



Зинченко А. В..

ФГБУ ГГО им. А. И. Воейкова СПб

**ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В
АТМОСФЕРУ ИЗ ПОЧВ ТАЕЖНО -
ЛЕСНОЙ ЗОНЫ**



Болота, как и леса, являются экосистемами, оказывающими существенное влияние на глобальный баланс парниковых газов (ПГ) в атмосфере.

Наряду со сходными чертами, лесные и болотные экосистемы имеют следующие различия (с точки зрения их влияния на баланс углеродосодержащих ПГ газов в атмосфере):

- 1) Не нарушаемые внешними воздействиями старовозрастные лесные экосистемы замедляют депонирование углерода. В отличие от них, современные болотные экосистемы, имеющие возраст порядка десяти тысяч лет, продолжают активно депонировать углерод в устойчивом к разложению торфяном слое, секвеструя его из атмосферы. Толщина торфяной залежи может превышать десять метров.
- 2) Лесные экосистемы осуществляют обмен углеродом с атмосферой в основном в составе диоксида углерода (CO_2). Болота, в среднем, являются нетто стоками CO_2 из атмосферы и источниками CH_4 (метана).



Различные задачи при моделировании динамики ОВ почвы

Микробиологический подход.

Цель: описание микробного сообщества почвы
и его роли в функционировании почвенной
системы.

Почвоведческий подход.

Цель: прогноз изменений почвенной системы.

Глобально-климатический подход.

Цель: инвентаризация эмиссии парниковых
газов (ПГ)

т. е. диагностический расчет выбросов CO_2 и
 CH_4 за отчетный год.

Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов



Пример рекомендаций МГЭИК для инвентаризации эмиссии CO₂ из почвы при торфоразработках:

$$CO_2-C_{WW_{\text{торфна месте}}} = \left[\frac{(A_{\text{торфБогат.}} \cdot EF_{CO_2_{\text{торфБогат.}}}) + (A_{\text{торфБедн.}} \cdot EF_{CO_2_{\text{торфБедн.}}})}{1000} \right] + \Delta C_{WW_{\text{торфВ}}}$$

CO₂-C WW_{торфна месте} = выбросы CO₂-C на месте разработки из залежей торфа (все фазы производства), Гг С /год

A_{торфБогат.} = площадь богатых питательными веществами торфяных почв, управляемых для добычи торфа (все фазы производства), га,

EF_{CO₂торфБогат.} = коэффициенты выбросов CO₂ для богатых питательными веществами торфяных почв, тонн С /га x год,



Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов

ВЫБОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЫБРОСОВ

Уровень 1

Внедрение метода уровня 1 требует применения коэффициентов выбросов по умолчанию.

Уровень 2

Страны, применяющие методы уровня 2, разрабатывают конкретные для себя коэффициенты выбросов.

Уровень 3

Предполагается понимание и представление динамики выбросов с учетом влияния местных особенностей, типа торфа и глубины его залегания.



Теоретическая основа решения поставленной задачи:

дискретная сукцессионная концепция,
приводящая к описанию каскада фракций ОВ
почвы, отличающихся разной скоростью
разложения и трансформацией одних фракций
в другие в процессе гумификации.



Уравнения трансформации каскада фракций ОВ Общий случай – многокомпонентная смесь N фракций

$$M = \sum_{i=1}^{i=N} M_i$$

$$\frac{dM_1}{dt} = -K_1 M_1 - H_1 M_1$$

$$\frac{dM_i}{dt} = -K_i M_i - H_i M_i + H_{i-1} M_{i-1}$$

$i = 2, 3, \dots, N - 1$

$$\frac{dM_N}{dt} = -K_N M_N - H_{N-1} M_{N-1}$$

$$K_{i+1} < K_i \quad H_{i+1} < H_i$$



Реализованный частный случай – бинарная смесь, т. е.
 $N=2$

$$\begin{aligned}M_1 &= M_{\text{ЛОВ}}, M_2 = M_{\text{СОВ}}, K_1 = K, & K_2 &= K_{\text{СОВ}} \\M &= M_{\text{ЛОВ}} + M_{\text{СОВ}} \\K_{\text{СОВ}} &\ll K, K_{\text{СОВ}} \approx 0\end{aligned}$$



