

Моделирование теплообмена и потоков метана в болотных экосистемах

Богомолов В.Ю., Рязанова А.А, Дюкарев Е.А., Степаненко В.М.

Модель деятельного слоя суши ИВМ РАН- МГУ, TerM

Прогностические уравнения для температуры, жидкой воды, водяного пара и льда

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_T \frac{\partial T}{\partial z} + L_i F_i$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_w \frac{\partial W}{\partial z} + \frac{\partial \gamma}{\partial z} - F_i - R_f - Y_g,$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_v \frac{\partial V}{\partial z},$$

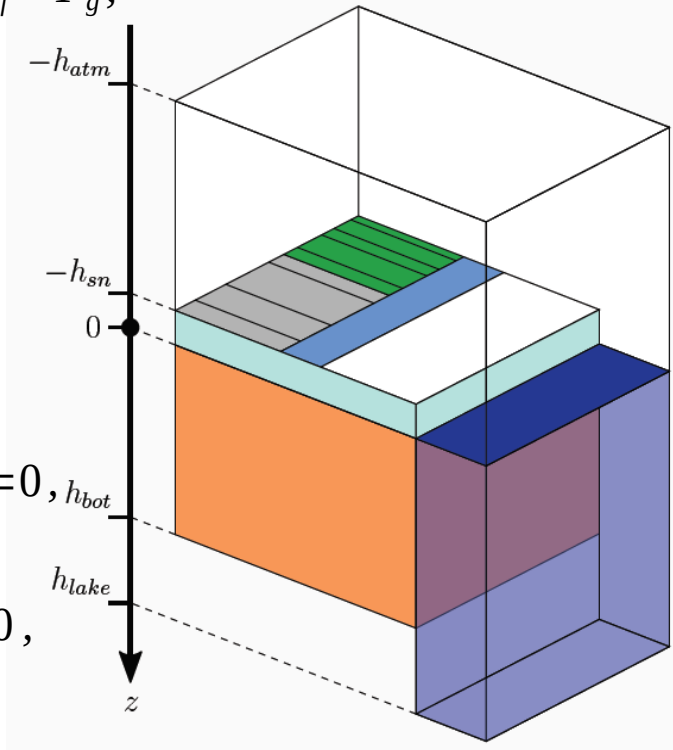
$$\frac{\partial I}{\partial t} = F_f,$$

Граничные условия

$$\lambda_w \frac{\partial W}{\partial z} \Big|_{z=0} = B_w, \lambda_w \frac{\partial W}{\partial z} \Big|_{z=h_{bot}} = 0,$$

$$\lambda_v \frac{\partial V}{\partial z} \Big|_{z=0} = F_v, \lambda_w \frac{\partial V}{\partial z} \Big|_{z=h_{bot}} = 0,$$

$$T \Big|_{z=0} = T_s, \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=h_{bot}} = 0,$$

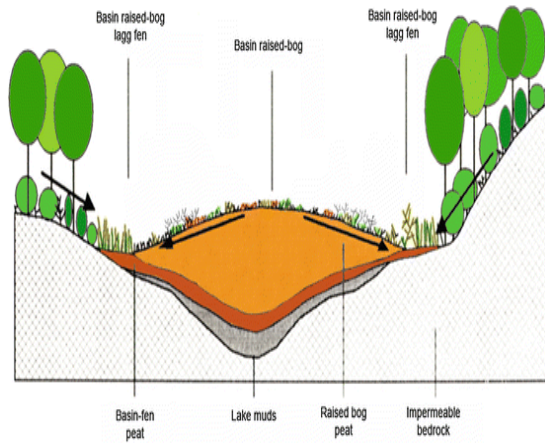


- Thickness:
- soil
 - snow cover
 - reservoirs
 - Atmosphere

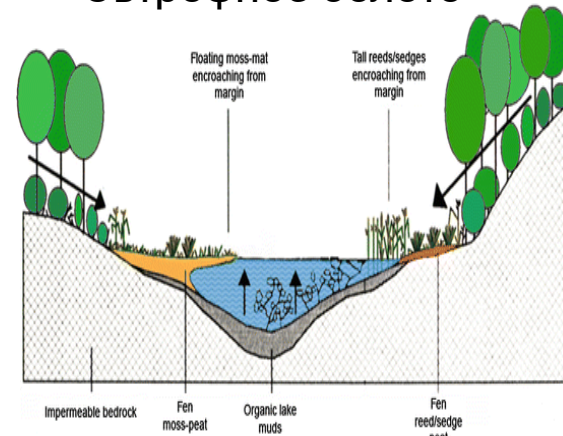
- Surface:
- vegetation cover
 - open soil
 - intercepted moisture
 - snow
 - reservoirs

Одна почвенная колонка под всеми типами

Олиготрофное болото



Эвтрофное болото



Dyukarev, Geogr. and Nat. Res. 2013 No.1.

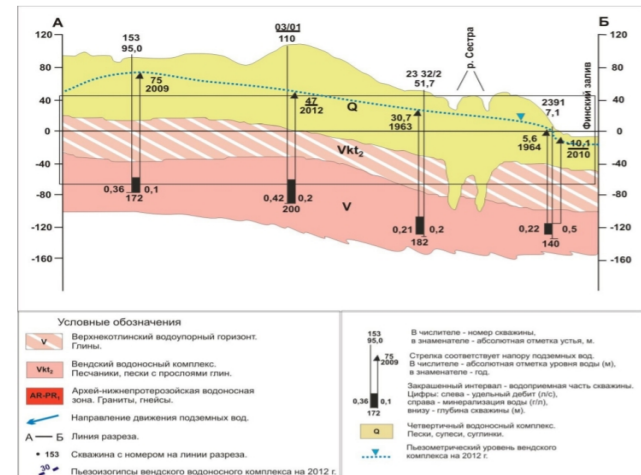
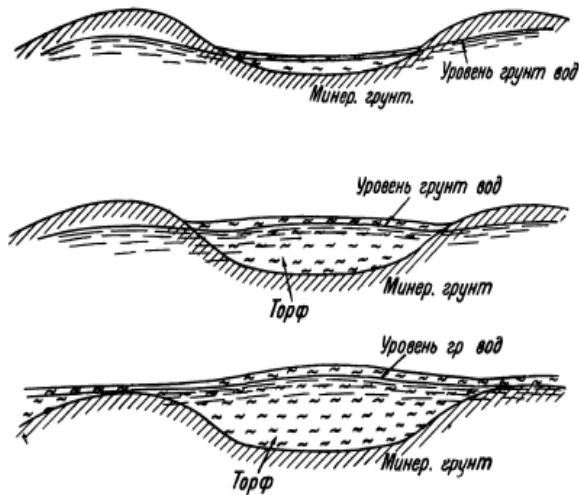


