

Температурный и гидрологический режим болот Западной Сибири: натурные наблюдения и математическое моделирование

Богомолов В.Ю.^{1,2}, Дюкарев Е.¹, Степаненко В.М.^{2,3}, Володин Е.М.⁴

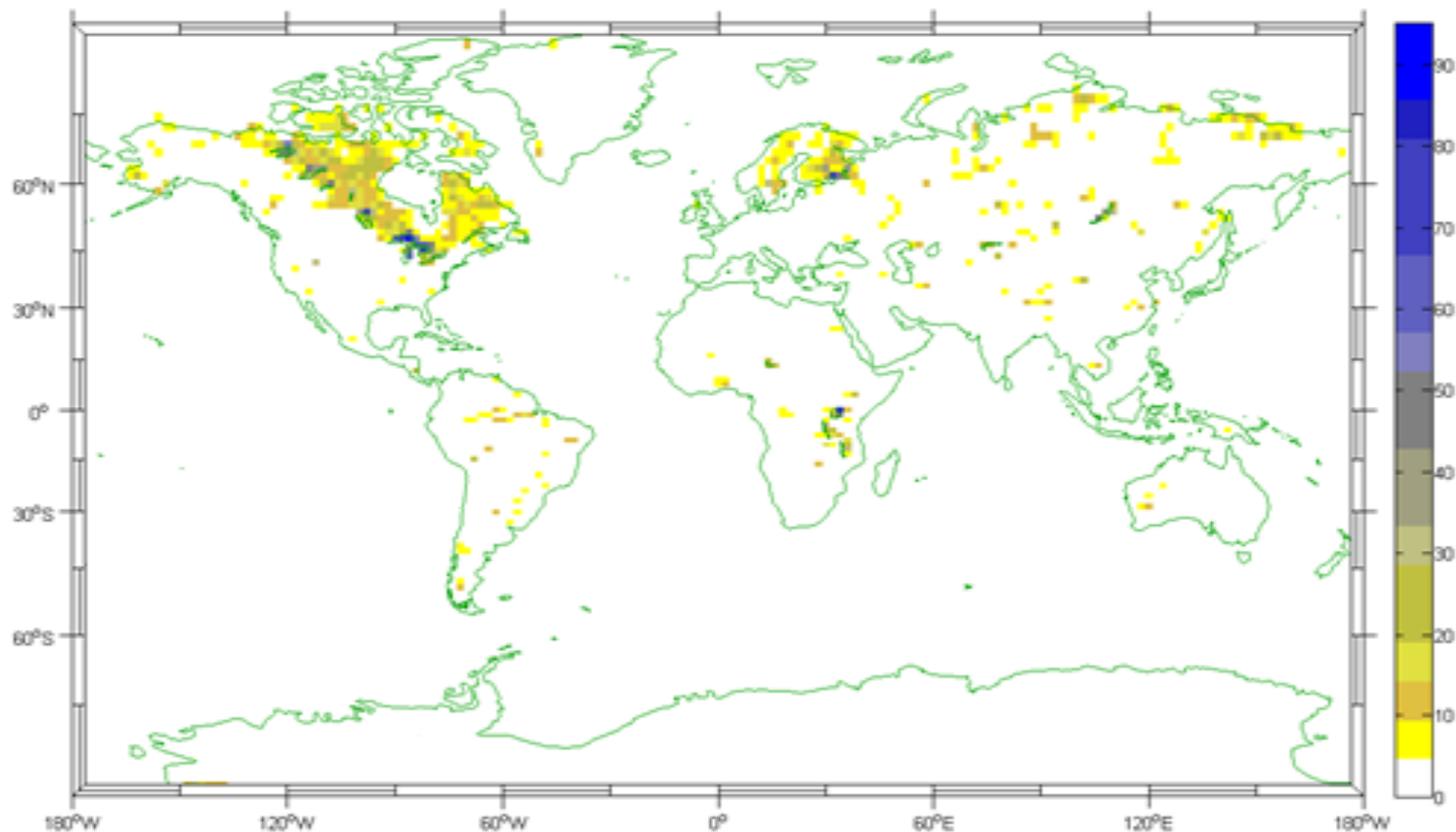
¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

²Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В.Ломоносова

³Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

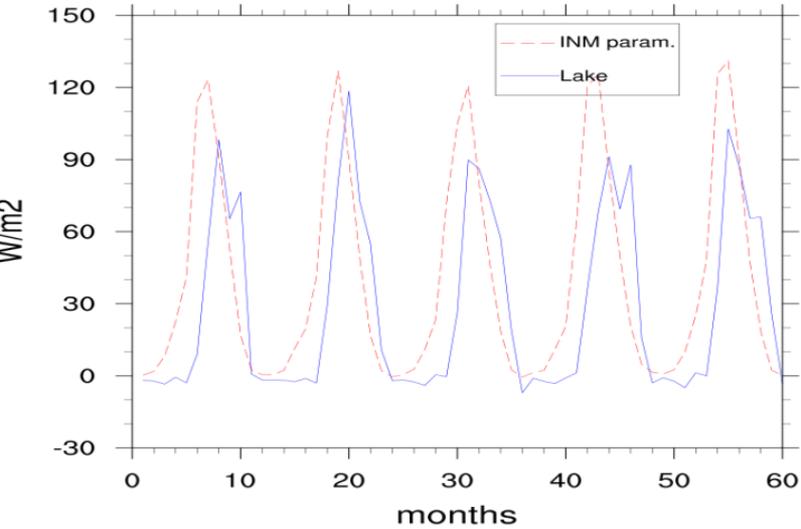
⁴Институт вычислительной математики РАН

Новая карта типов ландшафтов (14 типов),
14-ый тип – озера/водоемы.

