

# Опыт оценки минимальной суточной температуры поверхности по данным радиометра MODIS.

С.Г.Крицук, И.Ш.Латыпов, В.И.Горный  
Санкт-Петербург, ФИЦ РАН

**Ключевое понятие:** ЗАМОРОЗОК – краткое снижение температуры ниже определённой отметки. С точки зрения физиологии растений - это снижение температуры растения ниже определённой отметки на короткий, фиксированный интервал времени, приводящее с некоторой вероятностью к гибели растения. То есть с практической точки зрения важно картировать временные границы безморозного периода, когда вероятность заморозка, характеризуемого пограничными температурой и продолжительностью, ниже заданной.

**Цель исследования:** разработка процедуры оценки минимальной суточной температуры подстилающей поверхности по данным тепловой съёмки спутниками EOS (радиометра MODIS), пригодной для картирования статистических характеристик заморозков, в том числе дат начала и окончания безморозного периода и риска заморозка.

**Необходимые элементы процедуры:**

- фильтрация спутниковых данных,
- расчёт минимальной преддиктивной температуры поверхности,

Определяются особенностями данных MODIS в тепловом диапазоне (продукты MOD11A1 и MYD11A1):

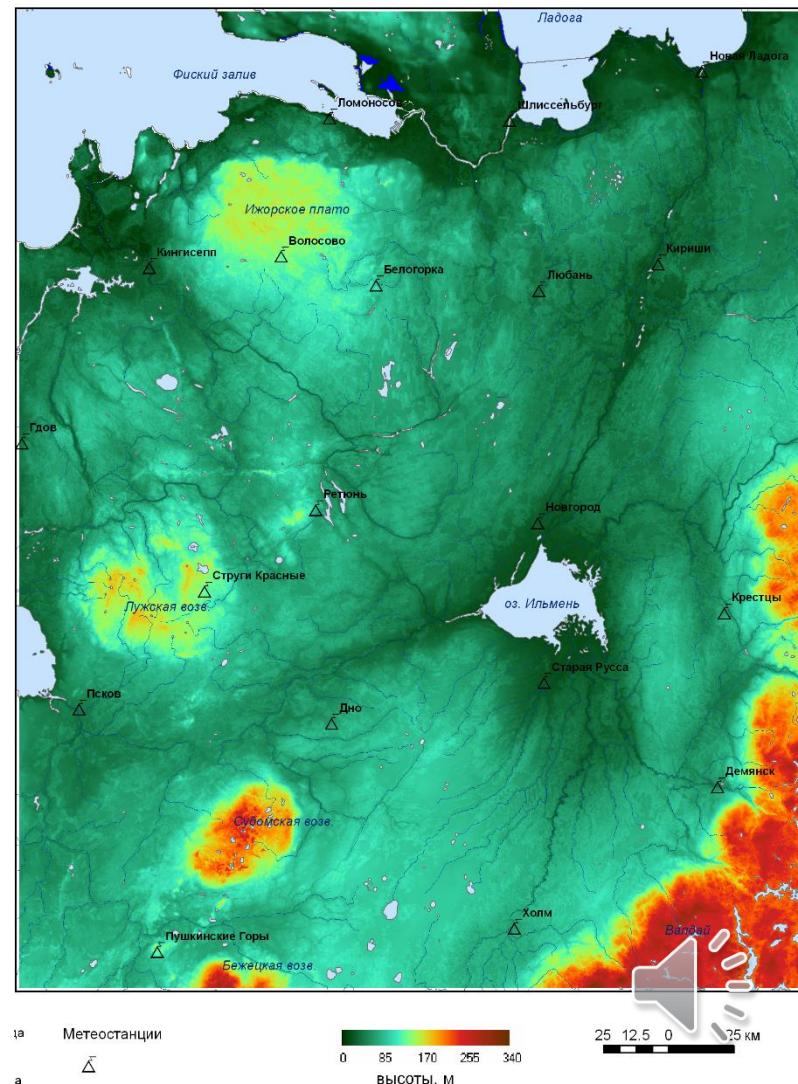
- высоких ошибок восстановления температуры (со средней ошибкой  $\leq 1\text{K}$  и  $\leq 2\text{K}$  для двух использованных классов точности).
- вариации времени «ночных» съёмок для Terra в интервале 21:30 – 0:30 МСК и Aqua в интервале 2:00 – 4:30 МСК

