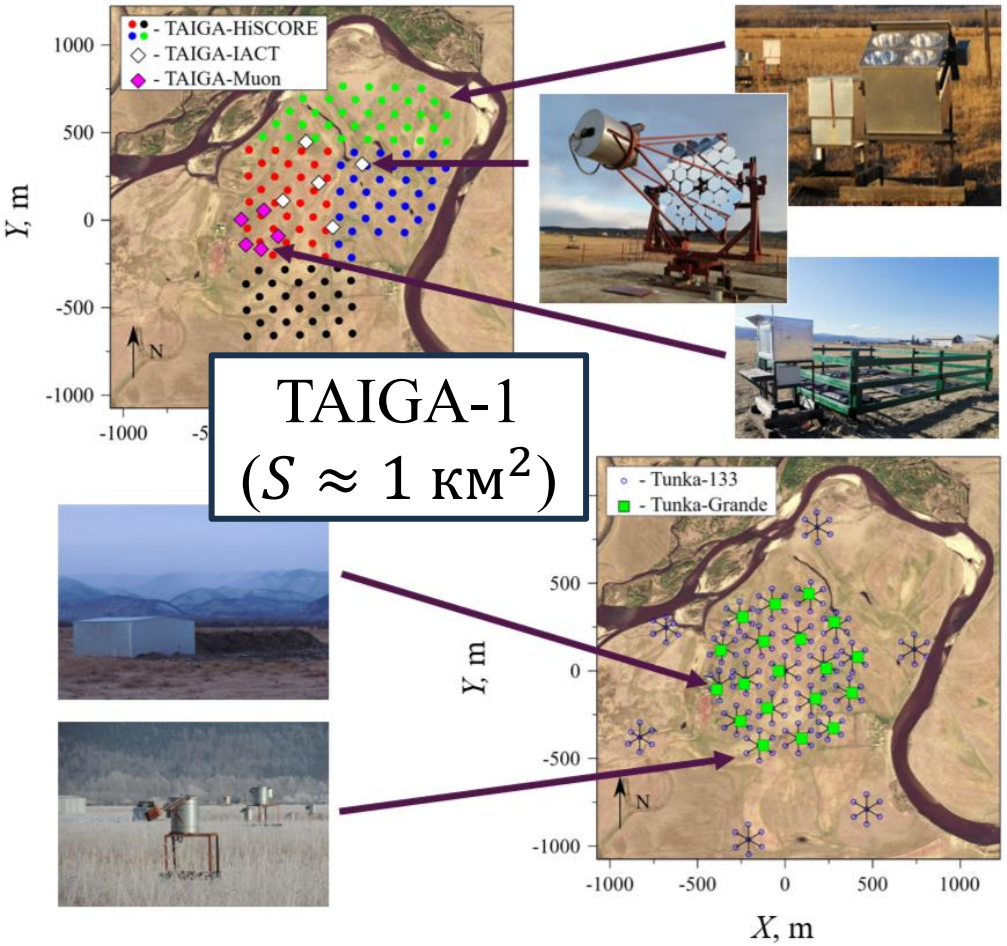
Мониторинг климатических условий для астрофизического комплекса TAIGA-100

А. Иванова, Коллаборация TAIGA

ВККЛ-2026,

Исследование поддержано Российским научным фондом (проект 23-72-00016) и Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FZZE-2024-0005)

Проект астрофизического комплекса TAIGA-100



TAIGA-100 ($S \approx 100$ км^2)

~ 3000 станций (каждая станция = широкоугольный черенковский детектор + подземный водный черенковский детектор + сцинтилляционный детектор + радиоантенна);
~ 5-7 IACTs с диаметром зеркала 4 м;
~ 1-2 IACTs с диаметром зеркала 10 м;
~ 2-3 флюоресцентных детектора.

Научная программа:

Исследования в области гамма-астрономии при энергиях $\geq 10^{14}$ эВ.
Исследования в области физики космических лучей (КЛ) в диапазоне 10^{14} - 10^{19} эВ.
Поиск диффузного гамма-излучения в интервале энергий 10^{14} - 10^{19} эВ.
Поиск гамма-квантов от гамма-всплесков с энергией $\geq 5 \cdot 10^{12}$ эВ.
Поиск горизонтальных нейтринных событий с энергией $\geq 10^{17}$ эВ.
Исследования в области геофизики.
Поиск «новой физики».

