

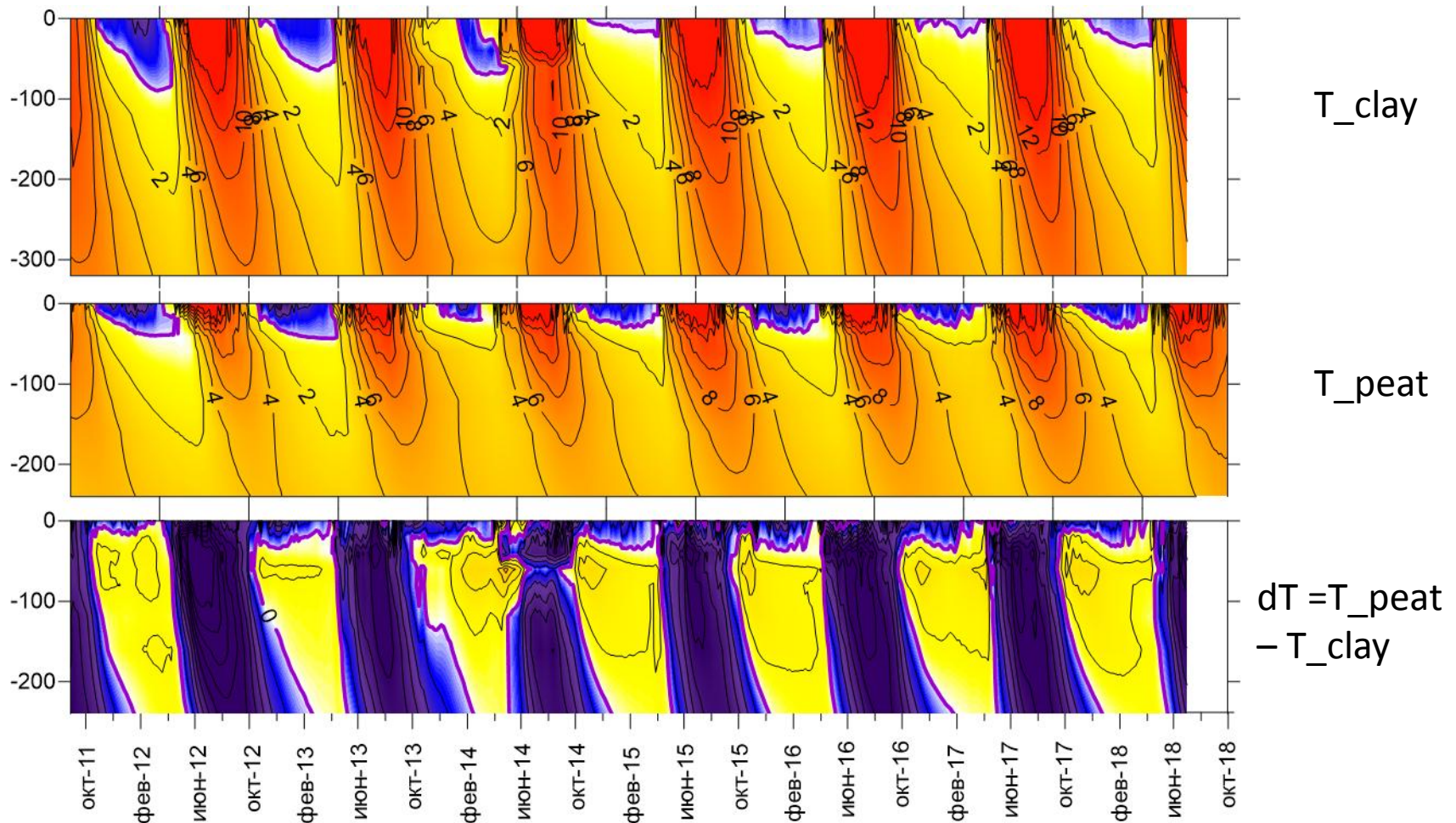
Modeling temperature and humidity conditions of mineral soils in the active layer model, taking into account changes in the thermodynamic properties of the soil in depth.

1,4Bogomolov V., 1,5Dyukarev E., 2,3,4Stepanenko V.