**Конечный продукт:** карты статистических характеристик заморозков.

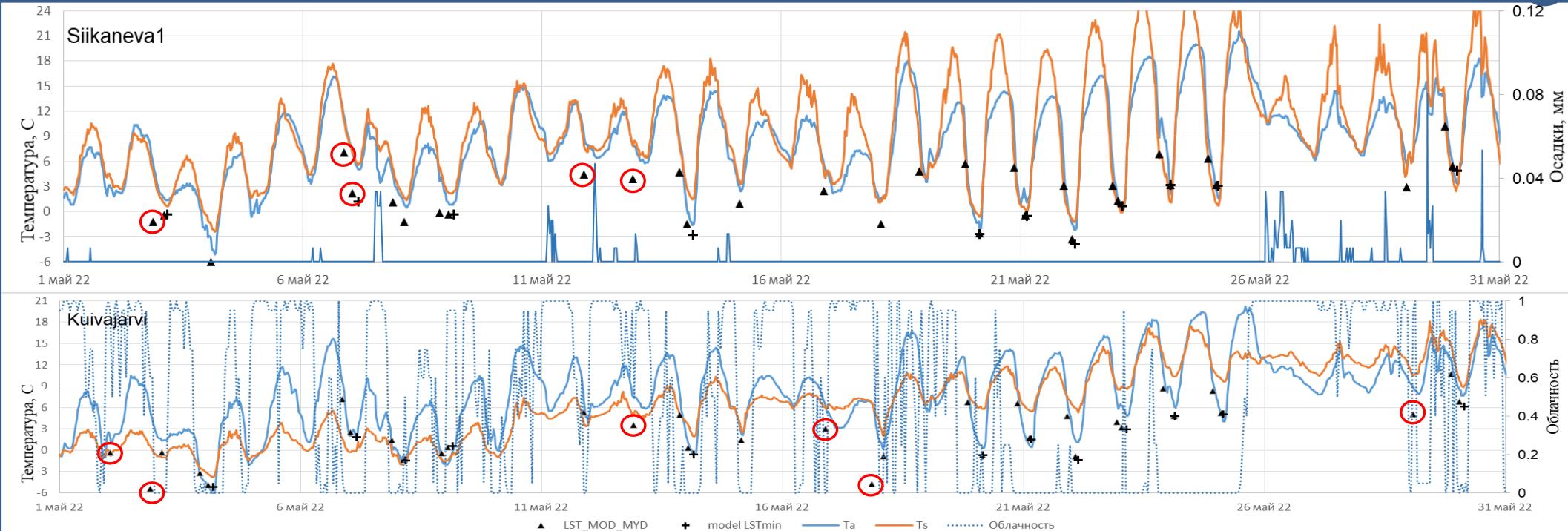
**«Испытательный полигон»:** Запад Ленинградской и Новгородской областей.

При подготовке были использованы:

- данные двух SMEAR за 2020-2023 гг. <smear.avaa.csc.fi>
- данные двадцати четырёх метеостанций за 2010-2024 гг. <rp5.ru>, <meteo.ru>
- данные MODIS (MOD11A1 MYD11A1) за 2010-2024 гг. <landsat.modaps.eosdis.nasa.gov>
- цифровая модель рельефа Copernicus\_DSM\_COG\_30\_DEM <copernicus-dem-30m.s3.amazonaws.com>
- карта растительного покрова России С.А.Барталев, В.А.Егоров, Д.В.Ериков, А.С.Исаев, Е.А.Луян, Д.Плотников, И.А.Уваров Спутниковое картирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS. //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2011



## Данные SMEAR (station for measure ecosystem atmospheric relation) Siikaneva1 и Kuivajarvi и данные MODIS в мае 2022 года