Доклады: Кузьмичев Л.А. «Астрофизический комплекс TAIGA», обзорный доклад 01.07.2026, 10:00
Монхоев Р.Д. «Пилотный проект TAIGA-100», ПКЛ2, 01.07.2026, 14:45

Критерии отбора площадки для развертывания TAIGA-100

1) **Астроклимат:**
- высокая доля безоблачных ночей;
- высокая прозрачность атмосферы;
- низкая влажность и минимальное количество осадков;
- минимальный уровень антропогенной засветки;
- минимальная толщина и продолжительность снежного покрова.

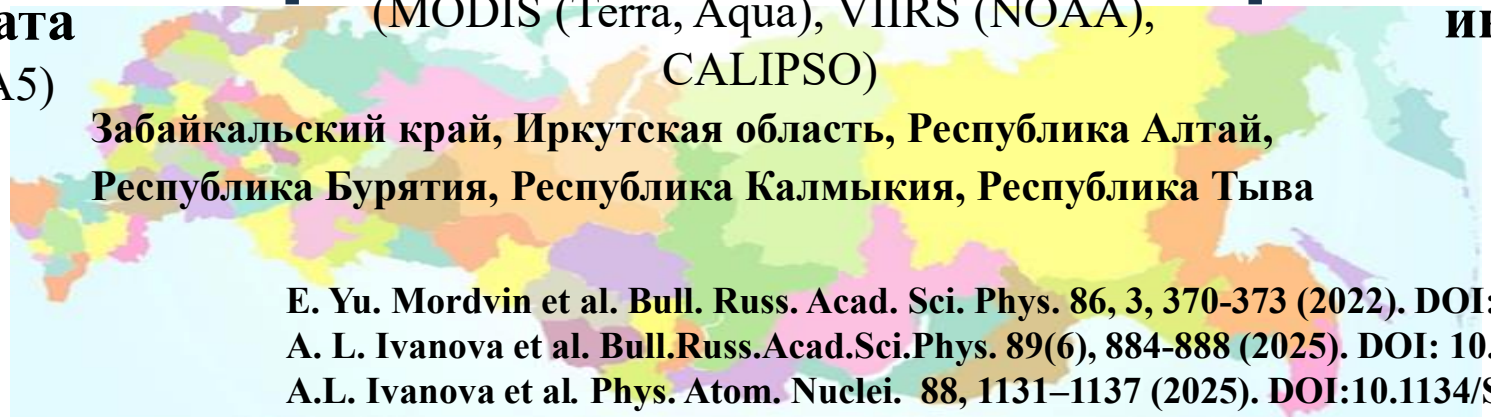
2) **Топографические особенности местности:**
- $S \sim 100$ км^2;
- минимальная крутизна склонов;
- грунты пригодны к земляным работам на глубине не менее 3 м;
- среднегодовая положительная температура грунта на глубине ~ 2 м;
- Наличие воды для водных черенковских детекторов.

3) **Инфраструктура:**
- удаленность;
- транспортная доступность;
- назначение земель;
- доступность и стоимость электроэнергии;
- доступность телекоммуникационной сети.

Комплексный подход к исследованию потенциальных площадок

1) Совместный анализ данных

моделей ретроспективного анализа климата (ERA5-Land, ERA5) + **спутниковых систем** (MODIS (Terra, Aqua), VIIRS (NOAA), CALIPSO) + **картографической информации**



Забайкальский край, Иркутская область, Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Калмыкия, Республика Тыва

E. Yu. Mordvin et al. Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 86, 3, 370-373 (2022). DOI:10.3103/S1062873822030182
A. L. Ivanova et al. Bull.Russ.Acad.Sci.Phys. 89(6), 884-888 (2025). DOI: 10.1134/S1062873825711651
A.L. Ivanova et al. Phys. Atom. Nuclei. 88, 1131–1137 (2025). DOI:10.1134/S1063778825602033

Площадки, отобранные для дальнейшего исследования по результатам 1 этапа:

- **Боргойская степь, 50.84 с.ш., 105.81 в.д., 700-800 м. над ур. м.**
- **Чуйская степь, 49.89 с.ш., 88.22 в.д., 1700-1800 м. над ур. м.**

2) Натурные наблюдения с помощью собственных астроклиматических станций

Астроклиматическая станция

Цель создания:

сравнительный анализ астроклимата Тункинской долины и потенциальных площадок для развертывания TAIGA-100, оперативный астроклиматический мониторинг для астрофизических наблюдений.