из анализа решения системы уравнений для бинарной смеси фракций

Смещенная экспонента для плотности углерода в составе ОВ с глубиной в почве:

$$\rho_c(z) = \rho_{cm} + (\rho_{co} - \rho_{cm}) \exp\left(-\frac{z}{z_e}\right)$$

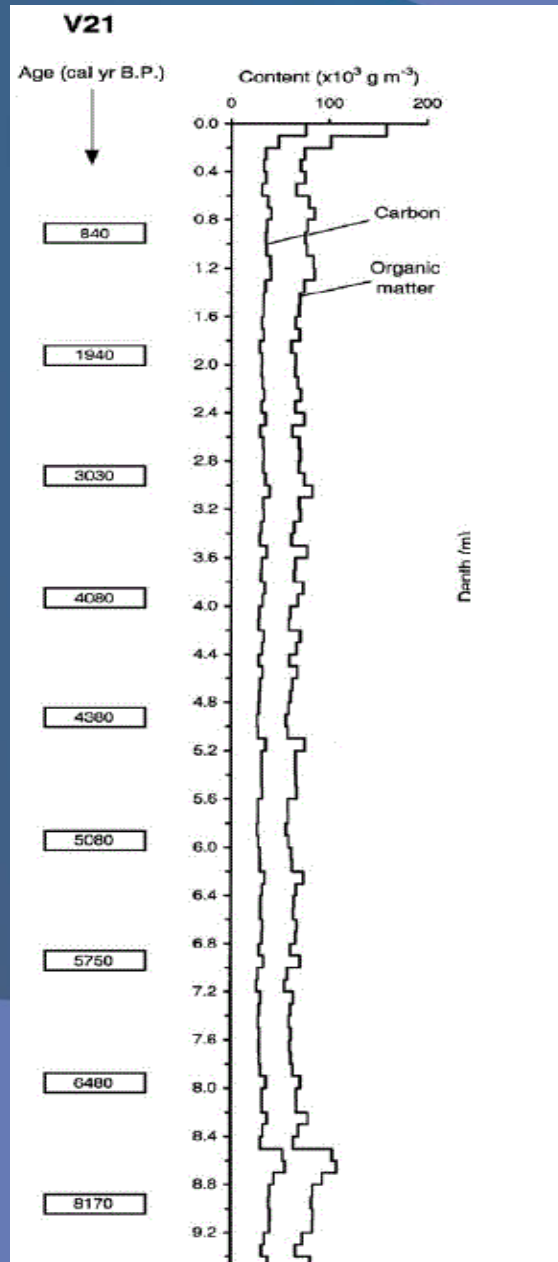
Разделительная функция ЛОВ/СОВ:

$$F_{div}(z) = \frac{\rho_{СЛОВ}}{\rho_c} = \frac{(H + K) \exp\left(-\frac{z}{z_e}\right)}{H + K \exp\left(-\frac{z}{z_e}\right)}$$

$$K \ll H, F_{div}(z) \rightarrow \exp\left(-\frac{z}{z_e}\right)$$

$$\frac{H}{K} = \frac{\rho_{cm}/\rho_{co}}{\left(1 - \frac{\rho_{cm}}{\rho_{co}}\right)}$$

если $\frac{\rho_{cm}}{\rho_{co}} = 0.5$, $K = H$



$$\rho_0 \approx 100 \text{ кг м}^{-3}, \rho_m \approx 50 \text{ кг м}^{-3}, z_m \approx 1 \text{ м},$$