Рисунок 4.2. Гидрогеологический разрез А-В (по рисунку 4.1)

Осреднение по горизонтали

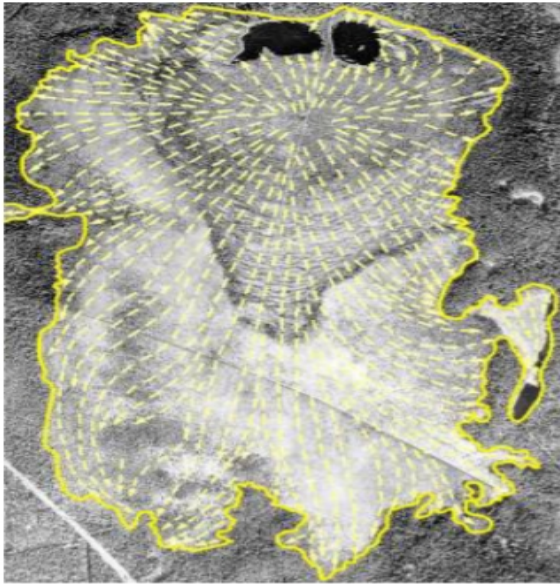


Рисунок 3.4. Сетка линий стекания болотных вод. Болото Ламмин-Суо

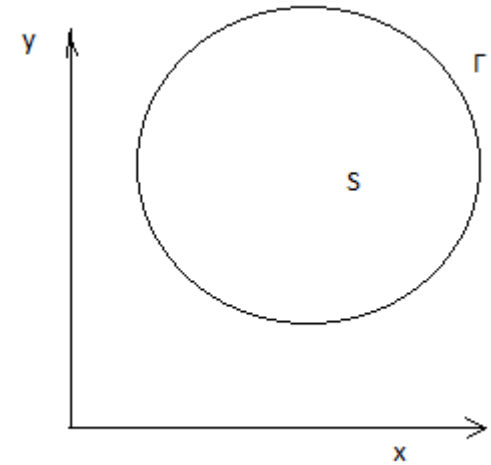
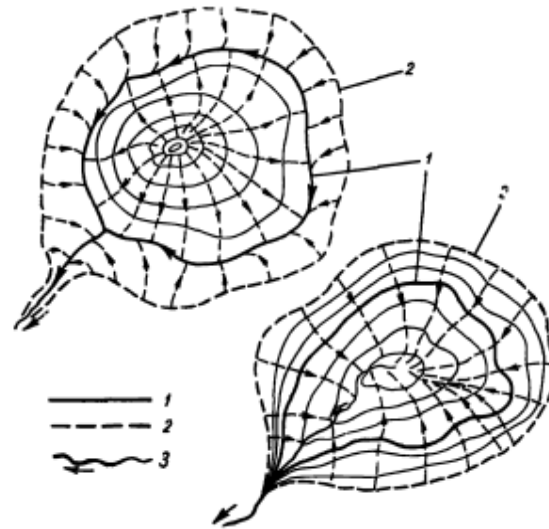


Схема стекания вод на болотных массивах котловинного залегания (Иванов, 1953)

1 - граница болота, 2 - ливня водораздела, 3 - ручьи.

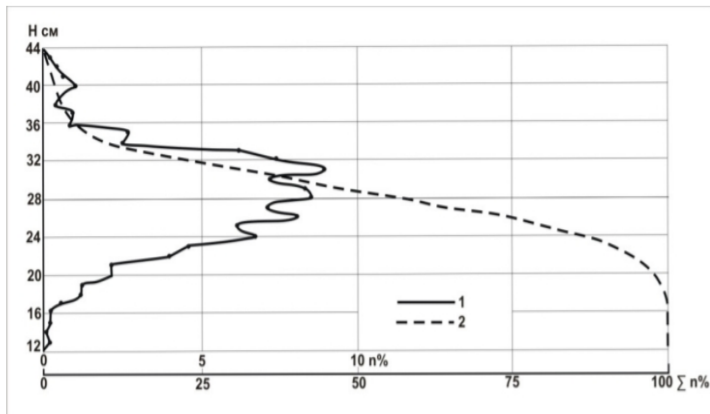
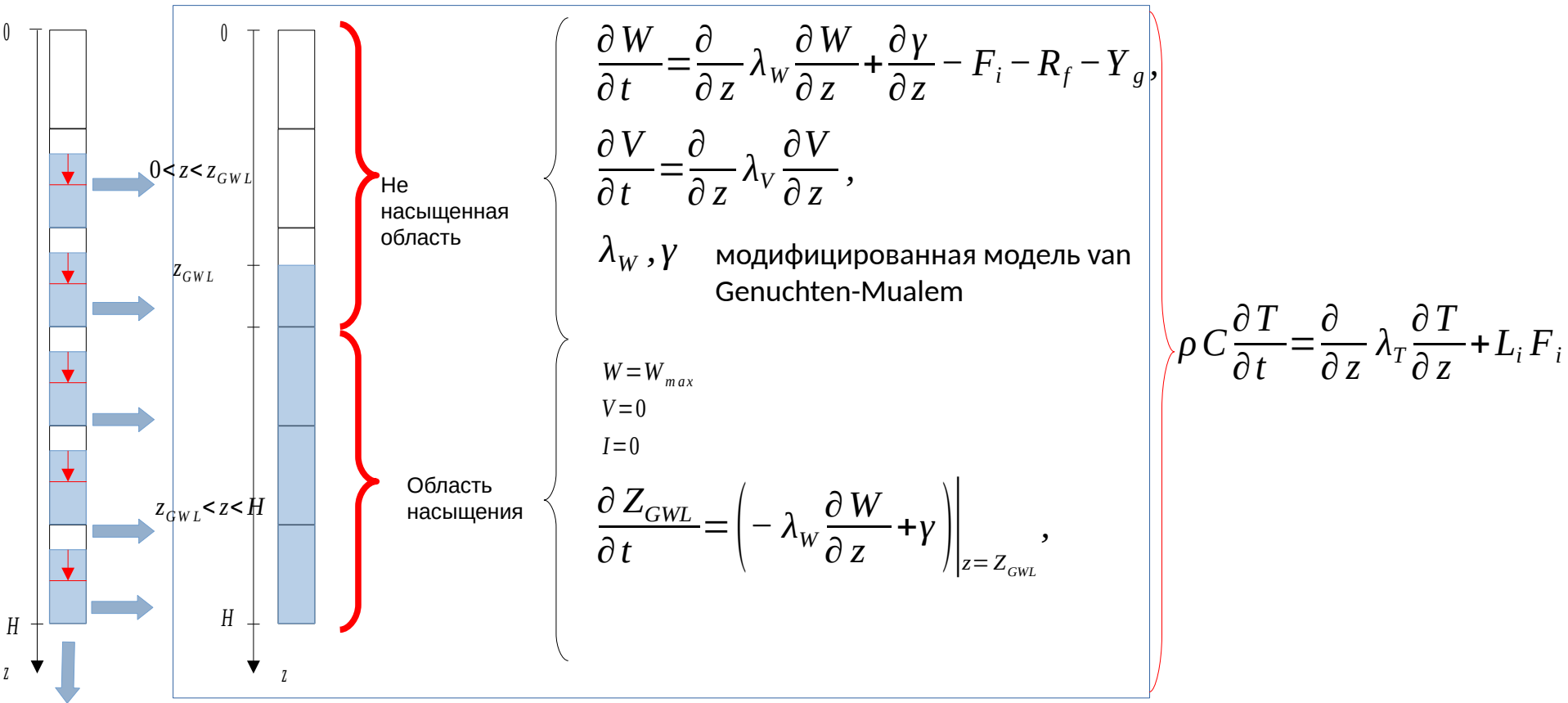