Текущее оснащение:

1. Метеорологический модуль:

- **Small weather station CWT-UWD-SDTHR;**
- **bme280.**

2. Термометрическая коса (DS18B20).

3. Оптический модуль:

- **широкоугольная камера G3M178MC с объективом COMPUTAR EG3Z3915FCS-MPWIR-31)*;**
- **2 пирометра MLX90614ESFBAA.**

В полной комплектации:

+ Черенковский детектор (на базе оптической станции установки TAIGA-HiSCORE)

+ Сцинтилляционный детектор (2 сцинтилляционных счетчика установки TAIGA-Muon)

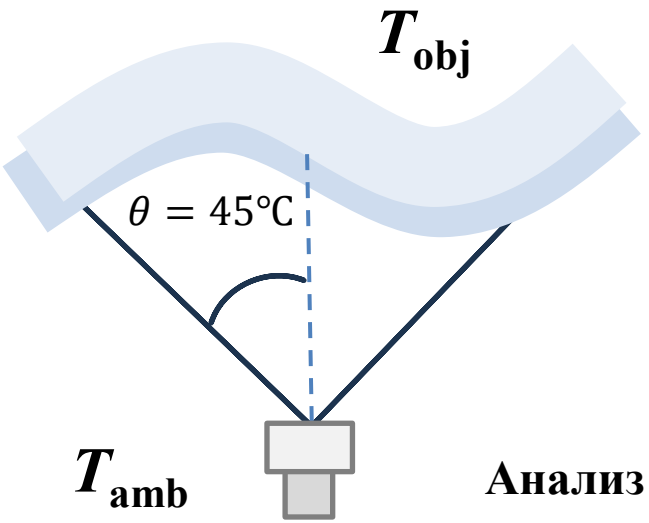
+ Радиоантенна (Tunka-Rex)

Первые астроклиматические станции:

- **Тункинская долина, на территории астрофизического комплекса TAIGA-1, набор данных с декабря 2024 по настоящее время.**
- **Боргойская степь, Республика Бурятия, набор данных с сентября 2025 по настоящее время.**

***постер В. Сверкунова «Разработка методики анализа облачности по снимкам неба в рамках поиска площадки для установки TAIGA-100»**

Мониторинг состояния атмосферы с помощью пирометров



Цель: мониторинг и анализ состояния атмосферы, вывод критерия для оценки облачного покрова

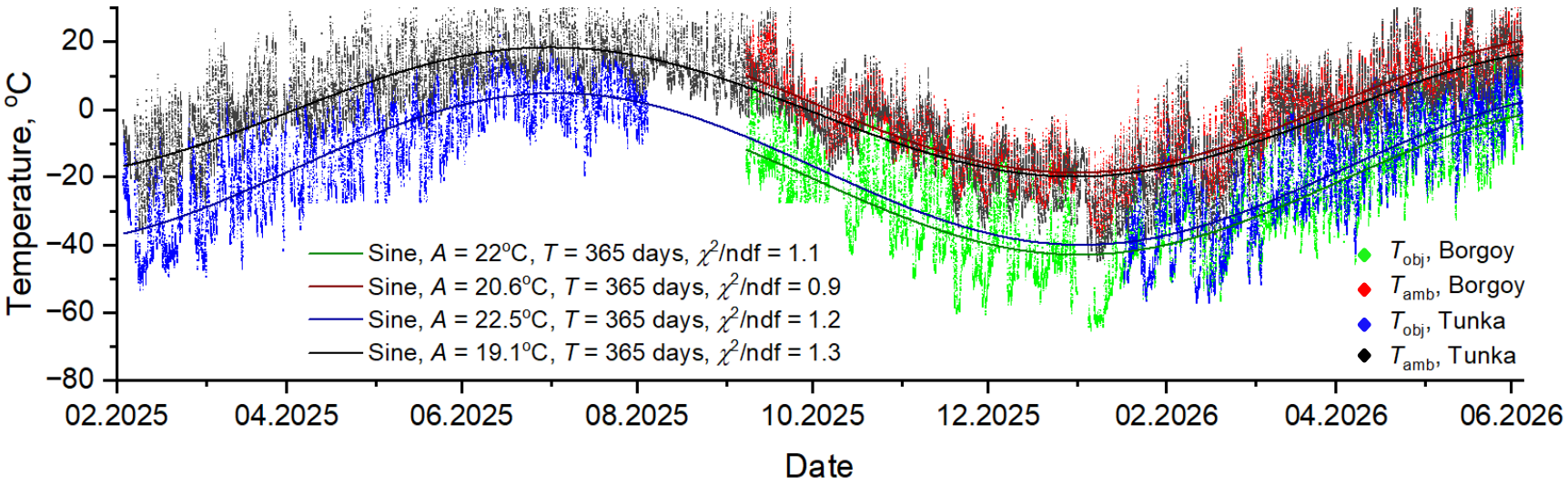
Измеряемые параметры: T'_{obj} → $T_{obj}=T'_{obj}/\varepsilon$ (°C), где $\varepsilon = 0.95$, T_{amb} (°C)