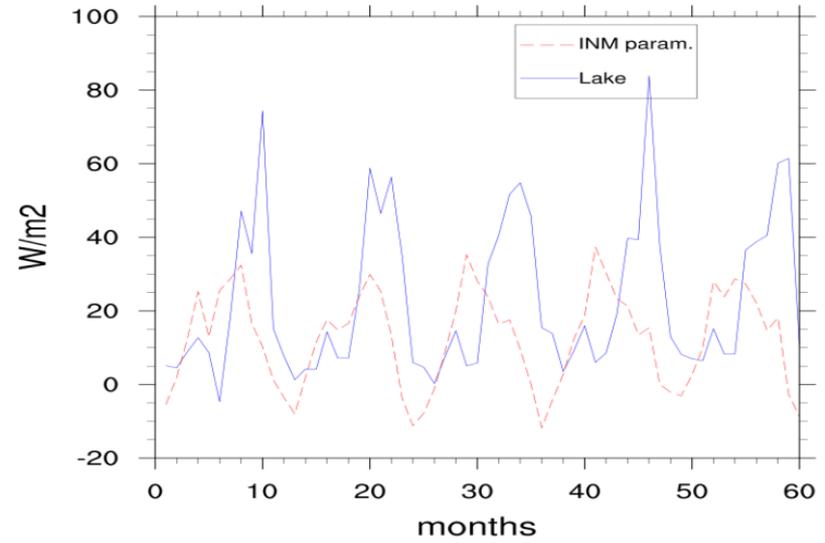


Карта средних глубин водоемов
для разрешения 2° на 1.5° градуса в 2422 ячейках

Average monthly values of Latent heat flux

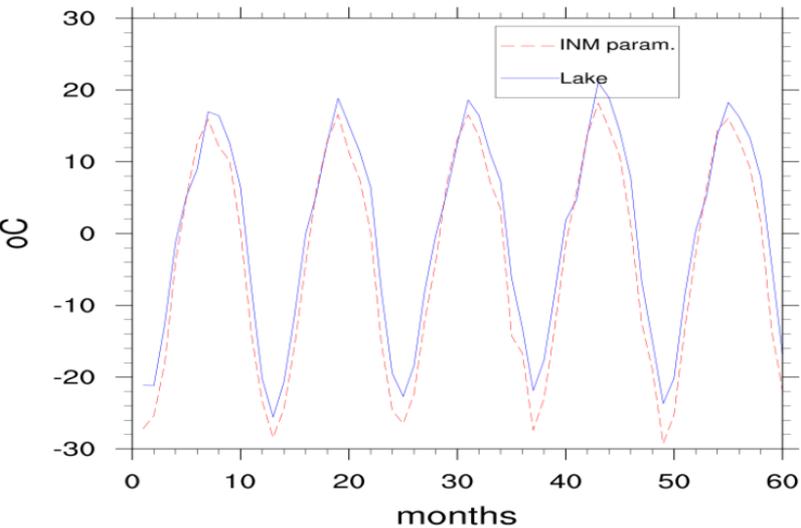


Average monthly values of Sensible heat flux

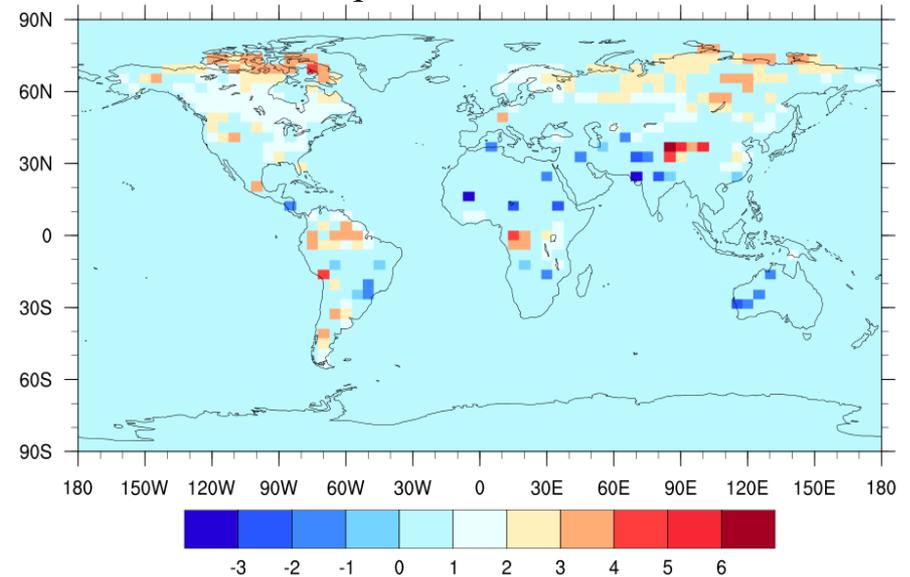


Средние месячные значения потоков скрытого тепла для озера Байкал за 5 лет

Average monthly values of Surface temperature



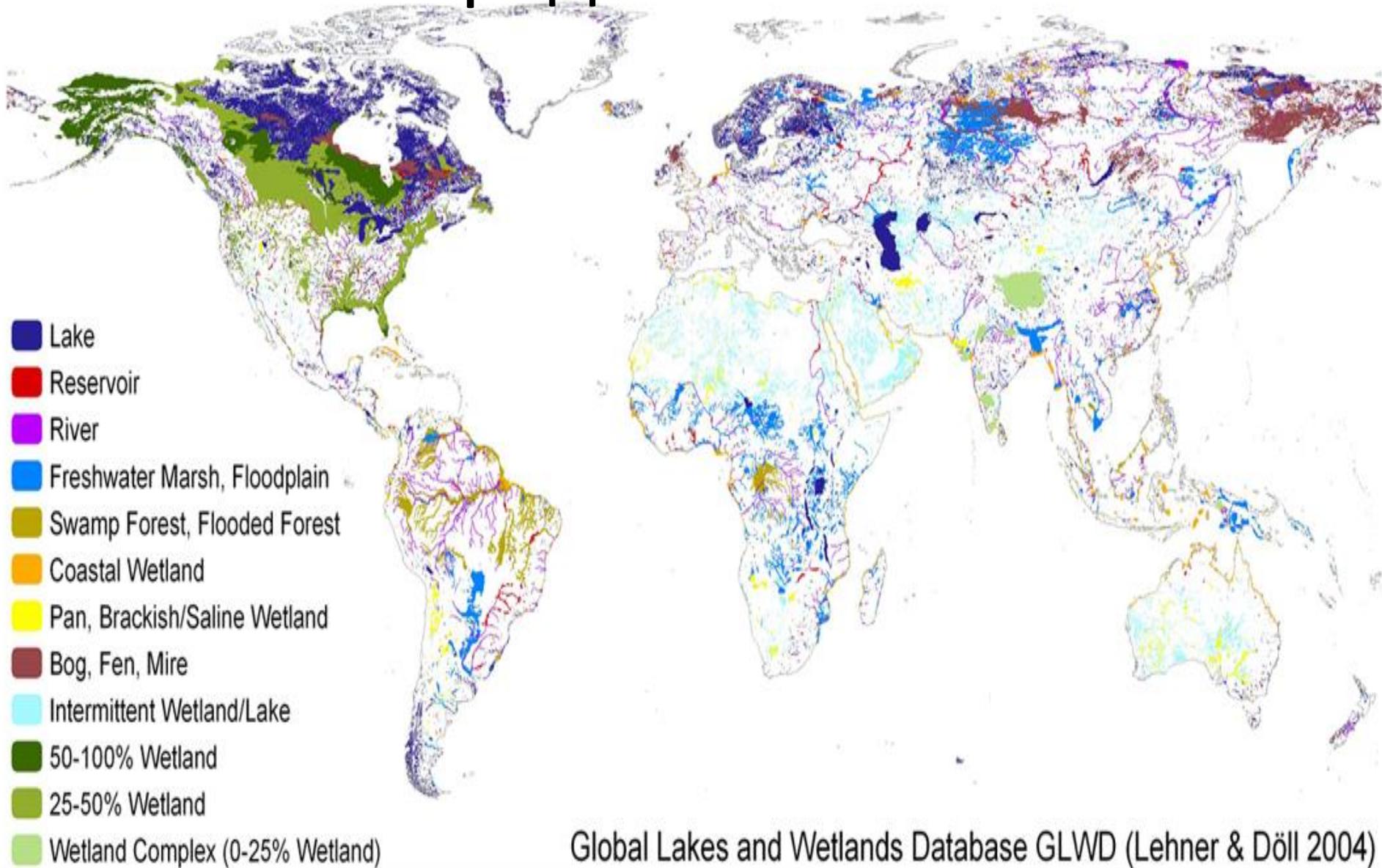
Средние месячные значения потоков явного тепла для озера Байкал за 5 лет



Разница между средними годовыми температурами поверхности водоемов из модели INMCM2.0Lake3 и модели INMCM2.0Lake3

Средние месячные значения температуры поверхности для озера Байкал за 5 лет

Распределение болот



Global Lakes and Wetlands Database GLWD (Lehner & Döll 2004)

- По данным многолетних (2011-2017 гг) наблюдений за температурным режимом почвогрунтов олиготрофного болота «Бакчарское» получено, что торфяные почвы холоднее минеральных на 8-10 °С в теплое время и теплее их на 1-3 °С в холодное время года.
- В теплый период болота с низким уровнем болотных вод холоднее болот с высоким УБВ. В холодный период – наоборот: обводненные топи холоднее рямов.