Рисунок 6.1. Кривые распределения вероятных высот поверхности болота над уровнем болотных вод в сфагново-кустарничково-пушицевом, облесенном сосной микроландшафте [31]. Болото Ламмин-Суо: 1 – дифференциальная, 2 – интегральная

Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо)

Измененная схема тепло масса переноса



Модифицированная модель van Genuchten-Mualem

$$W'_{max} = W_r + (W_{max} - W_r) \left(1 + \left| \alpha \psi_{max}^{(1/(1-m))} \right| \right)^m,$$

$$\lambda_w = \gamma_{max} \frac{(1-m)}{\alpha m (W_{max} - W_r)} \theta^{1/2-1/m} \left((1 - \theta^{1/m})^{-m} + (1 - \theta^{1/m})^m - 2 \right),$$

$$\theta = \frac{W - W_r}{W'_{max} - W_r},$$

$$\gamma = \gamma_{max} \theta \alpha \left(1 - (1 - \theta^{1/m})^m \right)^2,$$

$$\theta = \frac{W_{max} - W_r}{W'_{max} - W_r} \cdot \frac{W - W_r}{W'_{max} - W_r},$$

(M. Schaap and M. van Genuchten 2006)

Выход уровня грунтовых вод на стационарное решение в идеализированном эксперименте

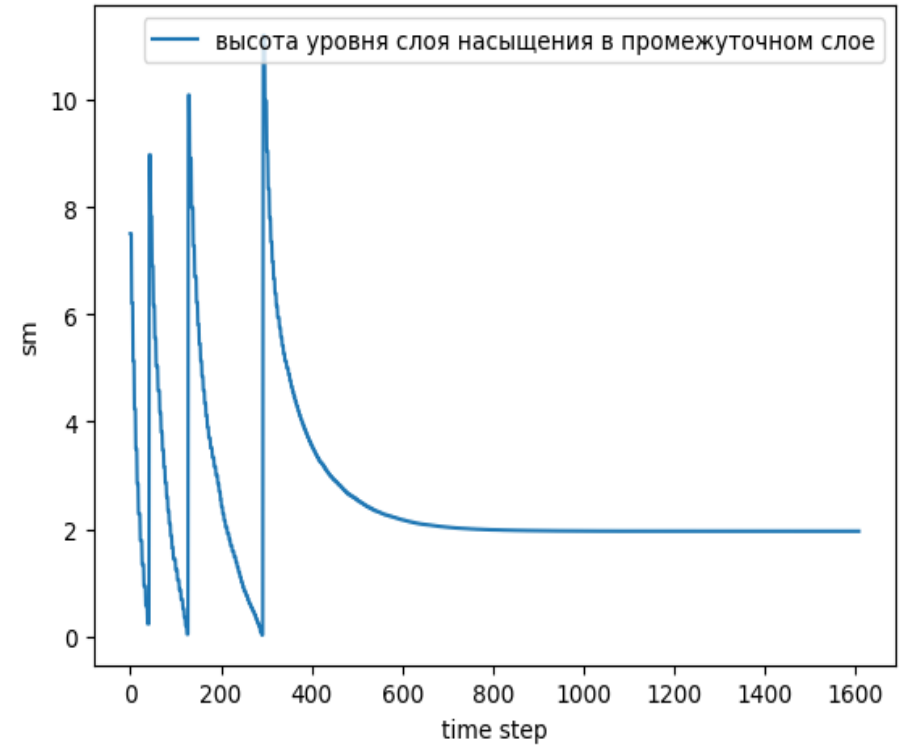
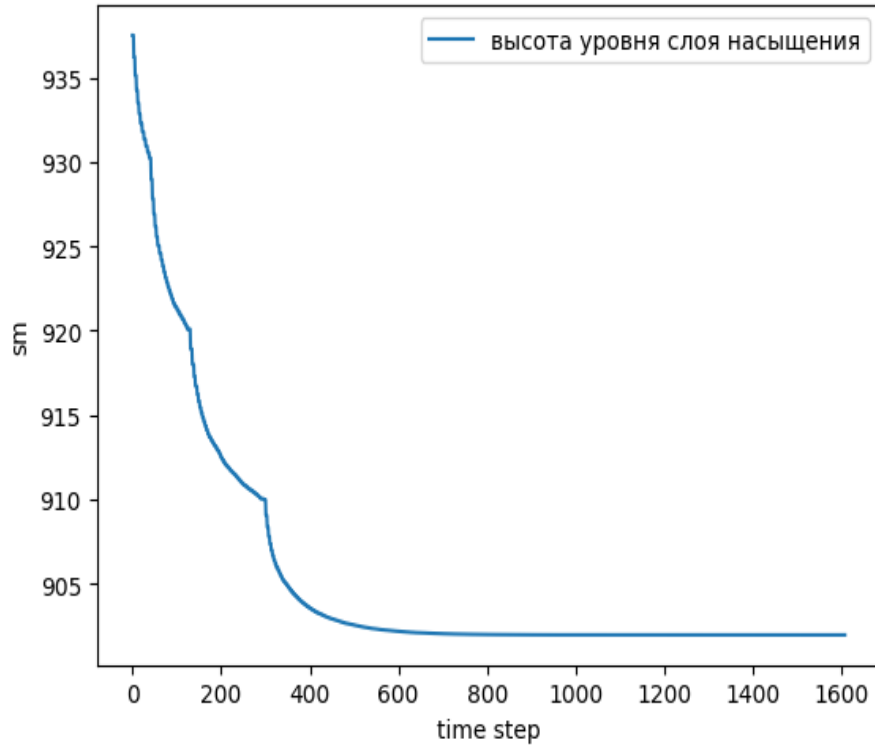
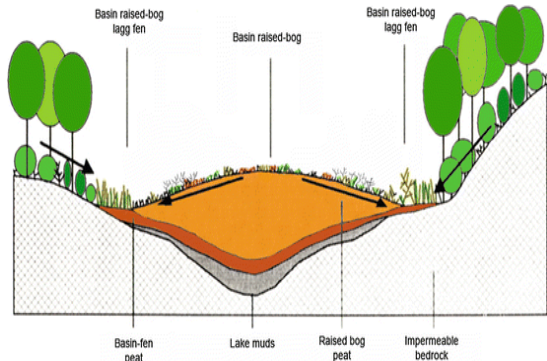