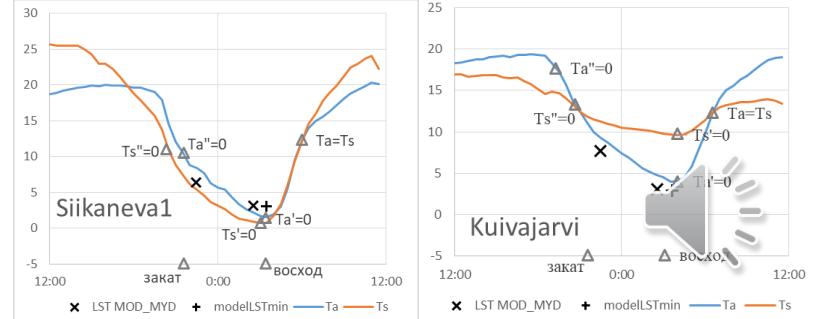


Температура воздуха (Ta), яркостная температура поверхности (Ts) и осадки по данным SMEAR (и положение их первой Т'и второй Т" производных по времени)

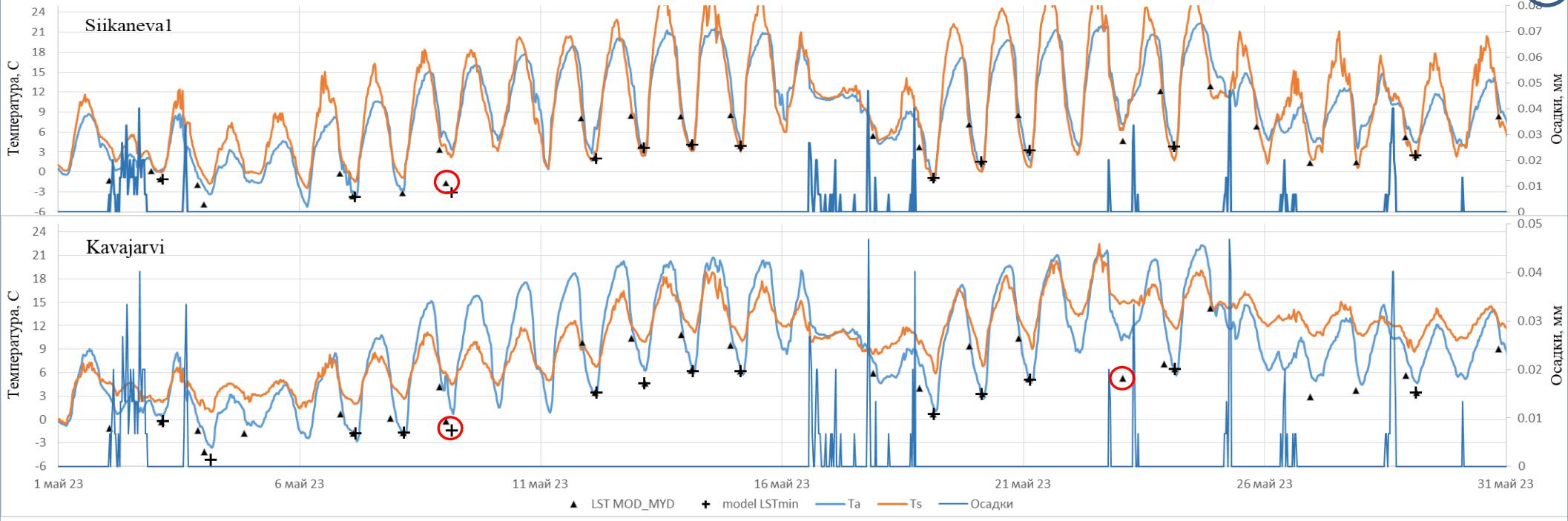
Измеренная (LST MOD MYD) температура поверхности - продукты MOD11 MYD11 и модельная минимальная (modelLSTmin) температура поверхности Облачность по rp5.ru.

Измеренная (LST MOD MYD) и предрассветная (modelLSTmin) температуры поверхности по данным MODIS ассоциирует скорее с температурой воздуха (Ta), чем с температурой поверхности (Ts) по данным SMEAR. В дни съёмки, когда наблюдается облачность (они помечены красными кружками), спутниковая температура из-за неправильной интерпретации облачности часто занижается и оказывается значительно ниже температуры воздуха по данным SMEAR.