¹ IMCES SB RAS, ²Lomonosov MSU, RCC, ³Lomonosov MSU, Faculty of Geography,

⁴Moscow Center of Fundamental and Applied Mathematics, ⁵Yugra State University

Observed soil temperatures for mineral (clay) and organic (peat) soils for 2011-2018

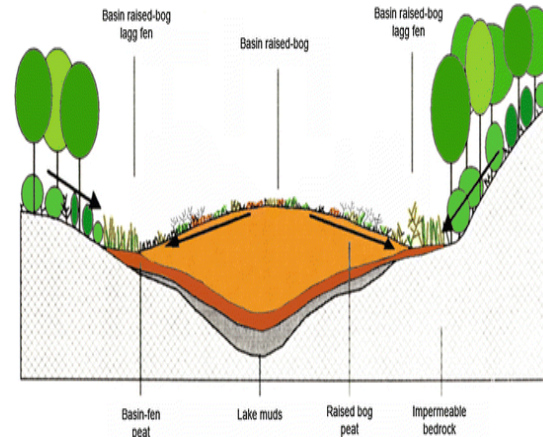


Mineral soil

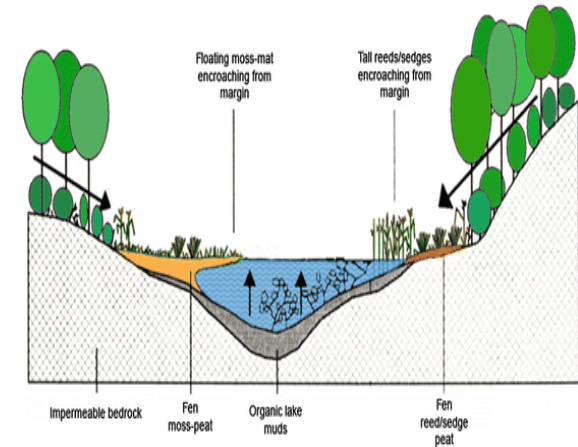
Peat soil



oligotrophic wetland



eutrophic wetland



- The thermal regime of peat soils differs significantly from mineral soils.
- In general, peat soil has a smoothed temperature dynamics, compared to mineral.
- In the warm season, peat soil is colder than mineral soil by 5 - 7 ° C, and in cold time - the soil in the swamp is warmer by 0.3 - 1.0 ° C.
- Temperature gradients in peat soil, compared with mineral, are higher in the upper layers.
- Loose top layers of moss tow because of their high thermal insulating ability significantly reduce the amplitude of temperature fluctuations in the underlying layers of peat soil.
- The depth of freezing in bogs almost three times less than in dry land.

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

Soil heat and moisture transfer in the INM RAS-MSU model

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

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_W \left(\frac{\partial W}{\partial z} + \delta \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right) + \frac{\partial \gamma}{\partial z} - F_i - F_v - R_f - R_r$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_V \frac{\partial V}{\partial z} + F_v$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = F_i$$

23 vertical levels from 1 -1000 cm.

- Global 1°x1° data on soil properties down to 0.3 m depth.
- The soil/silt/clay ratio is attributed to a layer of 0.15 m.
- Organic content linearly decreases to 0 kg/kg at 0.7 m, independent on soil type.

Soil heat and moisture transfer in the INM RAS-MSU model

- $\Pi = (1 - f_{om})\Pi_{min} + f_{om}\Pi_{om}$

- где f_{om} – объемное содержание органического вещества в почвенном слое, Π_{min} , Π_{om} – пористость минеральной и органической частей почвы. Объемная теплоемкость почвы вычисляется как суммарная теплоемкость сред ее составляющих:

$$c = (1 - \Pi)c_s + (\Pi - W - I)c_{vap} + Wc_{wat} + Ic_{ice}$$

- где Π – пористость, $1-\Pi$ – доля объема занимаемая твердой фазой, W , I – объемная влажность и содержание льда. Твердая фаза почвы состоит из пяти компонент: галька (v_{grav}), песок (v_{sand}), пыль (v_{silt}), глина (v_{clay}), составляющих в сумме минеральную фазу почвы (v_{min}) и из органического вещества (v_{org}) почвы:

$$v_{min} + v_{org} = 1; \quad v_{grav} + v_{sand} + v_{clay} + v_{silt} = v_{min}$$