Цели

- Исследовать температурный и гидрологический режим болотных экосистем Западной Сибири.
- На основе модели ИВМ РАН разработать параметризацию учитывающую особенности строения торфяной залежи для болотных экосистем различного типа.
- Верифицировать полученную модель по данным натурных наблюдений в типичных болотных экосистемах и различных природно-климатических зонах Западной Сибири.
- Продемонстрировать особенности теплового режима болот разного типа (открытых/залесенных, олиготрофных/эвтрофных) и их отличие от незаболоченных территорий.
- Оценить вклад различных болотных экосистем в формирование потоков тепла на границе поверхность-атмосфера для климатических моделей.

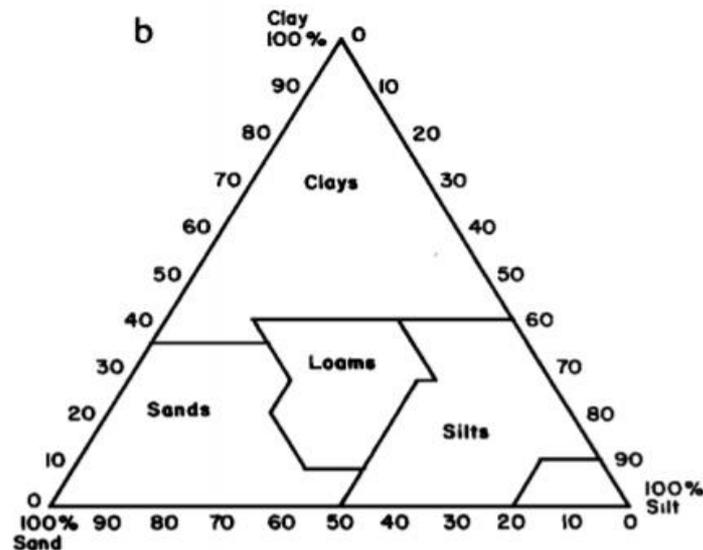
Параметризация процессов в почве в модели ИВМ РАН

- $\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_T \frac{\partial T}{\partial z} + L_i F_i - L_v F_v$
- $\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_W \left(\frac{\partial W}{\partial z} + \delta \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial \gamma}{\partial z} - F_i - F_v - R_f - R_r$
- $\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \lambda_V \frac{\partial V}{\partial z} + F_v$
- $\frac{\partial I}{\partial t} = F_i$

23 уровня по вертикали от 1 -1000 см.

Параметризация процессов в почве в модели ИВМ РАН

- Cosby B.J., Hornberger G.M., Clapp R.B., Ginn T.R. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of the soil. Water Resources Research, 1984, V. 20, N 6, P. 682-690.
- Wilson M.F., Henderson-Sellers A. A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. Journal of Climatology, 1985, V.5, p. 119-143.
- Zabler L. A world soil le for global climate modelling. NASA technical memorandum 87802, 1986.



Параметризация процессов в почве в модели ИВМ РАН

- Безразмерный показатель **Clapp-Hornberger**
- Потенциал влаги при максимальном ее значения, м
- Пористость
- Максимальная гидравлическая проводимость
- Максимальное значения коэффициента диффузии влаги
- Количество воды остающиеся не замёрзшим при нуле градусов
- Количество воды остающейся не замёрзшей при очень низких температурах

Параметризация процессов в почве в модели ИВМ РАН

- Данные о свойствах почвы до глубины 0.3 м на одноградусной сетке
- Процентное содержание компонент приписывается слою 0.15 м
- Содержание органики с глубиной линейно падает до нуля, эта глубина не зависит от типа почвы и равна 0.7 м.
- Процент содержания песка и глины принималась одним и тем же на всех почвенных горизонтах

Этап 1: Одномерный подход

- Валидация «коэффициентов» модели для конкретных точек и сравнения с данными измерений
- Модель расчета уровня грунтовых вод в зависимости от осадков

Модель расчета уровня грунтовых вод в зависимости от осадков

Приток воды зависит от интенсивности осадков выпадавших в предыдущие дни

$$H = k_0 P_0 + k_1 P_1 + k_2 P_2,$$

Уравнение водного баланса

$$W_0 = W_1 + H - S = W_1 + k_0 P_0 + k_1 P_1 + k_2 P_2 - (E + L),$$

где W_0 – уровень воды в текущий день,

W_1 – уровень воды в предыдущий день,

P_0, P_1, P_2 – суммы осадков текущего предыдущего и предпредыдущего дня,

k_0, k_1, k_2 – коэффициенты трансформации осадков, показывающие какая доля осадков идет на изменение уровня,

E – величина суммарного испарения и транспирации за сутки,

L – количество воды оттекающее от точки измерений за сутки.