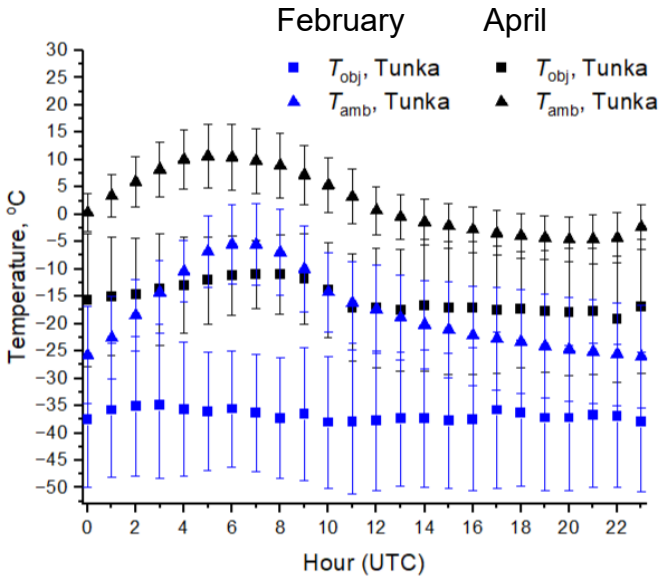
Возможные подходы к оценке облачного покрова:

Анализ разности температуры неба и окружающей среды:

$$\Delta T = T_{obj} - T_{amb}$$

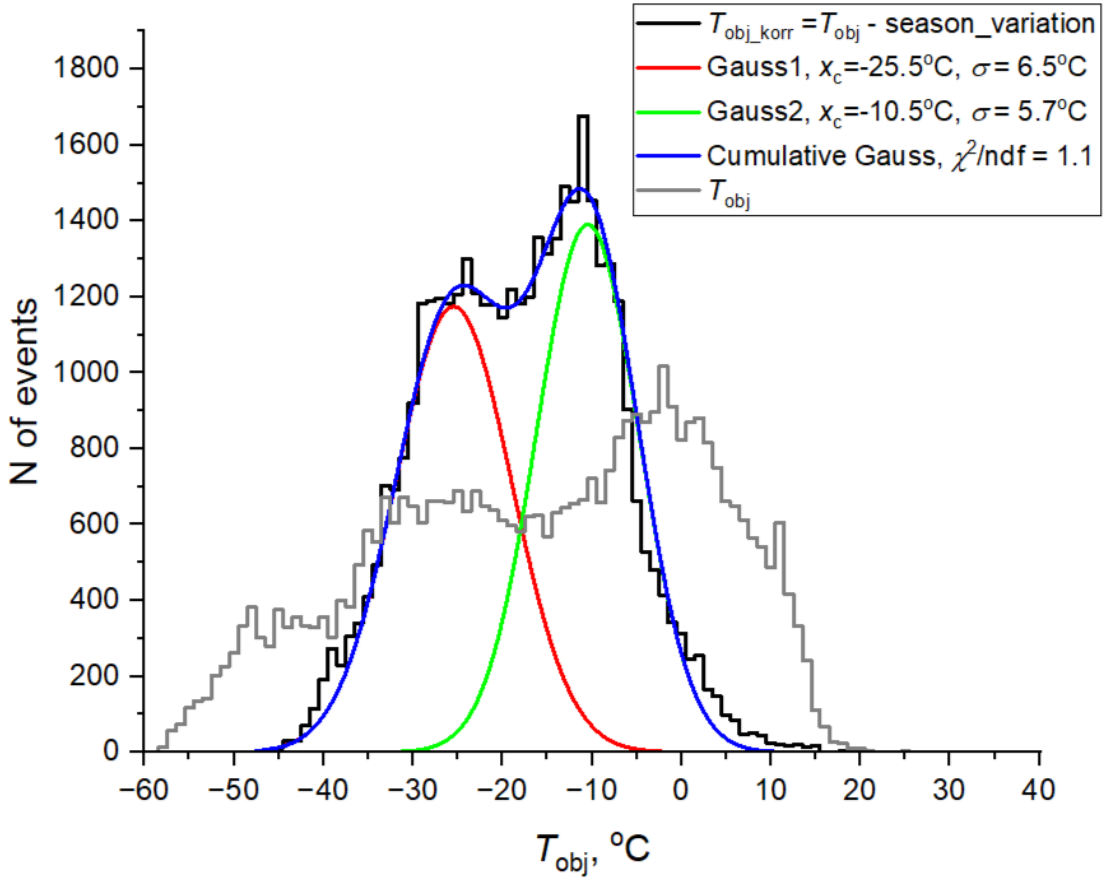
Анализ температуры неба T_{obj}





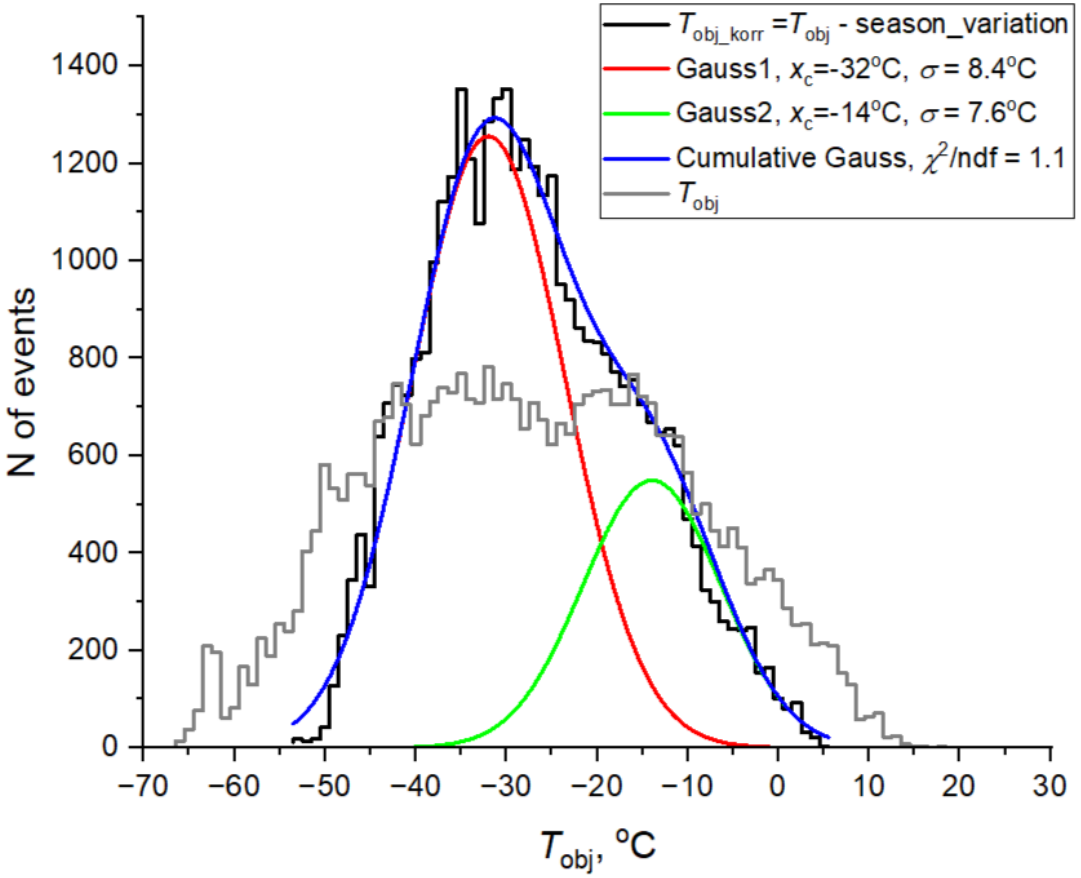
Оценка облачности по данным пирометров

Тункинская долина, 14.02.2025 – 16.06.2026



S_1/S_2 = 49%/51%

Боргойская степь, 19.09.2025 – 16.06.2026



S_1/S_2 = 72%/28%

Сравнение показаний пирометров с данными спутниковых систем

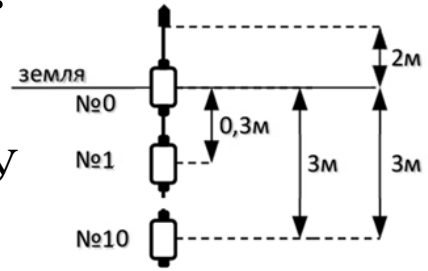
Доля ясных периодов, %			
Площадка	**Оценка по T_{obj_korr}**	**Оценка по ΔT**	**Оценка по данным спутниковых систем***