- Предполагая, что плотность минеральных частиц почвы ($\rho_{min} = 2700 \text{ кг/м}^3$), как и органического вещества ($\rho_{om} = 1500 \text{ кг/м}^3$) известна можем определить плотность почвы через пористость:

$$\rho = (1 - \Pi)(v_{min}\rho_{min} + v_{om}\rho_{om})$$

- Теплоемкость твердой фазы почвы зависит от содержания органики и минерального компонента:

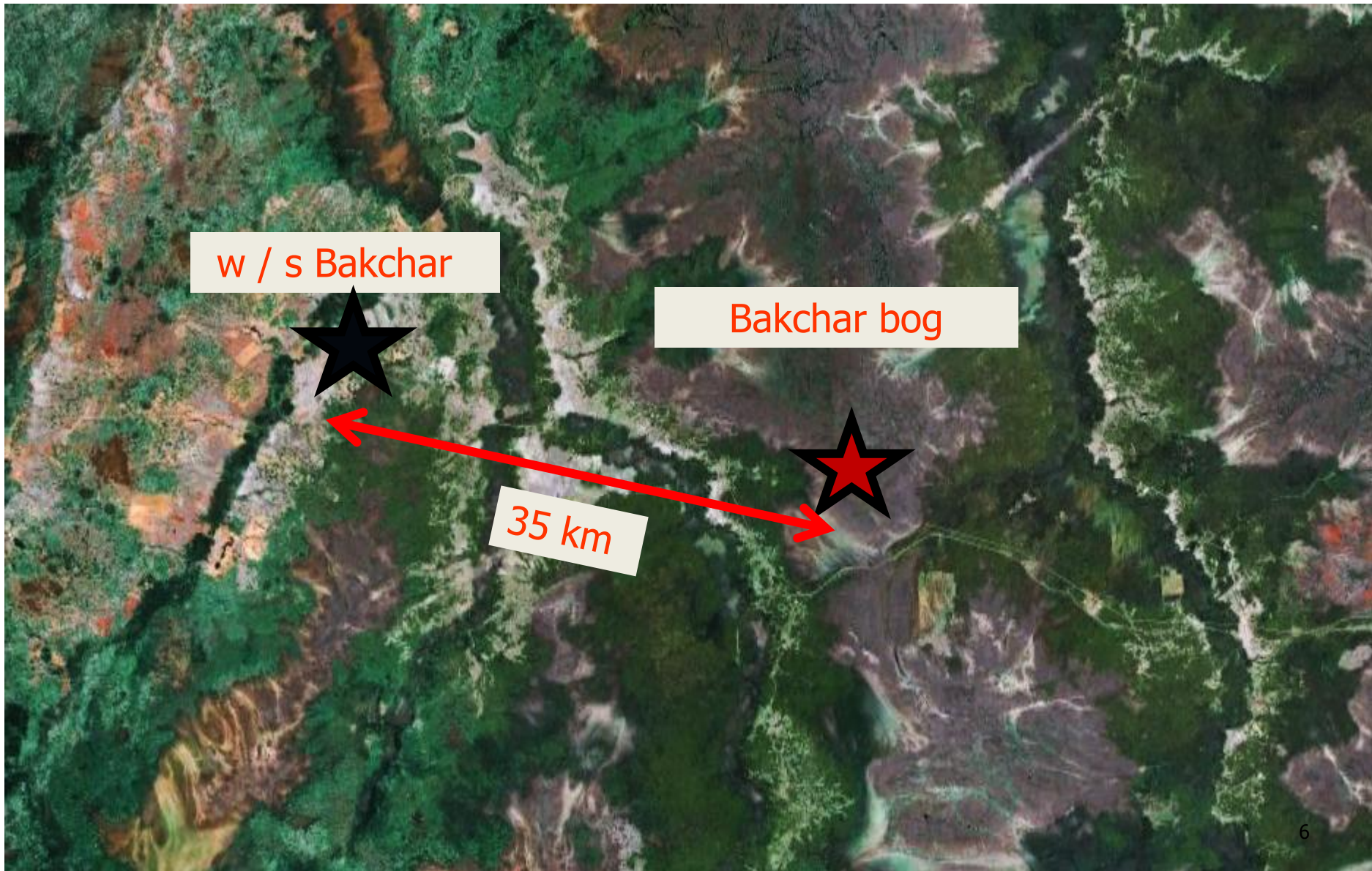
$$c_s = c_{sM}v_{min} + c_{s0}v_{org}$$

- Для минеральной почвы теплоемкость почвы связана с содержанием крупной и мелкой фракций [Farouki 1981]:

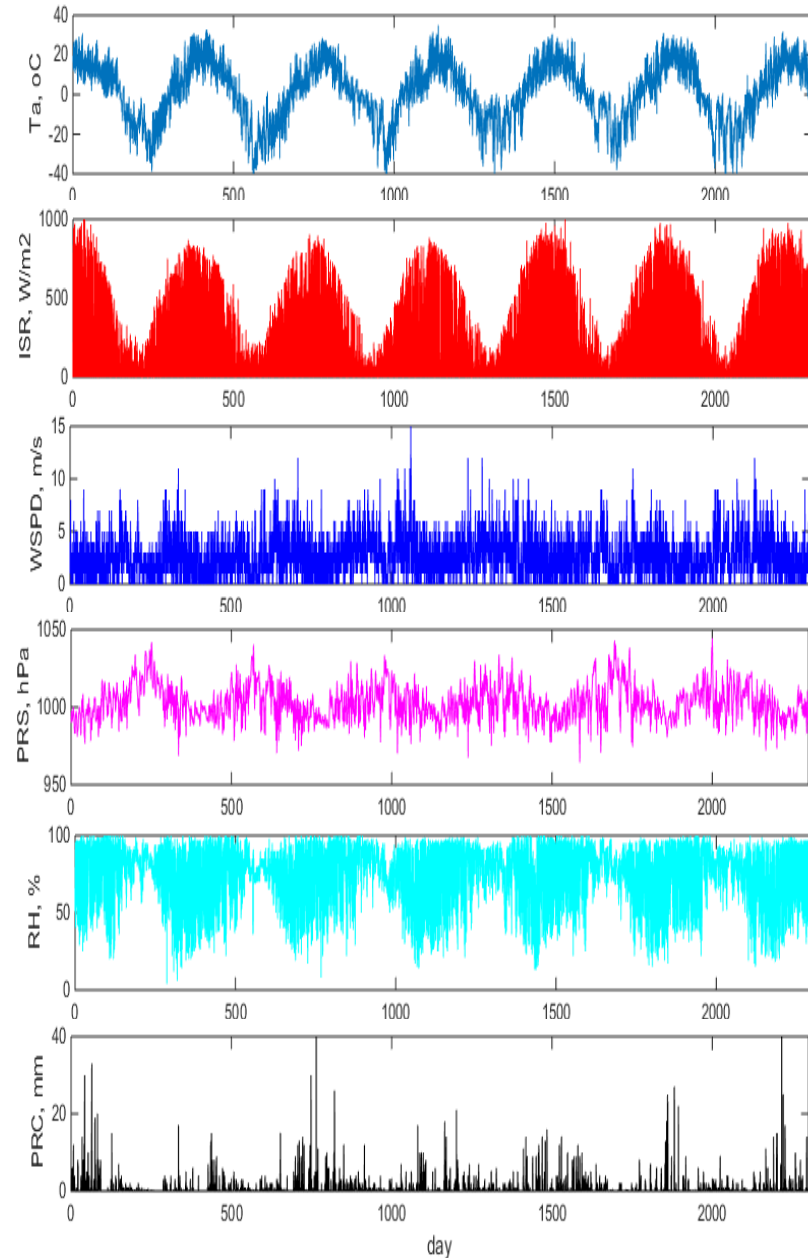
$$c_{sM} = \frac{2.128 v_{sand} + 2.385 v_{clay}}{v_{sand} + v_{clay}}$$

что составляет для глин и песков около $2,1-2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж /м}^3 \text{ /К}$, а теплоемкость органического вещества, немного больше и равна $c_{s0} = 2.5 \cdot 10^6 \text{ Дж /м}^3 \text{ /К}$.