Модель расчета уровня грунтовых вод в зависимости от осадков

Интенсивность стока связана с уровнем воды в точке наблюдений следующим образом

$$L = k_s (W_1 - W_m),$$

k_s – коэффициент интенсивности стока,

W_m – минимальный уровень воды после достижения которого сток прекращается

Испарение рассчитывается по формуле

$$E = (1 + k_E V_B) * a * R,$$

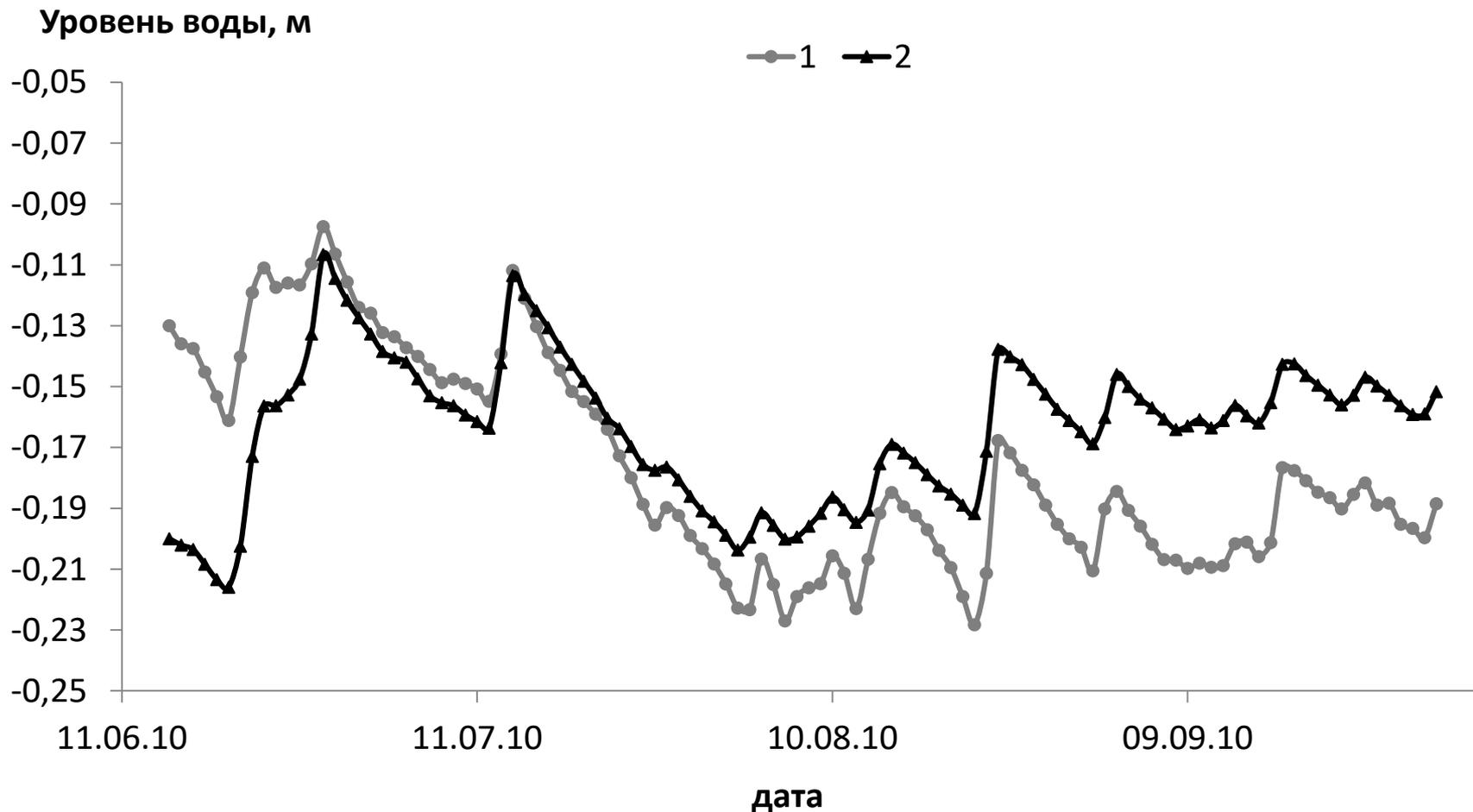
k_E – коэффициент интенсивности испарения,

V_B – средняя скорость ветра на высоте 10м (м/сек),

a – коэффициент пропорциональности (мм/см². ккал),

R – средняя многолетняя месячная сумма радиационного баланса поверхности болота (ккал/см. мес)