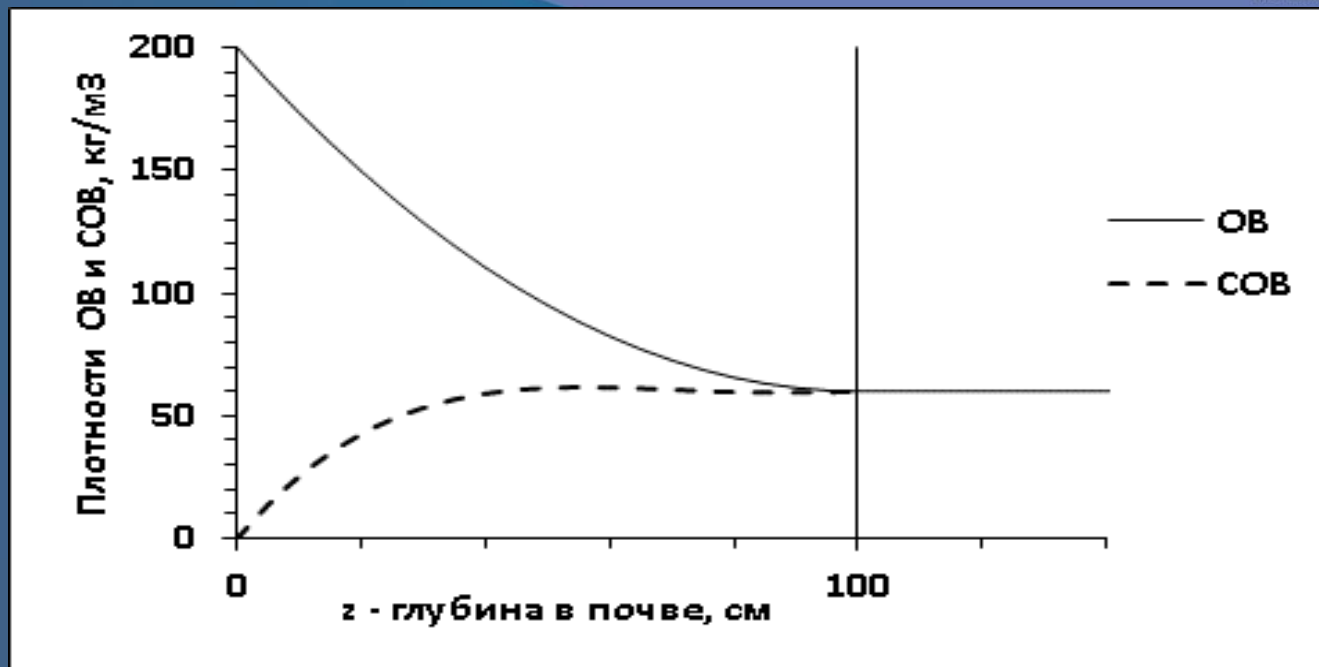


Схема распределения с глубиной в почве общей плотности органических веществ и стабильных органических веществ (в углеродных единицах). $\rho_{СОВ}$ – плотность СОВ, $\rho = \rho_{СОВ} + \rho_{ЛОВ}$ – общая плотность ОВ, $\rho_{ЛОВ}$ – плотность ЛОВ, z_m – глубина верхней границы гумусно-аккумулятивного слоя (при $z = z_m$, $\rho_{ЛОВ} \approx 0$). В данном примере $z_m = 100$ см.