Схема определения уровня болотных вод согласуется со схемой определения уровня грунтовых вод.

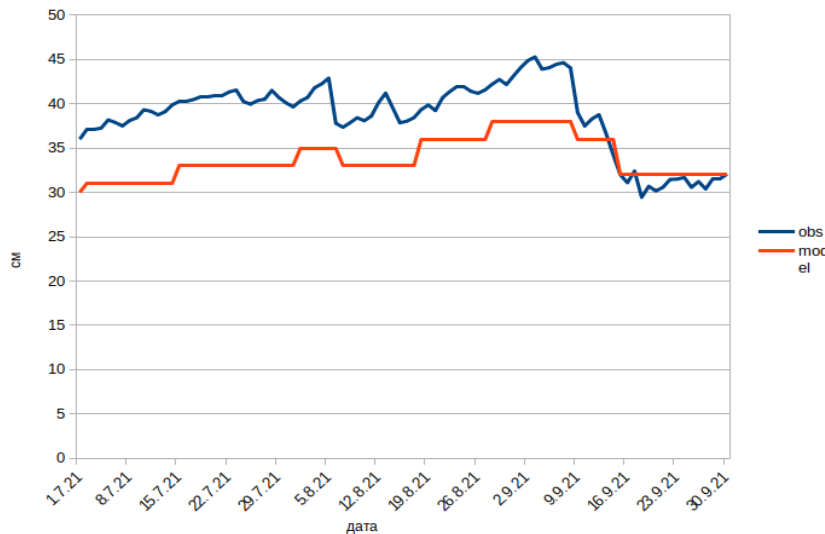
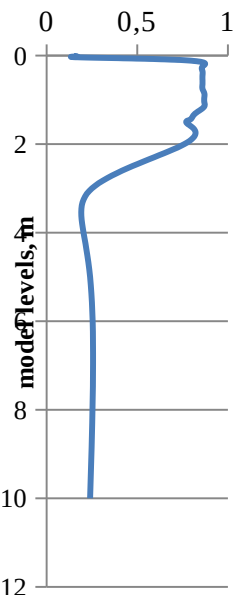


Для **олиготрофных болотных** ландшафтов необходимо учитывать форму поверхности и связанный с ней горизонтальный поток воды от центра болота к его периферии.

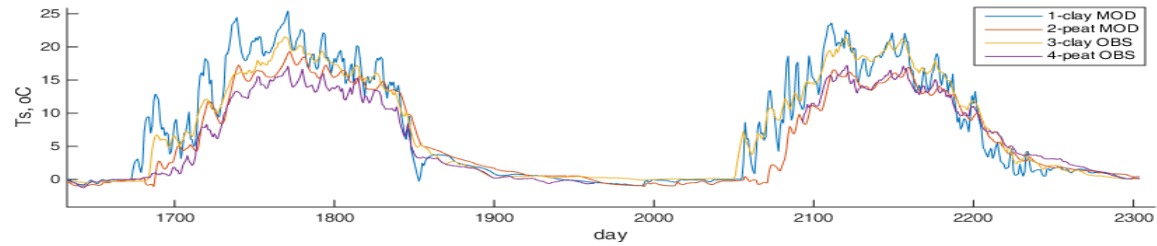
В водится новое слагаемое, зависящее от горизонтального размера водно-болотной экосистемы и высоты центральной части относительно периферии;

$$\frac{\partial z_{GWL}}{\partial t} = \left(-\lambda_w \frac{\partial W}{\partial z} + \gamma \right) \Big|_{z=z_{GWL}} - k_0 \gamma \max \left[0, \left(\frac{z_{GWL} - z_p}{R} \right) \right]$$

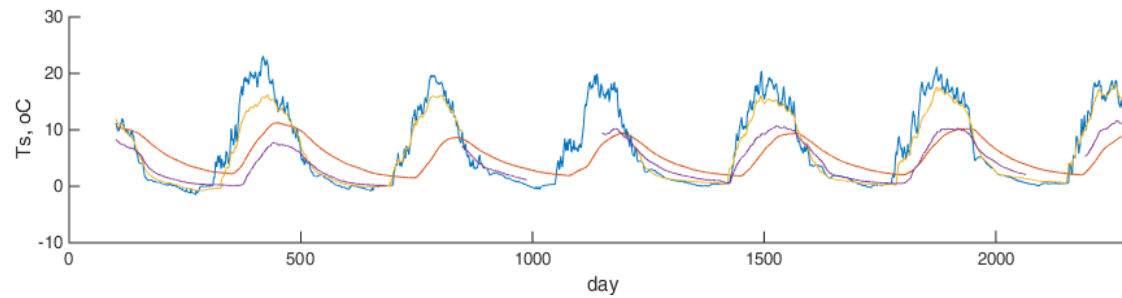
k_0 безразмерный калибровочный коэффициент учитывает эффекты отклонения реальной формы поверхности болота от окружности, R - радиус окружности, аппроксимирующей форму горизонтальной проекции болота.