Tunka, 12.02.25-14.08.25, 01.02.26-16.06.26	**49%**	**51%**	**45-50%**
Borgoy, 19.09.25-16.06.26	**72%**	**76%**	**68-71%**

***MODIS (Terra, Aqua), VIIRS (NOAA) (данные 5 лет наблюдений, 2019-2023 гг),**
A.L. Ivanova et al. Phys. Atom. Nuclei. 88, 1131–1137 (2025). DOI:10.1134/S1063778825602033

Анализ данных термометрических кос (датчики DS18B20)

На территории TAIGA-1:

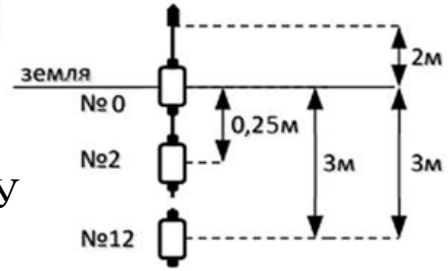
Термометрическая коса производства НИИПФ ИГУ

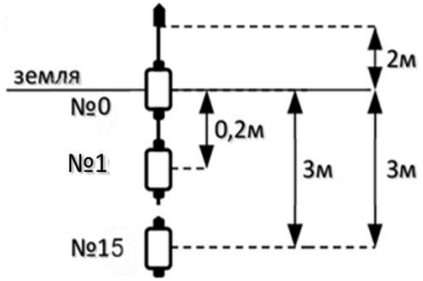


В Боргойской степи:

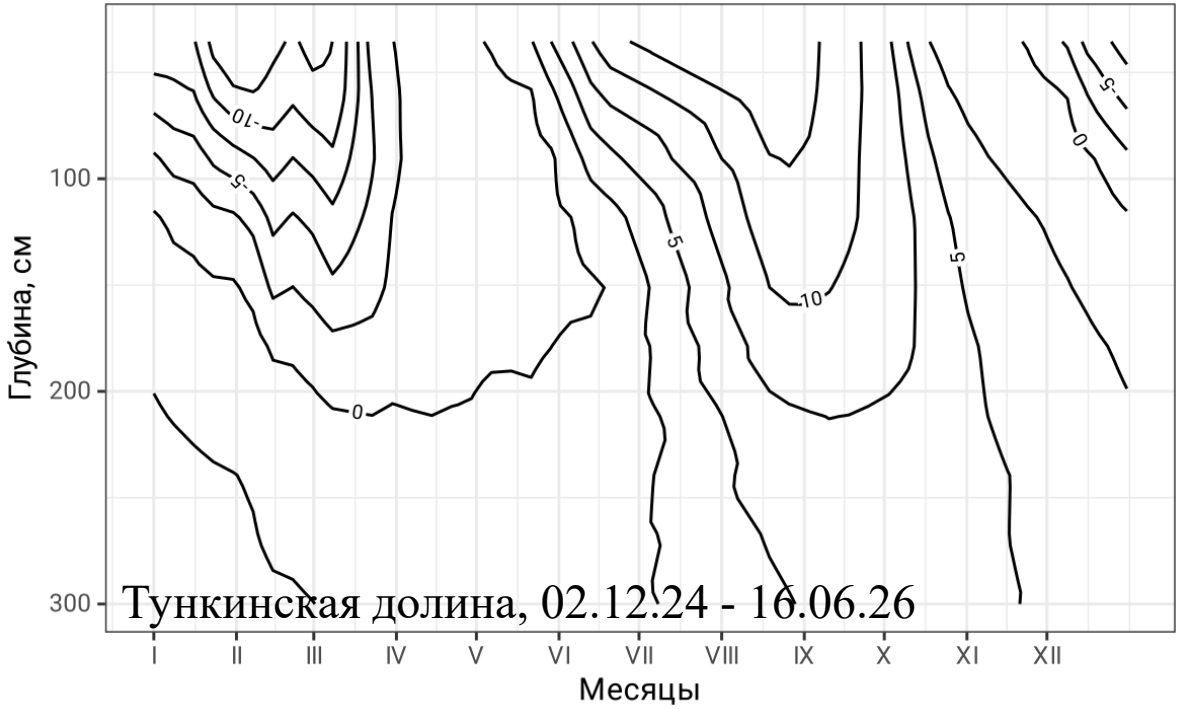
Производства «Термостатика»

