы. Избранные лекции. Пушчино: Ин-т фундаментальных проблем биологии, 1998. С. 190–201.

Прозорова М. И. Влияние влажности и температуры на скорость минерализации торфа // Экология. 1988. № 2. С. 3–7.

Саковец В. И., Германова Н. И., Матюшкин В. А. Экологические аспекты гидролесомелиорации в Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2000. 154 с.

Hogg E. H. Decay potential of hummock and hollow Sphagnum peats at different depths in a Swedish raised bog // OIKOS. 1993. N 66. P. 269–278.

Moore T. E., Dalva M. The influence of temperature and water table position on methane and carbon dioxide emissions from laboratory columns of peatland soils // Journal of Soil Science. 1993. N 44. P. 651–669.

Paivanen J. Physical properties of peat samples in relation to shrinkage upon drying // SILVA FENNICA. 1982. N 3. P. 247–265.

Panikov N. S. Fluxes of CO_2 and CH_4 in high latitude wetlands: measuring, modelling and predicting response to climate change // Polar Research. 1999. N 2. P. 237–244.

Silvola J. Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in eastern Finland // Annual Botanica Fennici. 1986. N 23. P. 59–67.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Икконен Елена Николаевна

научный сотрудник, к. б. н.

Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

эл. почта: ikkonen@krc.karelia.ru

тел. (8142) 762712

Ikkonen, Elena

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science

11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: ikkonen@krc.karelia.ru

tel.: (8142) 762712