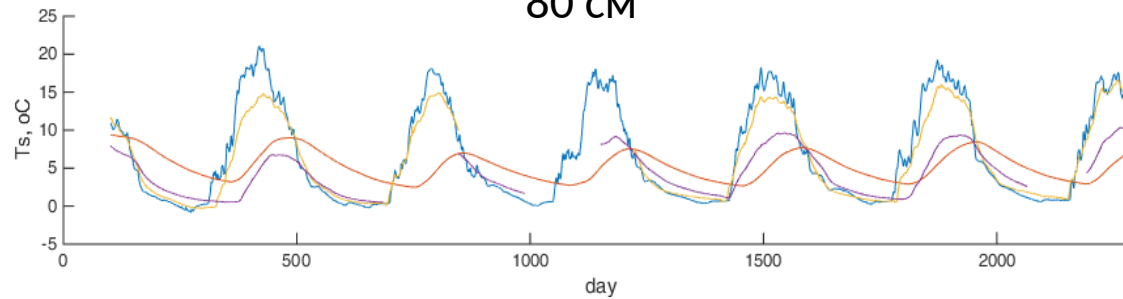
Численный эксперимент и данные наблюдений в районе Бокчара (Томская обл.), 2013 - 2019



20 cm

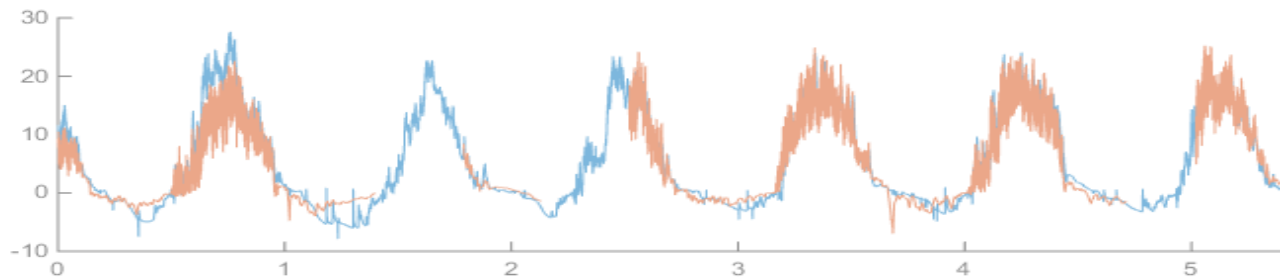


80 cm

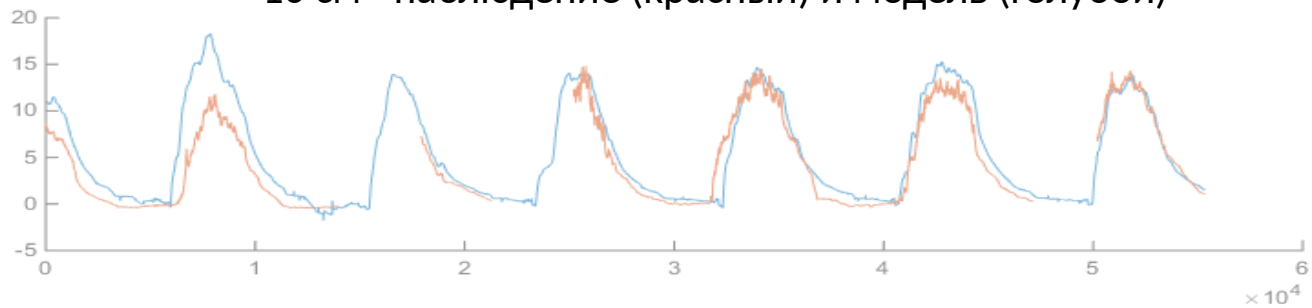


160 cm

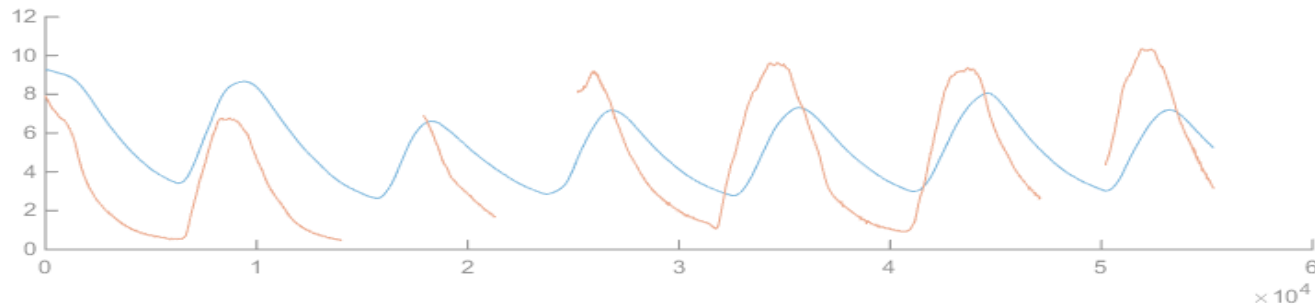
Численный эксперимент и данные наблюдений в районе Мухрино (Ханты-Мансийск), 2014–2020 г.