Ночь 24-25 мая 2022 года температура воздуха (Ta), яркостная температура поверхности (Ts), предрассветная (modelLSTmin) и измеренная (LST MOD MYD) температура поверхности - продукты MOD11 MYD11, отмечены точки времени восхода и захода Солнца и обнуления первой  $T'=0$  и второй  $T''=0$  производных температуры по времени.



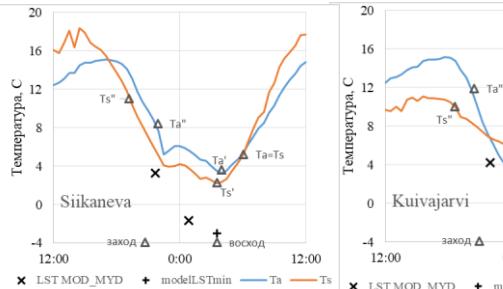
# Данные SMEAR Siikaneval и Kuivajarvi и данные MODIS в мае 2023 года



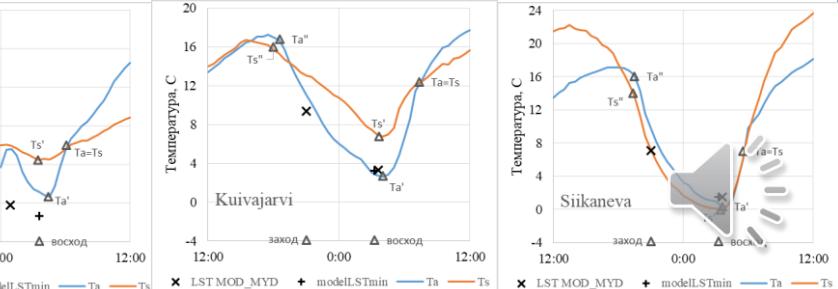
Температура воздуха (Ta), яркостная температура поверхности (Ts) и осадки по данным SMEAR (и положение их нулевых первой Т'и второй Т" производных по времени) Измеренная (LST MOD MYD) температура поверхности - продукты MOD11 MYD11 и предрассветная (модельная минимальная - modelLSTmin) температура поверхности .

По данным SMEAR поведение температуры воздуха (Ta) и яркостной температуры поверхности (Ts) на болоте (Siikaneva) отличается от такового в озерной котловине (Kuivajarvi). В 2023г. в озерной котловине минимальная температура воздуха значительно ниже яркостной температуры поверхности. В ночь 8-9 мая 2023г. фиксируются «ложные» (по спутниковым данным из-за неправильной интерпретации облачности) заморозки. Время максимальной скорости падения температуры предваряет заход Солнца ~ на час.