Observation sites



Input variables for simulations, “clay”, “peat”



Tair - Air temperature at 2 m in an open peat, oC
(OBSERVATIONS)

PRS - Station level atmospheric pressure, hPa (ERA5)

PRC, Precipitation intensity, cm / hour (ERA5)

U, - wind speed latitudinal component, m / s (ERA5)

V, - wind speed longitudinal component, m / s (ERA5)

RH, Relative air humidity at 2 m in an open swamp,%
(OBSERVATIONS)

GLOBRAD, incoming solar radiation, W / m2 (ERA5)

LWR, incoming long-wave radiation, W / m2 (ERA5)

b - Clapp-Hornberger dimensionless parameter

$\Psi_{\max} \times 100$ - moisture potential at saturation

Π - Porosity

$\gamma_{\max} \times 100$ - maximum hydraulic conductivity

$\lambda_{\max} \times 10000$ - the maximum values of
moisture diffusion coefficient

W0 - the amount of water remaining unfrozen
at 0 °C

Wm - the amount of water remaining unfrozen
at very low temperature

Input variables for “Peat”

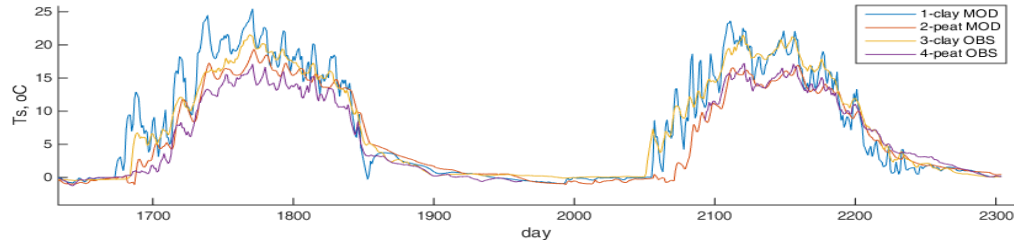
| sand | clay | silt | org | Π | b | Ψ_{\max} ×100 | γ_{\max} ×100 | λ_{\max} ×10000 | W0 | Wm |
|------|------|------|------|-------|-----|-----------------------|-------------------------|----------------------------|------|------|
| 0,14 | 0,57 | 0,17 | 0,12 | 0,39 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,14 | 0,57 | 0,17 | 0,12 | 0,39 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,14 | 0,57 | 0,17 | 0,12 | 0,39 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,13 | 0,57 | 0,18 | 0,12 | 0,39 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,16 | 0,61 | 0,19 | 0,03 | 0,37 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,16 | 0,61 | 0,19 | 0,03 | 0,37 | 5,3 | 56,6 | 0,00072 | 0.204 | 0,18 | 0,07 |
| 0,16 | 0,61 | 0,21 | 0,01 | 0,36 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0.137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,16 | 0,61 | 0,21 | 0,01 | 0,36 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,59 | 0,24 | 0,01 | 0,37 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,59 | 0,24 | 0,01 | 0,37 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,59 | 0,24 | 0,01 | 0,37 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,14 | 0,58 | 0,27 | 0,01 | 0,35 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,14 | 0,58 | 0,27 | 0,01 | 0,35 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,14 | 0,58 | 0,27 | 0,01 | 0,35 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,14 | 0,58 | 0,27 | 0,01 | 0,35 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,14 | 0,58 | 0,27 | 0,01 | 0,35 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,56 | 0,28 | 0,01 | 0,34 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,56 | 0,28 | 0,01 | 0,34 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,56 | 0,28 | 0,01 | 0,34 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,56 | 0,28 | 0,01 | 0,34 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,56 | 0,28 | 0,01 | 0,34 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,17 | 0,59 | 0,23 | 0 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,17 | 0,59 | 0,23 | 0 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,17 | 0,59 | 0,23 | 0 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |

Input variables for “Clay”