Коэффициент детерминации для модели 2010г. равен 0,79

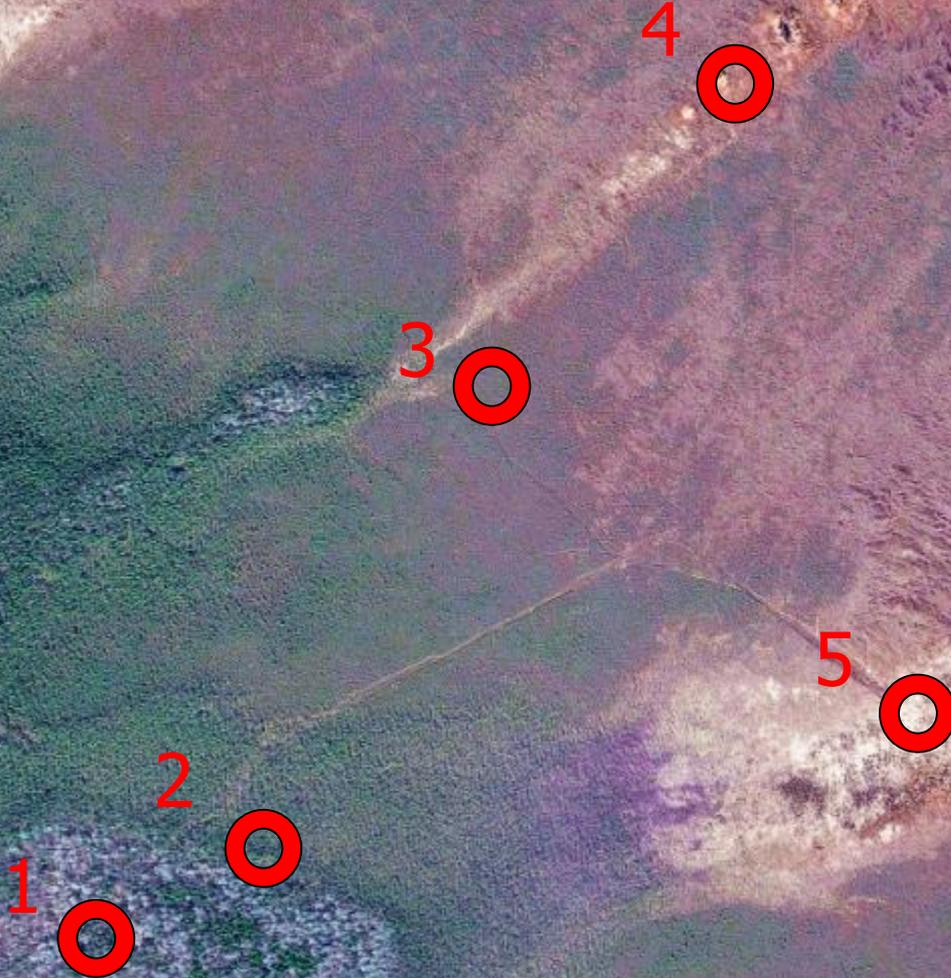


- Колебания измеренных (1) и расчетных (2) уровней воды за период с 15 июня по 30 сентября 2010г.

Bakchar bog

Observation sites

- 1 – Paludificated forest
- 2 – Tall treed bog
- 3 – Low treed bog
- 4 – Ridge-hollow complex
- 5 – Open sedge-sphagnum fen