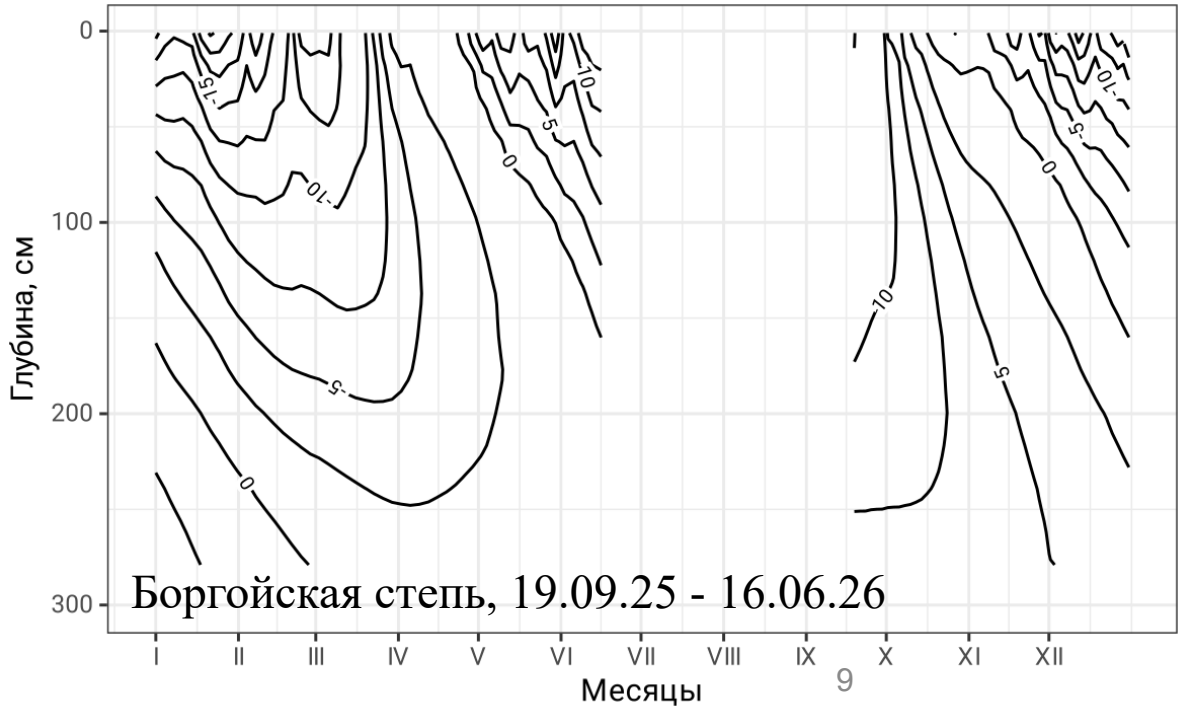
Производства НИИПФ ИГУ





Температурные хроноизоплеты по данным термометрических кос



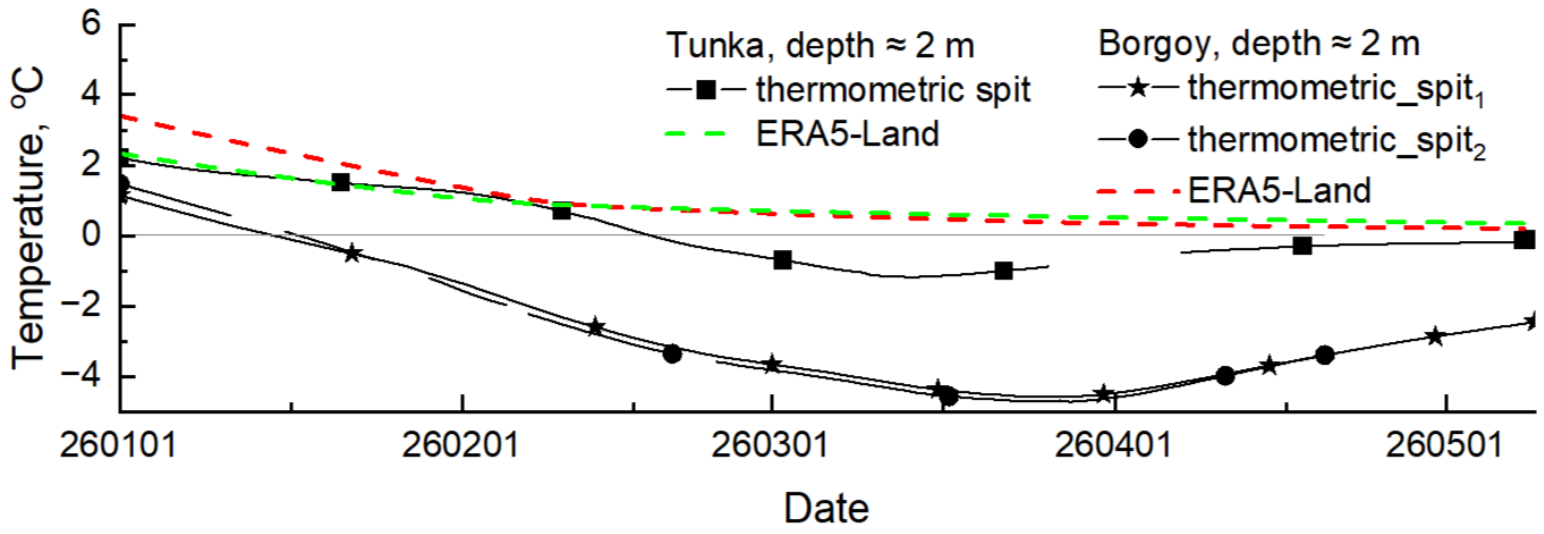


Сравнительный анализ данных термометрических кос и модели ретроспективного анализа климата ERA5_Land

ERA5-Land – глобальный набор данных для ретроспективного анализа климата с пространственным разрешением 0.1°×0.1° и четырёхслойным представлением грунта, где поверхность находится на уровне 0 см:0–7 см, 7–28 см, 28–100 см, 100–289 см.

Среднегодовая температур грунта на глубине ≈ 2 м			
Тункинская долина		Боргойская степь	
Мониторинг	ERA5-Land*	Мониторинг	ERA5-Land*
2.5 °C	2 °C	1.6 °C	1.6 °C

***результаты анализа данных Era5-Land за 2019 – 2024 гг.**



ERA5-Land завышает температуру грунта на глубине порядка 2 м в зимне-весенний период.

Разность среднемесячных значений в период отрицательных температур для Тункинской долины достигает 1.6 °C, для Боргойской степи – 5 °C.

Заключение

- **Результаты астроклиматических станций** согласуются и дополняют с данные спутниковых систем и климатической модели ERA5-Land.
- **Комплексный подход** к исследованию астроклимата показал свою эффективность и позволил получить более полную картину климатических условий в пределах локальных площадок.

Перспективы развития:

- расширение сети астроклиматических станций,
  - ✓ в августе-сентябре 2026 г совместно с сотрудниками АлтГУ запланировано начало развертывания астроклиматической станции в Чуйской степи. Первый этап - установка двух термометрических кос производства фирмы «Термостатика» (автономное питание, передача данных через мобильную сеть).
- оснащение станций дополнительным оборудованием,
  - ✓ осень 2026 г. – установка в Боргойской степи черенковского детектора.
  - ? осень 2026 г. - установка в Боргойской и Чуйской степях сцинтилляционных детекторов на основе счетчиков производства ИЯФ СО РАН.
- совершенствование методик обработки данных,
- продолжение поиска оптимальных площадок для TAIGA-100

Спасибо за внимание!