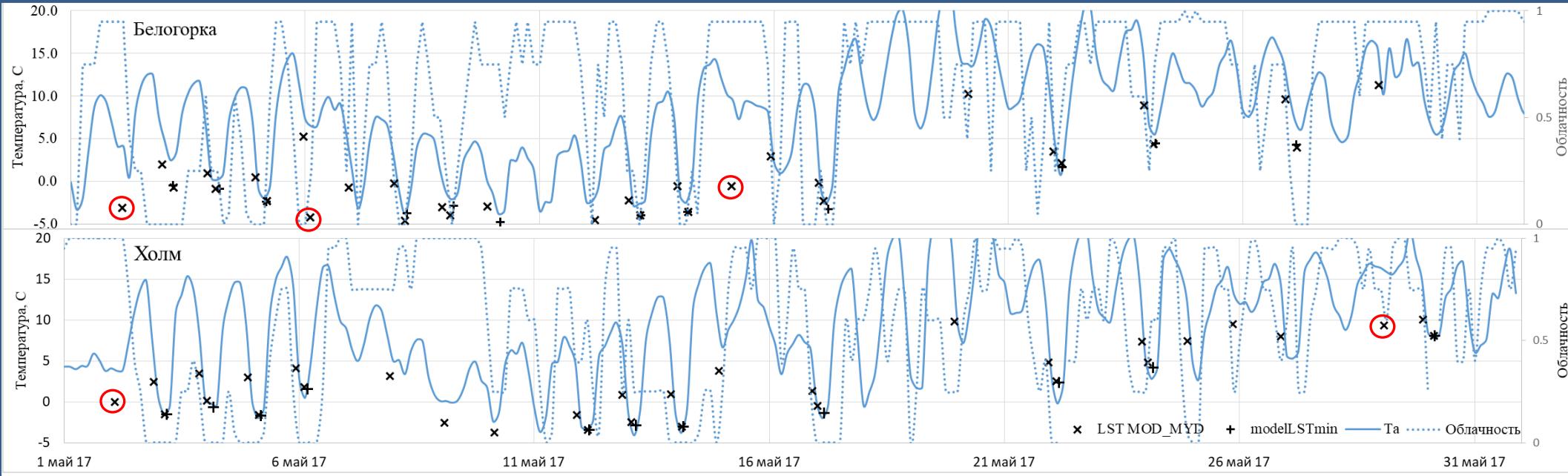
## Ночь 8-9 мая 2023 года



## Ночь 19-20 мая 2023 года

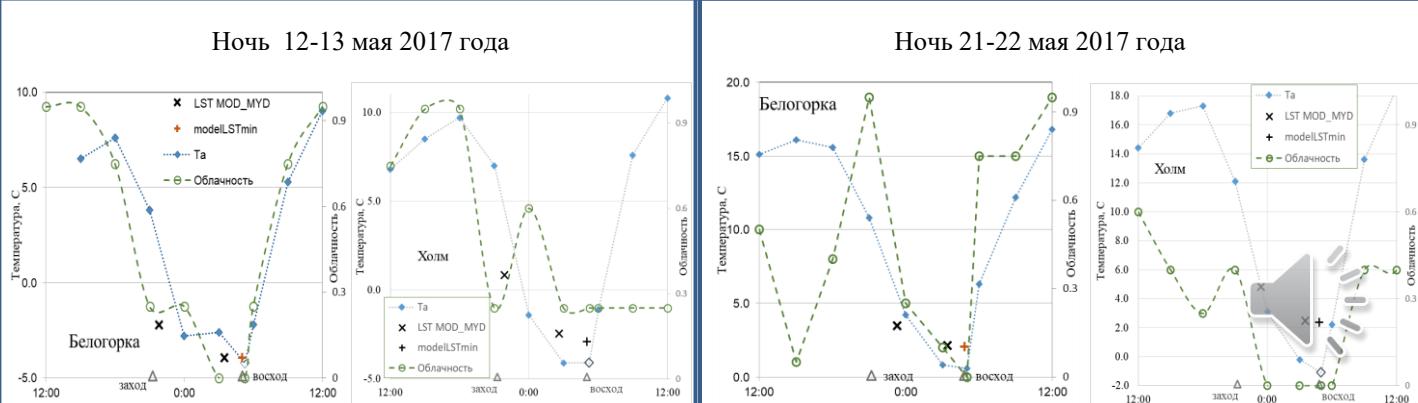


# Данные метеостанций Белогорка и Холм и данные MODIS в мае 2017 года



Температура воздуха (Ta), облачность, предрассветная (modellSTmin) и измеренная (LST MOD\_MYD) температура поверхности - продукты MOD11 MYD11

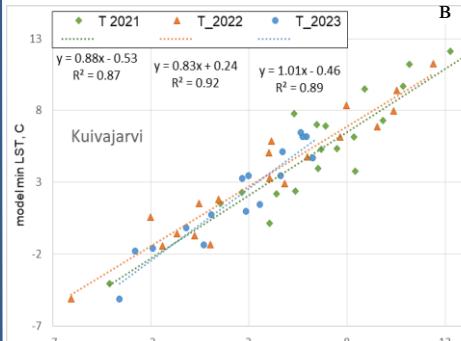
Интенсивность заморозка по спутниковым данным часто меньше, чем по метеоданным, а длительность больше. Первое связано с различным пространственным разрешением данных ночью (метео – первые сотни метров; спутниковые 1,5 – 2 км). Пример - заморозок 22.5.17 в Холме, по спутниковым данным пропущенный. Второе часто связано с заниженной из-за неправильной интерпретации облачности температурой по данным MODIS Terra. Пример - заморозки в Холме и Белогорке 13.5.17.