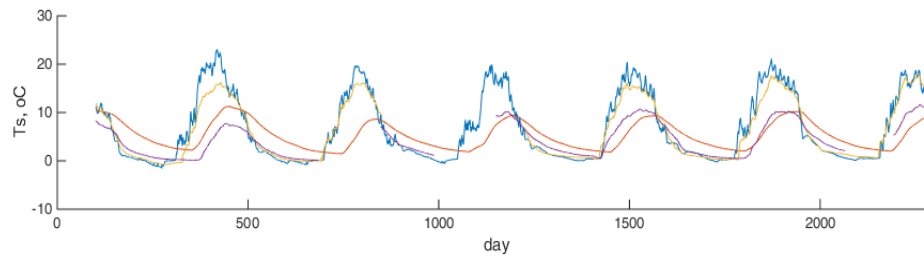
| sand | clay | silt | org | Π | b | Ψ_{\max} ×100 | γ_{\max} ×100 | λ_{\max} ×10000 | W0 | Wm |
|------|------|------|------|-------|------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|------|------|
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,96 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,95 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,95 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,92 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,92 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,95 | 0,92 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,9 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,9 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,88 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,88 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,85 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 0,8 | 10,4 | 17,4 | 0,0001 | 0,00755 | 0,3 | 0,15 |
| 0,15 | 0,6 | 0,24 | 0,01 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,6 | 0,24 | 0,01 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |
| 0,15 | 0,6 | 0,24 | 0,01 | 0,33 | 4,9 | 7,18 | 0,0034 | 0,137 | 0,08 | 0,03 |

Modeled temperature and observed data

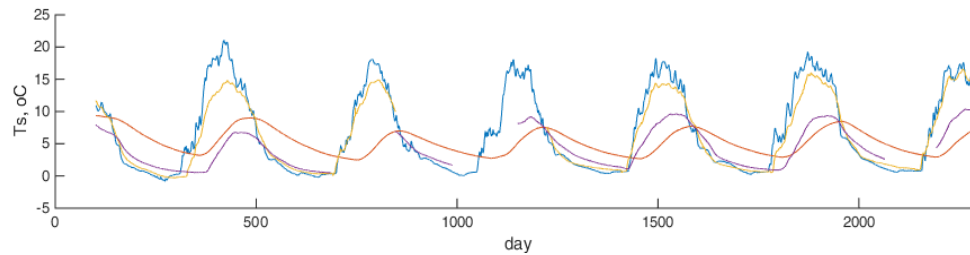
daily averages



20 cm



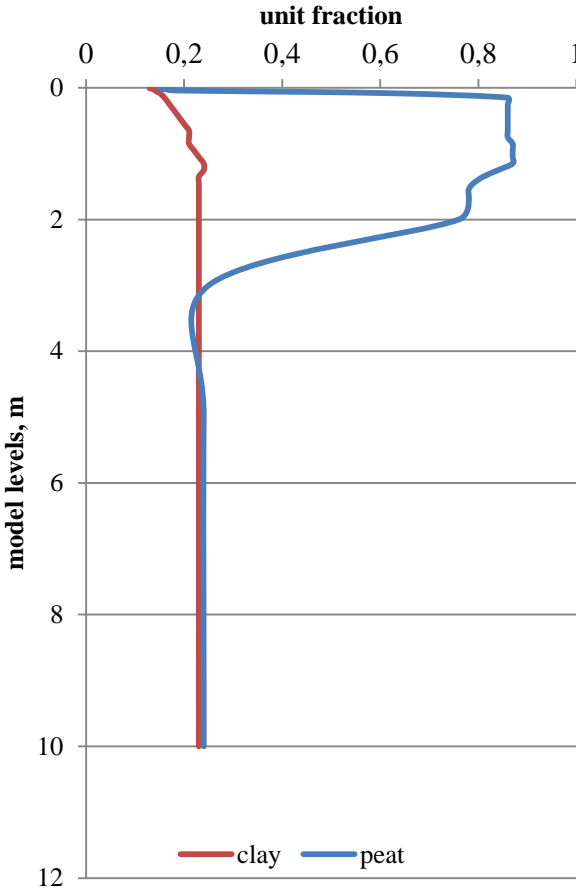
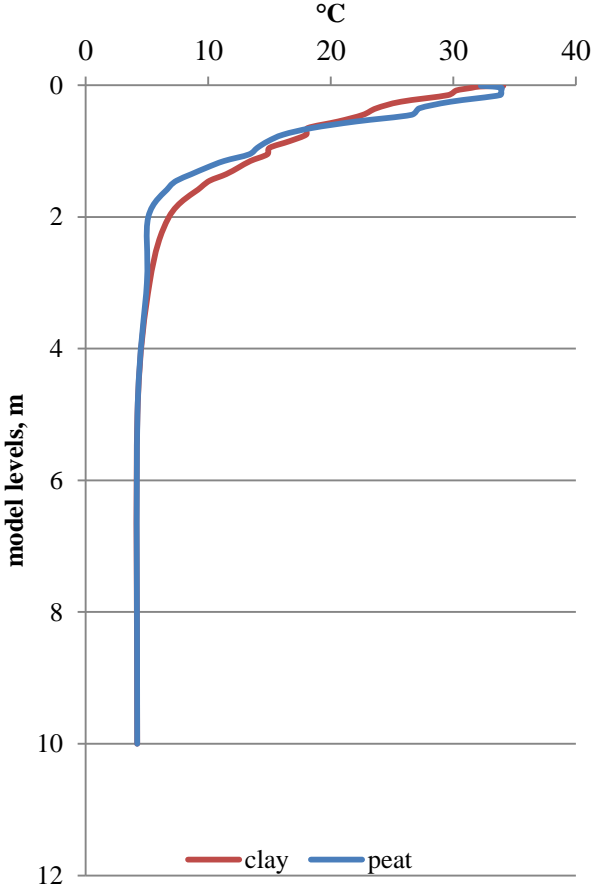
80 cm