Soil temperature monitoring - Soil-Atmosphere Measurement System IMCES SB RAS

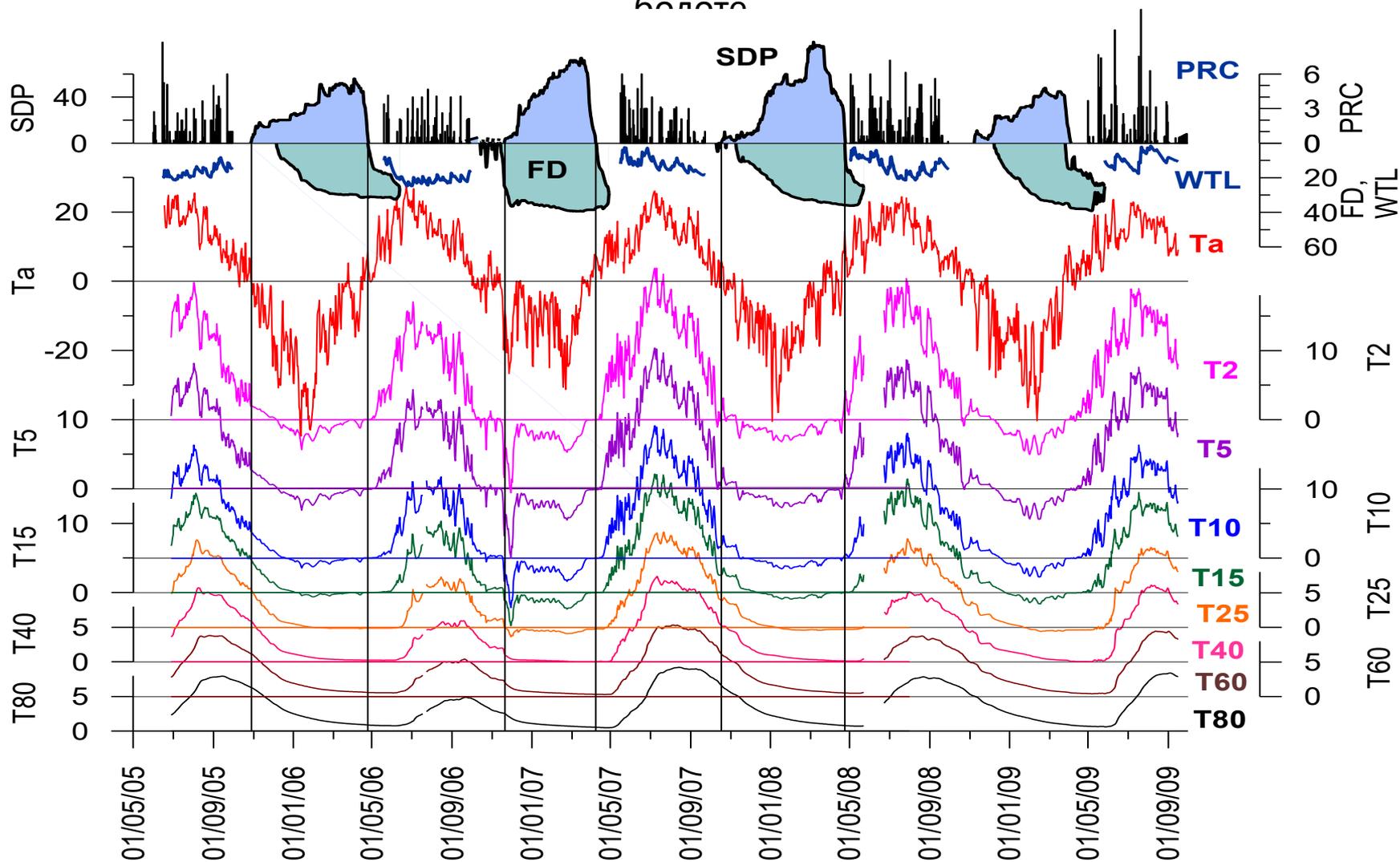


Soil-Atmosphere Measurement System

Self-maintained monitoring station

Parameter	Measurement range, accuracy
Atmospheric pressure	500 ... 810 mm Hg, ± 1.5 %
Air temperature and humidity	-55 ... +50°C, ± 0.1 °C; 0 ... 100%, ± 3.5 %.
Horizontal wind velocity and direction	0.9 ... 78 m/s, ± 5 %; 0 ... 360°, ± 7 %
Soil temperature profile	-55 ... +50°C, ± 0.1 °C
Soil moisture	0 ... 100%, 0 ... 40%: ± 1 %; 40 ... 70%: ± 2 %; Temperature range: -15...+50°C
Water table	0 ... 10.5 m, ± 1 %
Liquid precipitation amount	± 0.2 mm
Water conductivity	10^{-8} ... 0.2 Cm/m, ± 5 %
Snow depth (m)	0 ... 1.2 m, ± 0.05 m
Solar radiation	range 0.2 ... 10 μm , ± 5 %, 10 – 2000 W/m ²

Температура воздуха (T_a) и температура почвы 2 – 80 см ($T_2, T_5, T_{10}, T_{15}, T_{25}, T_{40}, T_{60}, T_{80}$), высота снега (SDP , см), глубина промерзания (FD , см), уровень болотных вод (WTL , см) и сумма осадков (PRC , мм) по данным наблюдений на Бакчарском болоте



Этап 2. Двумерный подход

- Подключение базы <https://opensource.umr-cnrm.fr/projects/ecoclimap>
- Сравнение с данными измерений как для минеральных почв так и для болотных экосистем
- Модель расчета уровня грунтовых вод в зависимости от осадков и горизонтального стока TOPMODEL.

Сравнение модели деятельного слоя ИВМ РАН с данными измерений с полигона **Тункинская котловина** (**Республика Бурятия**)

- Приборная база ИГ СО РАН (Иркутск)
- Атмосферно-почвенные измерительные комплексы (АПИК) (производство ИМКЭС СО РАН, Томск)
- Почвы – песок, супесь, суглинок, органическая почва (+ многолетнемерзлая неорганика)
- Глубины (см) – 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 – для конкретной площадки глубина в таблице
- Периодичность 1 час
- Для всех точек есть значения температуры, влажности воздуха с периодичностью 3 часа
- Влажность почвы на глубине 15 см с периодичностью 1 час (для площадок, обозначенных *)
- Площадь днища котловины примерно 70x100 км
- Есть данные метеостанции (включая температуру почвы)
- Кроме глубинных термометров есть данные по температуре воздуха по 18 точкам и температуре почвы на глубине 40 см по 8 точкам, расположенным в днище и на склонах (до высоты 2100 м) Тункинской котловины с 2009 г.