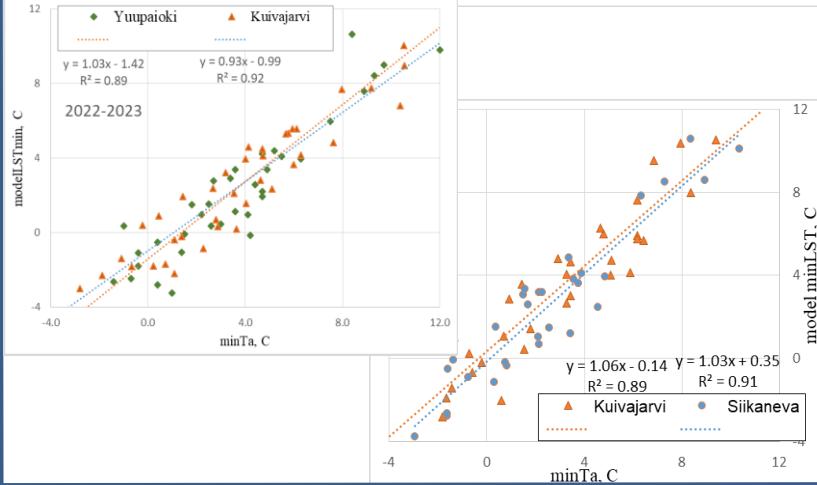
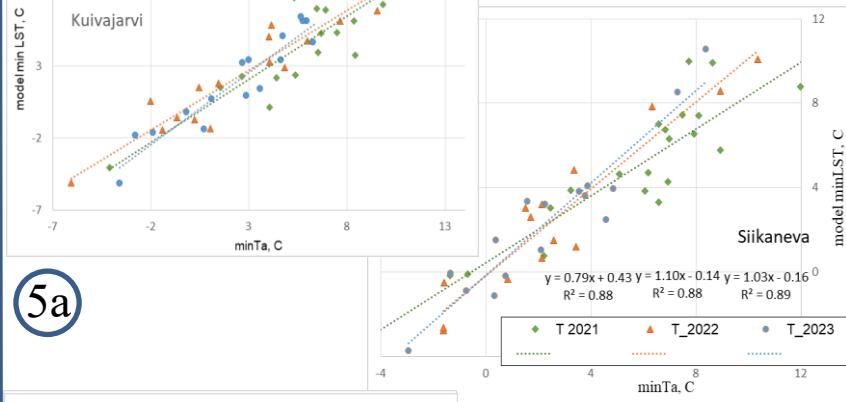
Соотношение минимальных температур воздуха (minTa) и поверхности (предрассветной – modelLSTmin и яркостной minTs)  
в точках расположения метеостанций

Для двух экосистем в Финляндии в 2021-2023 годы

Болото (Siikaneva) и озерная котловина (Kuivajarvi), и две соседние точки

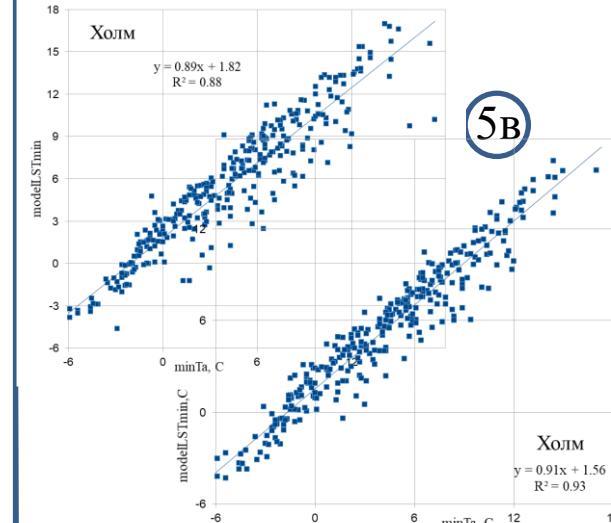


озерной котловине на удалении  
в два километра друг от друга  
(Kuivajarvi - Yuupaioki)