10 см - наблюдение (красный) и модель (голубой)



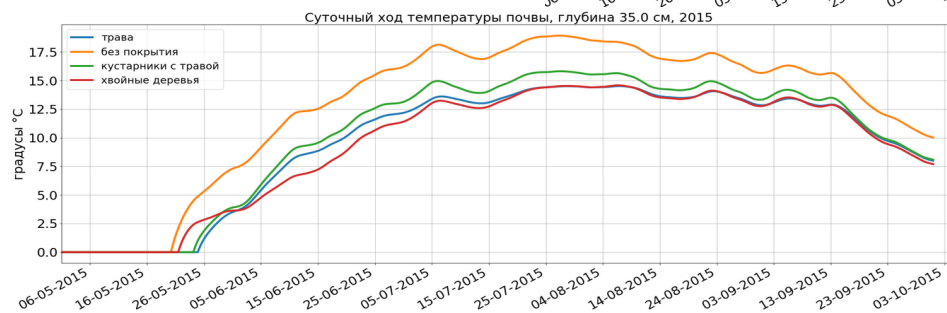
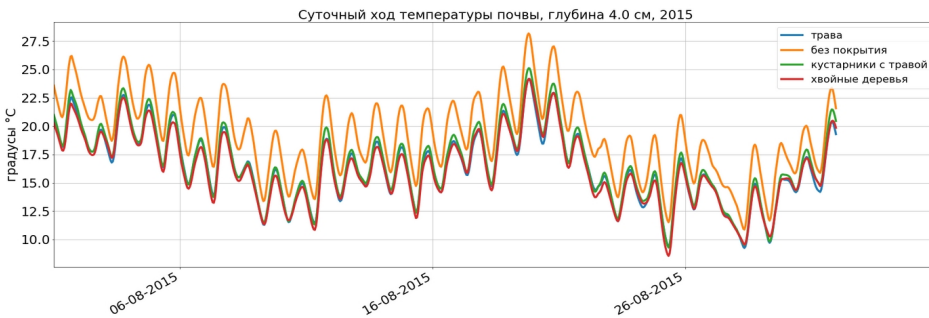
30 см



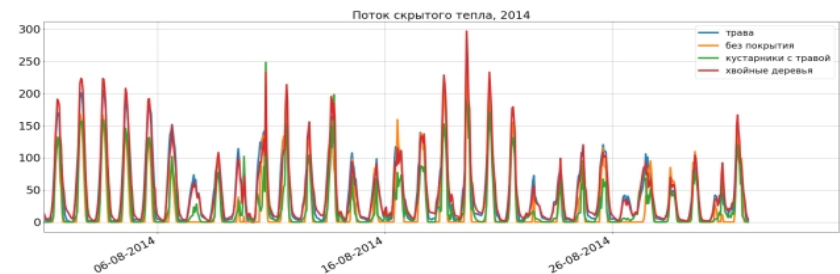
80 см

Численные экскременты с различными типами растительности на поверхности болота: трава, без покрытия, кустарники, одинокие лиственные деревья, при одинаковой динамике уровня грунтовых вод.

Суточный ход температуры почвы на уровнях: 2 см, 15 см и 35 см.

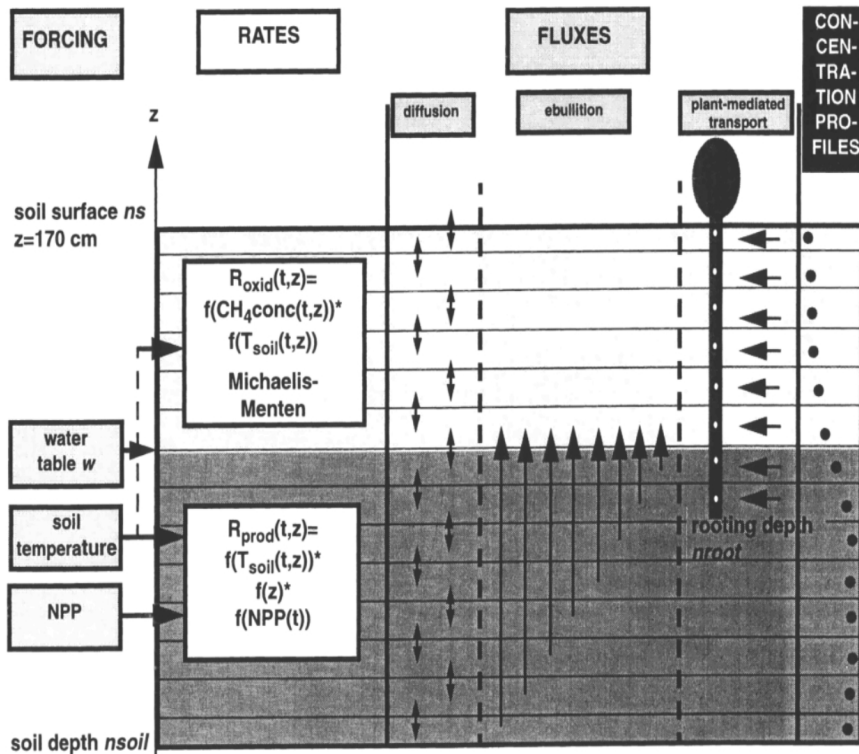


Суточный ход потоков явного и скрытого тепла.



Модель эмиссии метана с болотных экосистем в модели TerM

WALTER AND HEIMANN MODELING METHANE EMISSIONS FROM WETLANDS



$$f_{in}(t) = 1 + \frac{f_{NPP}(t)}{NPP_{max}}$$

$$R_{prod}(t, z) = R_0 f_{org}(z) f_{in}(t) f(T) Q_{10}^{\frac{T(t, z) - T_{mean}}{10}}$$