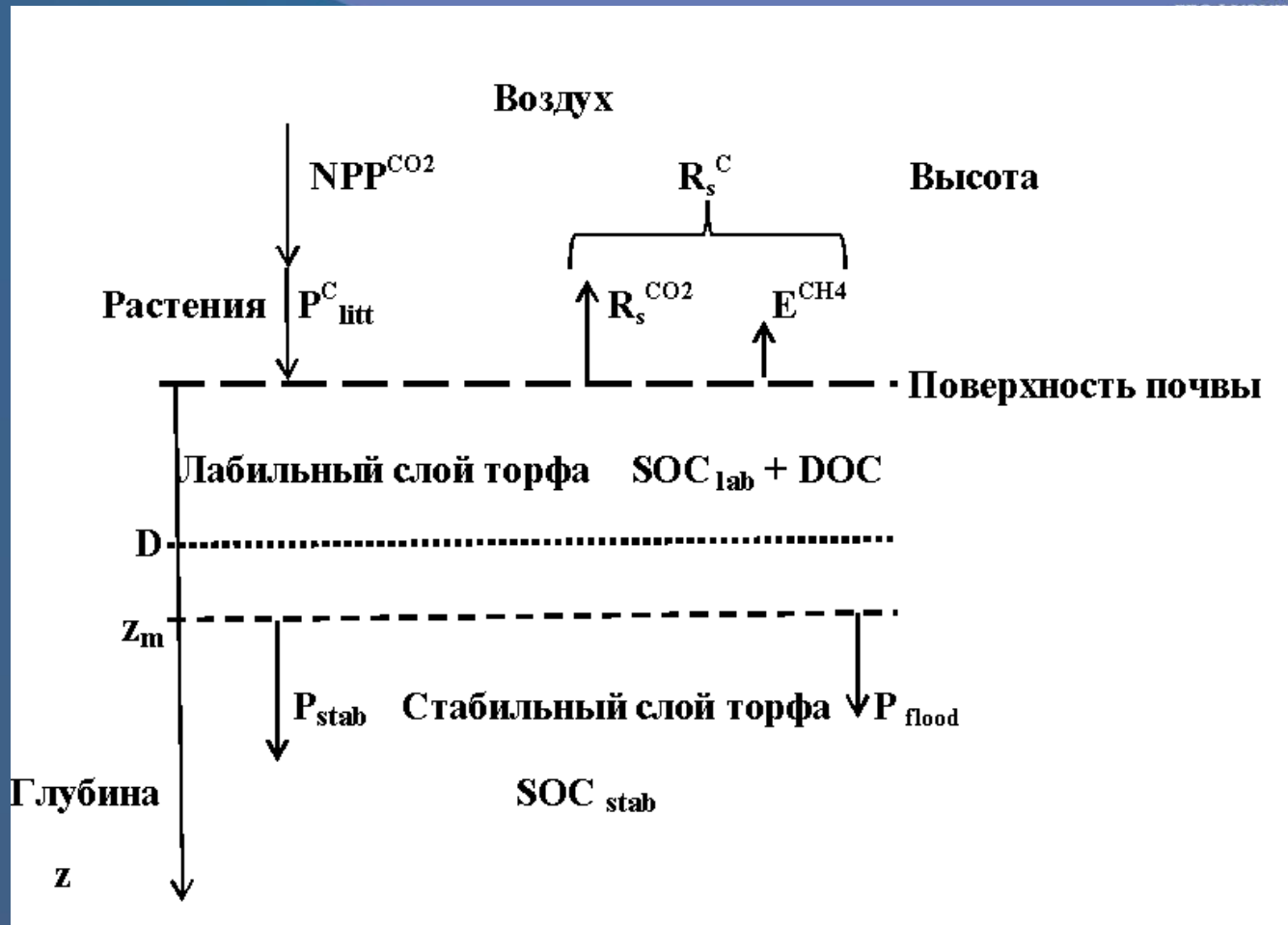


Схема переходов углерода между различными частями экологической системы болота. Знаки потоков определяются выбором направления оси z (“+” в почву, “-“ в атмосферу).



Расчетные формулы

Скорость перехода углерода из ОВ почвы в ПГ (CO_2 и CH_4) в единице объема почвы на глубине z :

$$g_C(z) = K_{10} \rho_C(z) F_{div}(z) f_T(z) f_D(z), [\text{г м}^{-3} \text{сут}^{-1}]$$

$$f_T = Q_{10} \frac{T-10}{10} \text{He}(T - T_{mp})$$

$$f_D = \text{He}(D - z) + \varepsilon \text{He}(z - D), \varepsilon < 1$$



Скорость образования CO_2 :

$$g_{\text{CO}_2}(z) = g_c \text{He}(D - z) \frac{44}{12} + g_c \alpha \text{He}(z - D) \frac{44}{12}$$

$\alpha < 1$ – отношение углерода в CO_2 и в CH_4

Скорость образования CH_4 :

$$g_{\text{CH}_4}(z) = g_c(1 - \alpha) \text{He}(z - D) \frac{16}{12}$$

Суммарные скорости образования ПГ в столбе почвы единичного сечения:

$$G_{\text{CO}_2} = \int_0^{z_m} g_{\text{CO}_2} dz, G_{\text{CH}_4} = \int_0^{z_m} g_{\text{CH}_4} dz, [\text{г м}^{-2} \text{сут}^{-1}]$$



Потоки CO_2 (R) и CH_4 (E) за счет разложения OB на верхней границе почвы:

$$E = G_{\text{CH}_4} - \Delta E, R = G_{\text{CO}_2} + \frac{16}{44} \Delta E$$

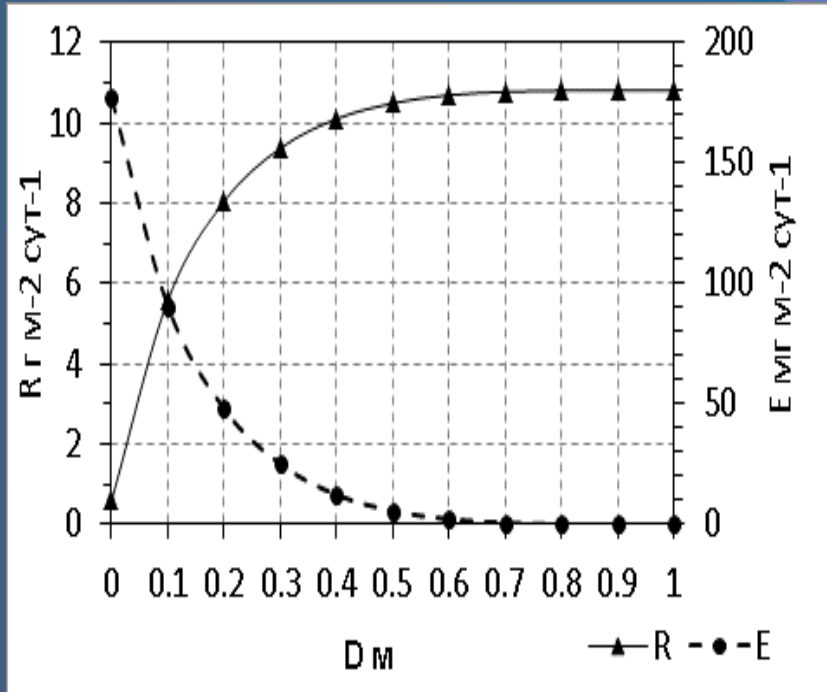
$$\Delta E = G_{\text{CH}_4} K_{\text{OX}}$$

$$NEE^{\text{CO}_2} = GP + R_p + R$$

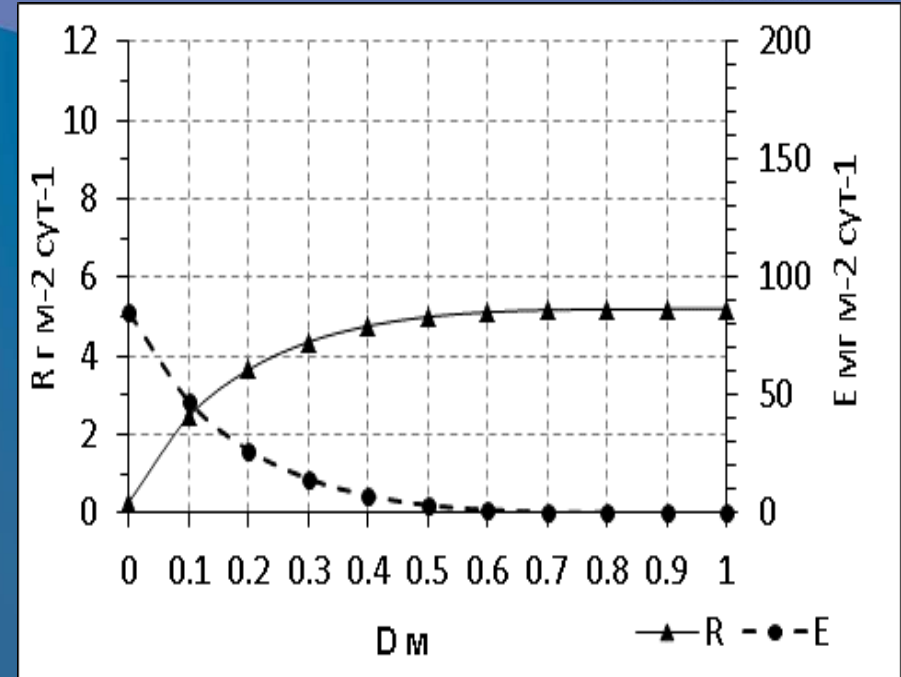
$$NEE^{\text{CO}_2} = -44 \left(\frac{1}{12} Gh^C + \frac{1}{16} E \right)$$

где Gh – суммарная скорость гумификации:

$$Gh^C = \int_0^{z_m} H_{10} \rho_C(z) F_{\text{div}}(z) f_T(z) f_D(z) dz$$



(a)



(b)

Примеры расчетов по модели зависимостей $R(D)$ и $E(D)$ при двух разных профилях температуры почвы. **Рис.а.** – более теплый температурный фон ($T_{10} = 15^\circ\text{C}$), **Рис.б.** – более холодный температурный фон ($T_{10} = 8^\circ\text{C}$). Остальные расчетные параметры одинаковые.