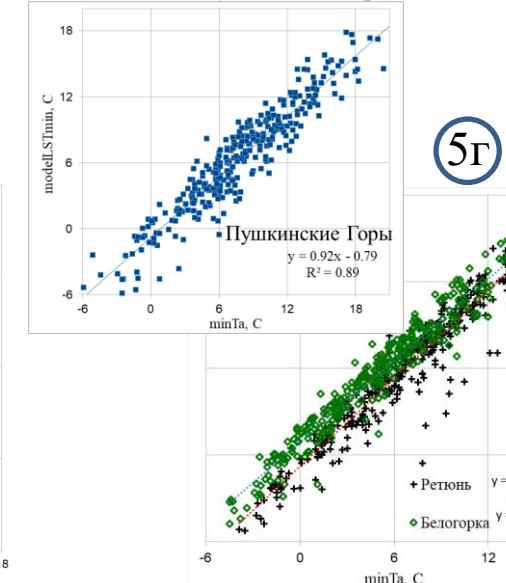


Для экосистем СЗ России в мае-июне 2010-2024гг.

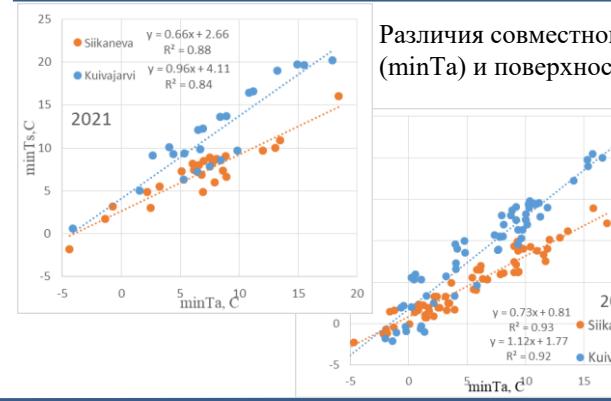
Окраина болота в Холме верхний график – до, а  
нижний после исключения экстремально низких  
спутниковых температур.



5в

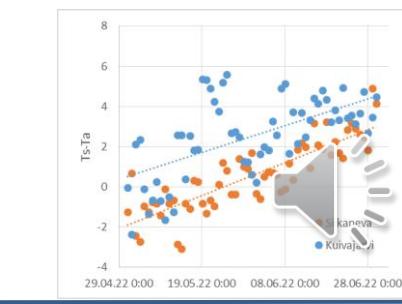
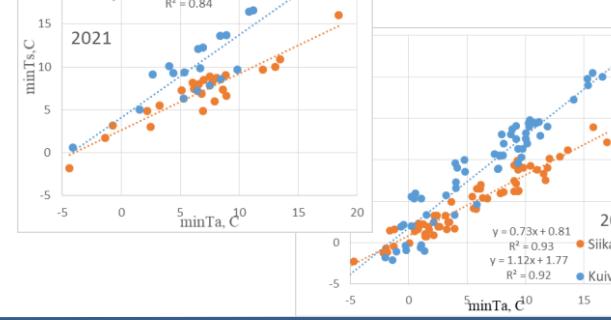