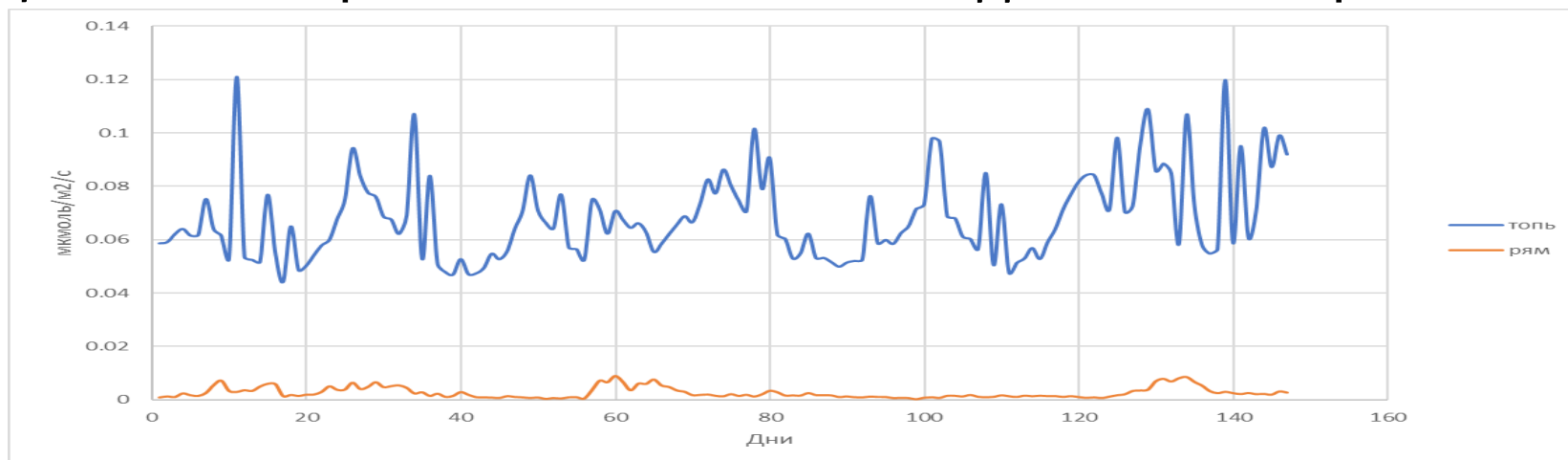
$$F_{tot}(t) = F_{diff}(t, z = u) + F_{ebull}(t) + F_{plant}(t).$$

Walter, B. P., and Heimann, M. (2000), A process-based, climate-sensitive model to derive methane emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate, *Global Biogeochem. Cycles*, 14(3), 745-765

Моделируемые эмиссии метана для участка Мухрино, при различных значения уровня грунтовых вод

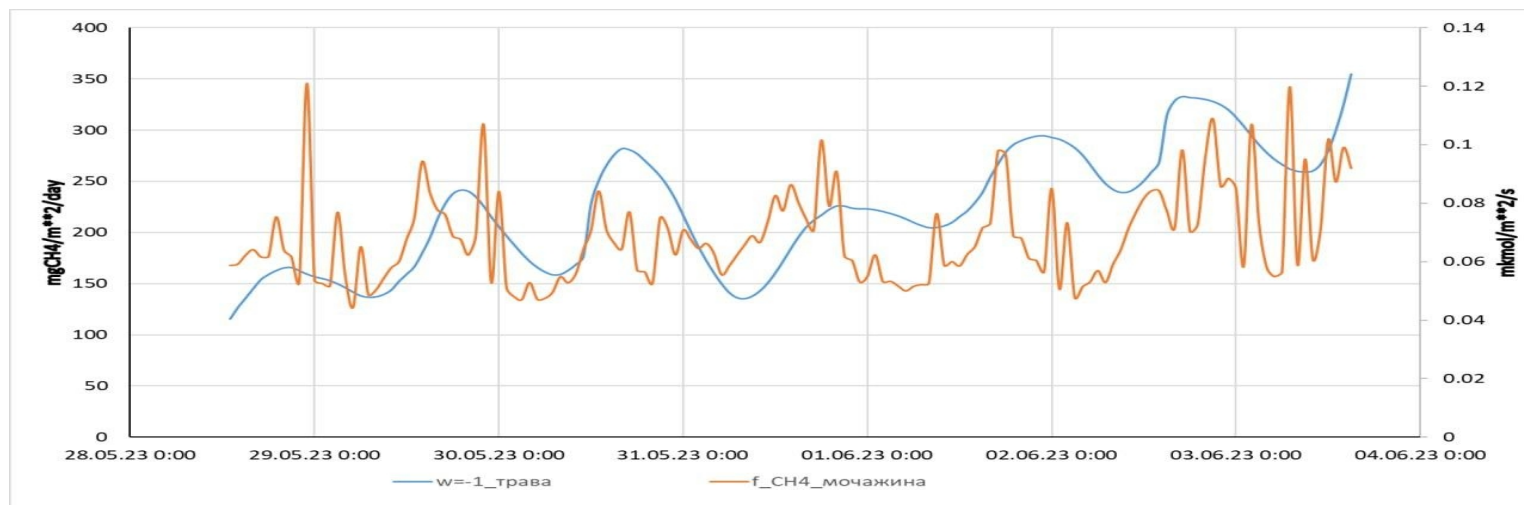
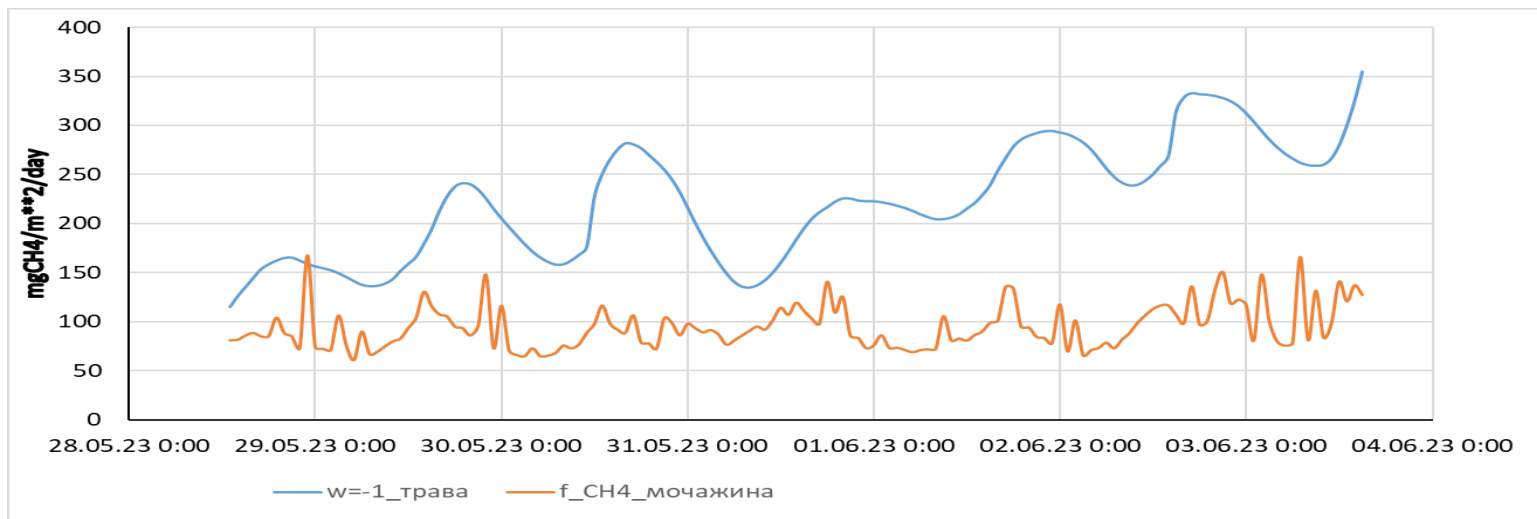