160 cm

Soil temperature and moisture profile for clay and peat

18.07.2012



[Dai et al., 2019a] overview of new generation soil datasets

(GSDE - Global Soil Dataset for Earth System Models) and soil composition databases SoilGrids. (Noah-Land, JULES и CoLM / CLM)

The data format

binary

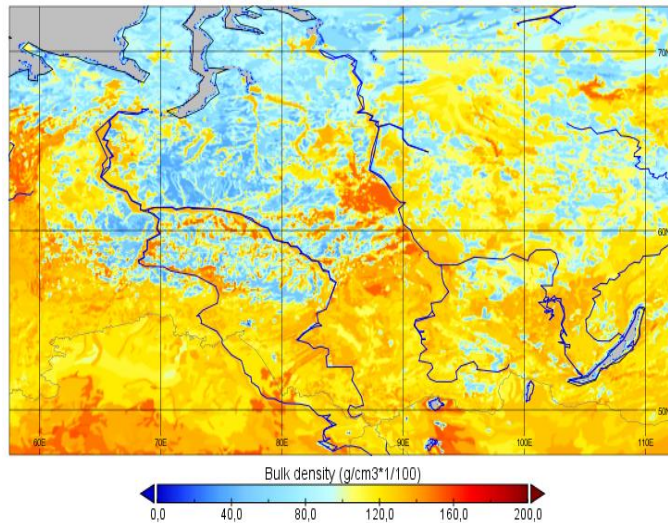
NetCDF format

11 types of soil general properties

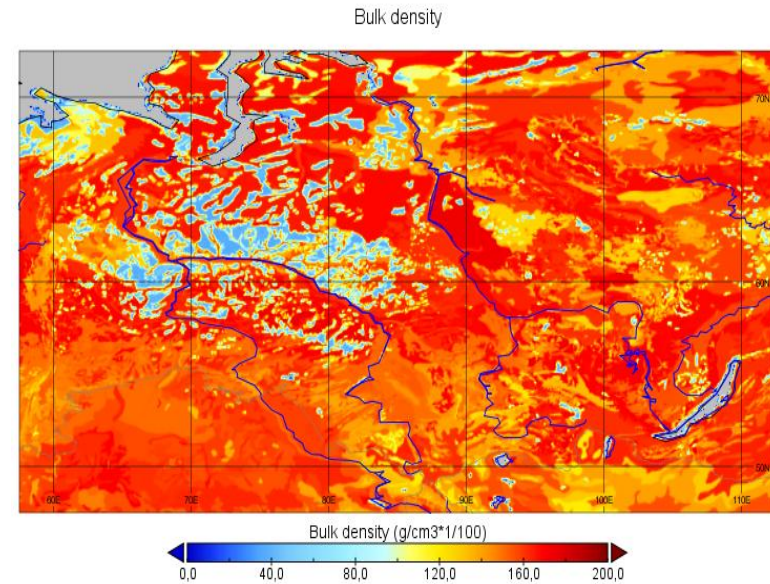
Two resolutions

30 seconds (~1km) (.bin)

5 minutes (~10km) (.nc)