Калибровка, Верификация, Валидация модели

	Калибровка по месту	Верификация	Валидация
Цель	Подбор значений параметров модели	Проверка соответствия расчетов экспериментальным данным	Оценка применимости модели для решения поставленных задач
Средства	Использование данных лабораторных экспериментов по инкубацию образцов почвы	Сравнение с эмпирическими формулами, дающими зависимости $R(D,T)$ $E(D,T)$	Алгоритм использования модели для инвентаризации эмиссии болотами

Верификация

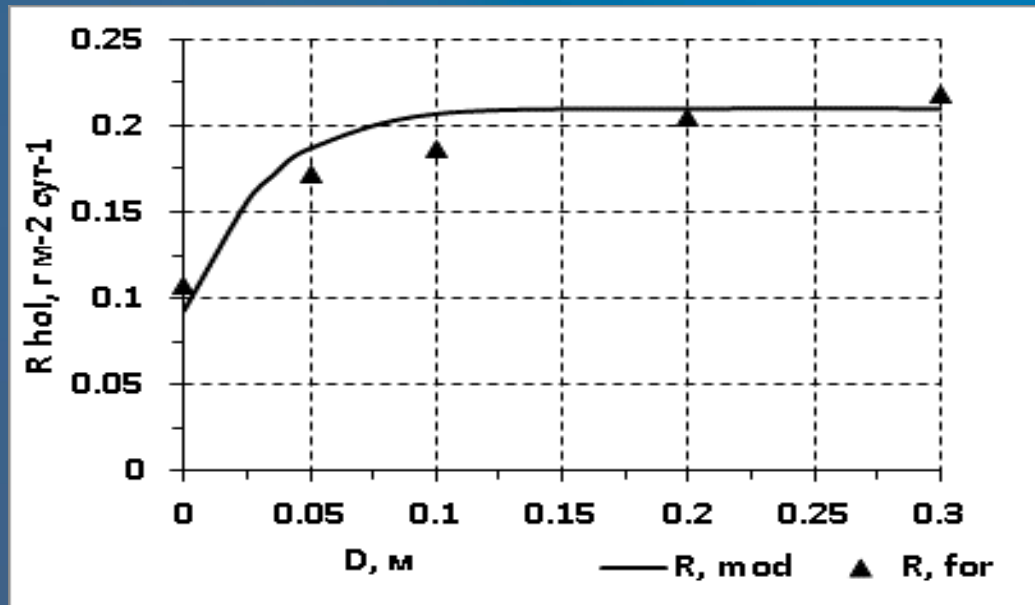


Регион измерений	Используемое далее обозначение региона	Координаты болота	Толщина слоя торфа [м]	Разность высот рельефа болота [м]	Литературный источник
Север Финляндии	F1	69° 08' N 27° 17' E	1	0.3- 0.8	[Aurela et al., 2002]
Север США (Миннесота)	A1	47° 32' N 93° 28' W	12	0.16	[Kim, Verma, 1992] [Shurpali et al., 1993]
Юго-Восток Финляндии	F2	62° 47' N 30° 56' E	1-4	Не указано	[Kettunen et al., 2000]
Канада	A2	Обобщение для территории	Не указано	Не указано	[Lie, 1996]

Верификация



$$R_{hol}(D, T) = R_{hol}(0, 10) \left[1 + \left(\frac{D}{D_2} \right)^a \right] Q^{(0.1T_{10}-1)}$$



Сравнение рассчитанных по модели и по эмпирической формуле) зависимостей $R_{hol}(D, 10)$ для региона F1 .



Алгоритм инвентаризации эмиссии парниковых газов болотными с использованием предложенной модели

- 1) В экспедиционных условиях собираются образцы болотной почвы в виде кернов.
- 2) В лабораторных условиях измеряются вертикальные профили плотности органического углерода в отобранных кернах.
- 3) В лабораторных условиях, путем инкубации, определяются коэффициенты скоростей минерализации и гумификации.
- 4) Расчетным путем определяются потоки метана и диоксида углерода из болотной почвы.

Преимущества перед прямыми измерениями



ВЫВОДЫ

Модель позволяет получить расчетные значения потоков ПГ из болотной почвы, близкие к эмпирическим данным для регионов с разными климатическими условиями. Определение значений ряда параметров модели может быть проведено на основе лабораторных исследований образцов торфа. Сложные и длительные прямые измерения потоков ПГ на болотах могут быть дополнены расчетами по модели с учетом лабораторных исследований.