5г

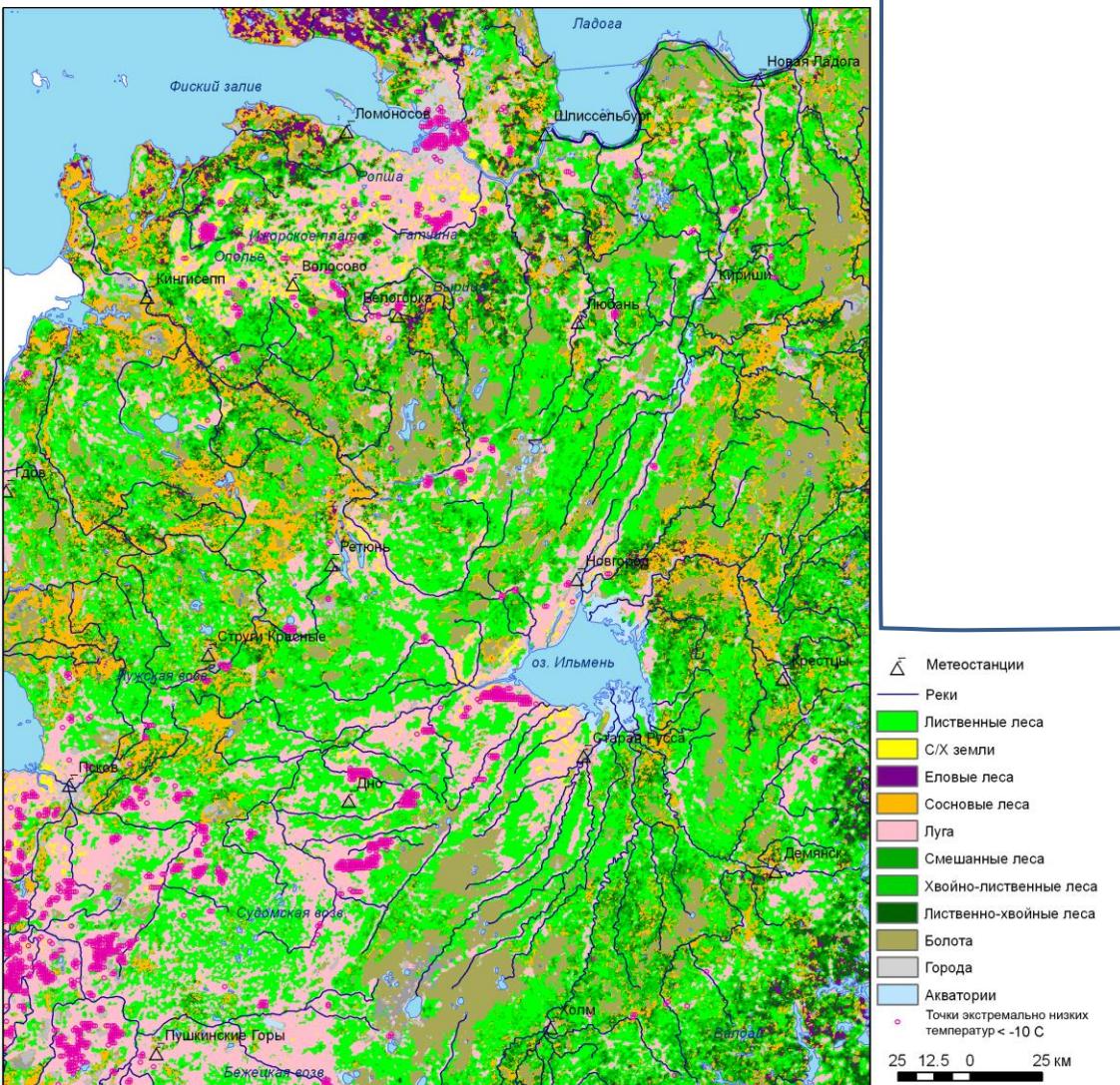


Различия совместного распределения минимальных температур воздуха  
(minTa) и поверхности (minTs) между болотом и озерной котловиной.

5б



## Экстремально-низкие температуры поверхности (MODIS - продукты MOD11 MYD11) за май – июнь 2010 – 2024 гг.



## Выводы:

- Расчёт предрассветной температуры поверхности позволяет отказаться от учета времени съёмки и долготы местности при картировании статистик заморозков, оценить не только «интенсивность», но и продолжительность заморозка.
- Предрассветная температура поверхности в точках расположения метеостанций коррелирует с минимальной температурой воздуха с высокой степенью обусловленности. Это позволяет использовать их регрессионную зависимость для фильтрации данных – удаления экстремально низких по отношению к линии регрессии значений предрассветных температур.
- Исключение экстремально низких предрассветных температур поверхности, если судить по данным в точках расположения метеостанций, сближает оценки риска и даты начала-окончания безморозного периода по метеорологическим и спутниковым данным при этом риски снижаются ~20%.

В заключении можно отметить, что экстремально низкие спутниковые температуры поверхности привязаны к области активной деятельности человека, в частности, к землям сельскохозяйственного назначения и могут быть связаны с особенностями их эксплуатации и/или гидрологического режима.