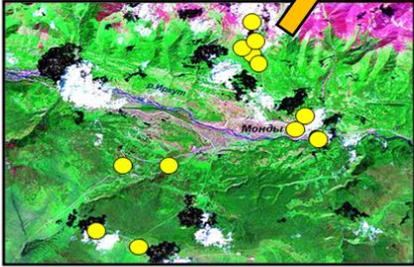
Юго-западное Прибайкалье

Расположение площадок исследования

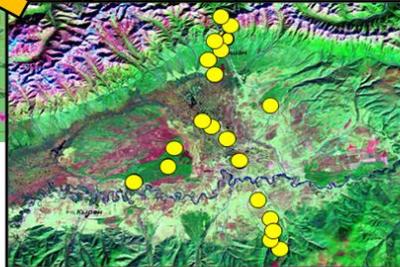
(температура, влажность воздуха + температура почвы 40 см)

Ландшафты

- болотные
- степные
- луговые
- лесостепные
- таежные
- гольцовые
-



Мондинская котловина
12 площадок
1260-2320 м над ур.м.



Тункинская котловина
26 площадок
720-2120 м над ур.м.

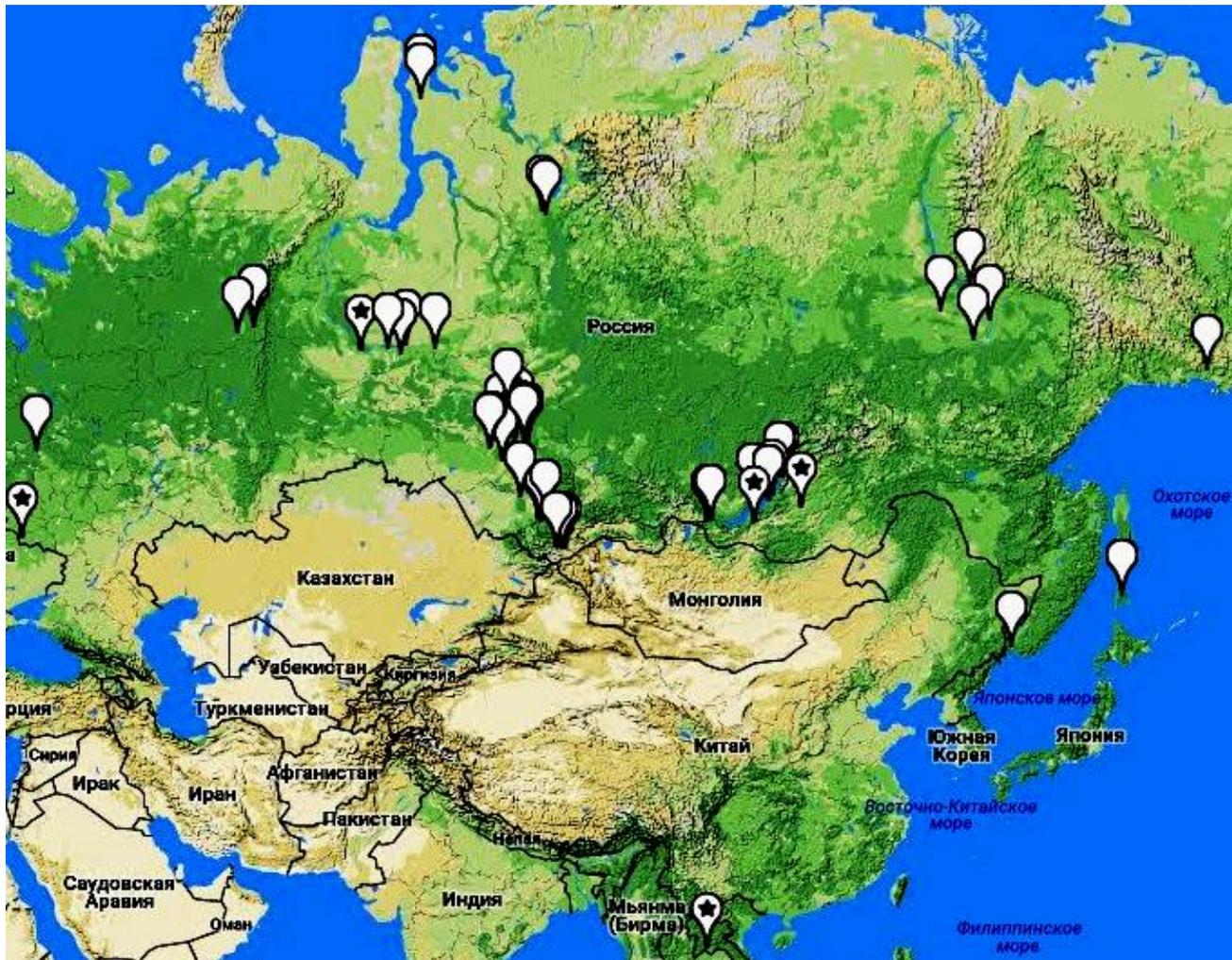
Юго-западное Прибайкалье
(Тункинская котловина)

Расположение площадок исследования (АПИК)



АПИК – 14-21 терморегистратор
(стандартные глубины)

- 14 комплекса до глубины 3,2 м
- 4 комплекса до глубины 5 м
- 3 комплекса до глубины 10 м



Map of soil temperature monitoring network

Kurakov et al., 2018

Спасибо за внимание!

Работа поддержана проектами РФФ 17-17-01210,
РФФИ-А 18-05-00306.