5 cm



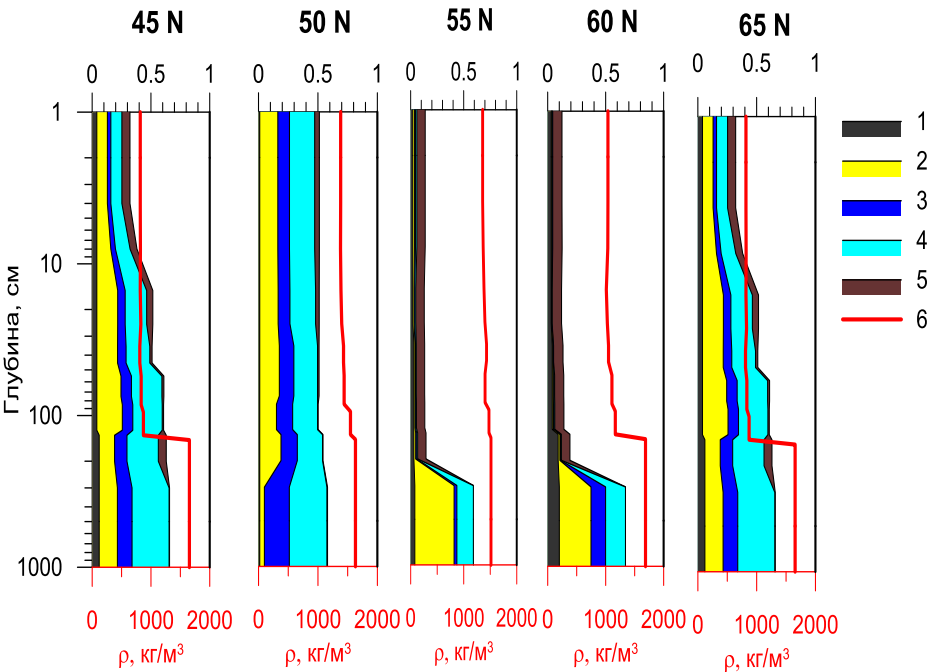
240 cm

the map of the total soil density clearly shows the swamps of Western and Eastern Siberia

Recalculation of soil parameters using cubic spline interpolation :

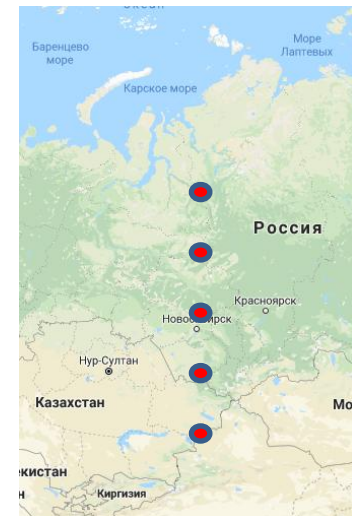
(GSDE base) 0–0.0175, 0.0175–0.0451, 0.0451–0.0906, 0.0906–0.1655, 0.1655–0.2891, 0.2891–0.4929, 0.4929–0.8289, 0.8289–1.3828, 1.3828–2.2961 и 2.2961–3.8019 м

(Model level) 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 0.95, 1.05, 1.15, 1.25, 1.35, 1.45, 1.55, 2, 3, 5, 10 м



Profiles of the distribution of soil characteristics in depth at grid nodes with coordinates 45° N, 80° E; 50° N, 80° E; 55° N, 80° E; 60° N, 80° E; 65° N, 80° E. Volumetric content of gravel (1), sand (2), dust (3), clay (4), organic matter (5) - upper axis. Soil density (6) - bottom axis.

As we can see, in Western Siberia (cells 55 and 60° N), a large amount of organic matter appears in the upper part of the soil profile, which corresponds to peat bogs. In the tundra zone (65° N), the thickness of the organogenic soil layer decreases.



?

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} = - \frac{\partial k^*}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \lambda_w \frac{\partial W}{\partial z} \quad (1)$$

Dividing (1) by ρ_d and setting this value to depend only on the depth, we get:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = - \frac{\partial \hat{k}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{\lambda}_w \frac{\partial W}{\partial z} - \frac{\partial \rho_d}{\partial z} \left(\hat{k} - \hat{\lambda} \frac{\partial W}{\partial z} \right)$$

$$\Phi^* = \Phi - \frac{P}{\rho_{w0}}$$

$\Phi^*(W)$ - ?

Thanks for attention!