Данные измерения потока метана по данным измерений



Не описывая подсеточный рельеф болота исчезает вклад мочажин и топей.

Сравнение данных измерений и данных моделирования для участка мочажина Мухрино



Моделирование болотных экосистем в рамках модели деятельного слоя суши:

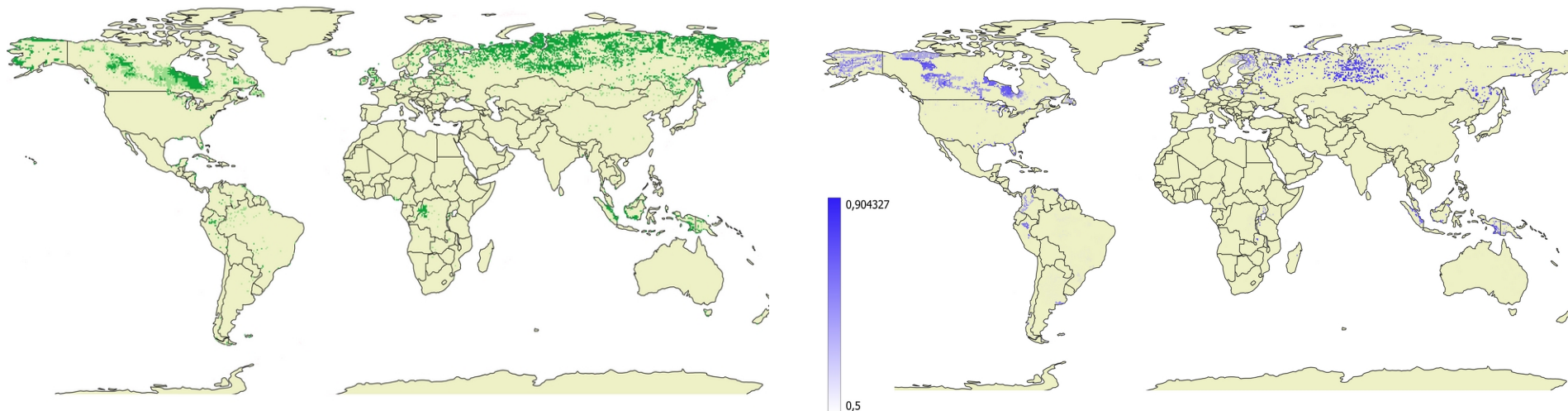
1. В ячейке **только одна почвенная колонка**.

Тогда вся ячейка должна быть занята болотом (свойства почвы отражают свойства торфяных грунтов).

2. В ячейке две почвенные колонки, для ячеек с болотами запускаться термодинамический блок дважды, идет разделение минеральных почв и торфяных, **происходит агрегирование потоков**.

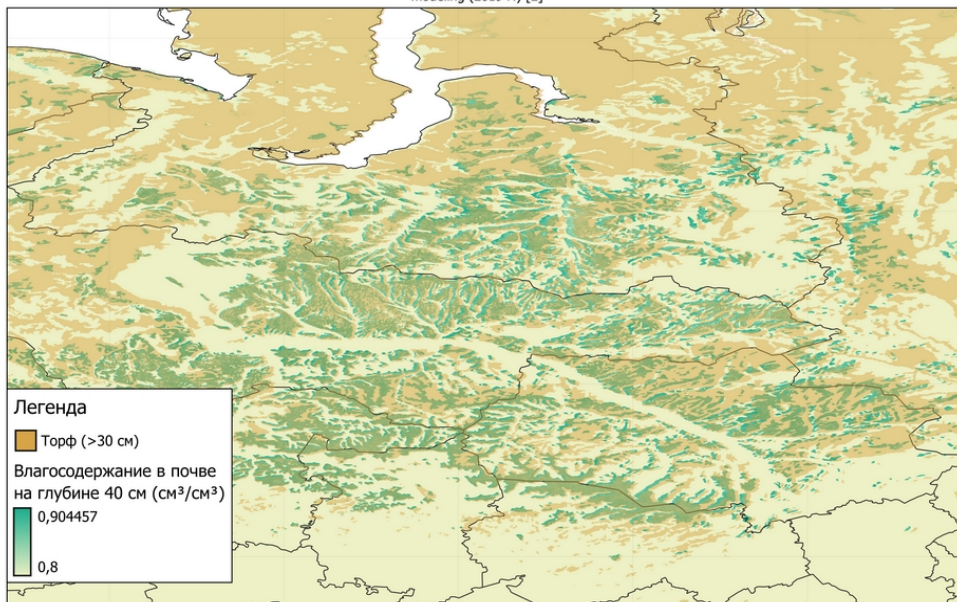
Необходимо согласовывать используемый данные: карту распределения болот, почвенную базу и параметры растительности (глубина корней, объем биомассы связанные с картой распределения типов растительности).

КАРТА БОЛОТ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ МИРА
На основе базы Global Peatland Database (GPD 2.0)



- Болото (торф >30)
- Заболоченная территория (Торф < 10 см)

КАРТА БОЛОТ СИБИРИ И ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕ (см³/см³)
На базе данных GPM 2.0 (2022 г.) [1] и The global dataset of soil hydraulic and thermal parameters for earth system modeling (2019 г.) [2]



Thanks for attention!