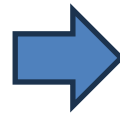
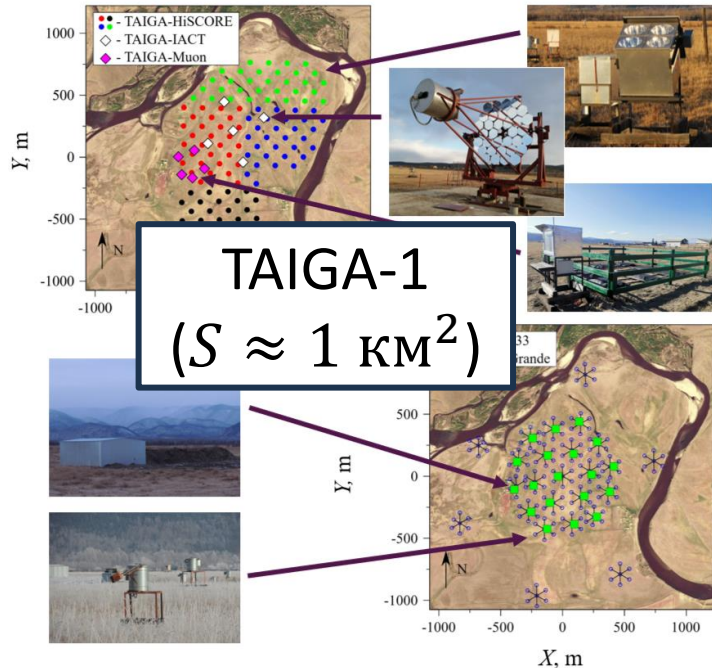


Поиск площадки для развертывания астрофизического комплекса TAIGA-100

А. Иванова, Коллаборация TAIGA
Сессия-конференция секции ядерной физики ОФН РАН,
Новосибирск, 11 марта 2026

Исследование поддержано Российским научным фондом (проект 23-72-00016)

Проект астрофизического комплекса TAIGA-100



TAIGA-100 ($S \approx 100 \text{ km}^2$)

~ 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».

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.

2) Топографические особенности местности:

- $S \sim 100 \text{ км}^2$;
- минимальная крутизна склонов;
- грунты пригодны к земляным работам на глубине не менее 3 м;
- положительная температура грунта на глубине $\sim 2 \text{ м}$;
- Наличие воды для водных черенковских детекторов.

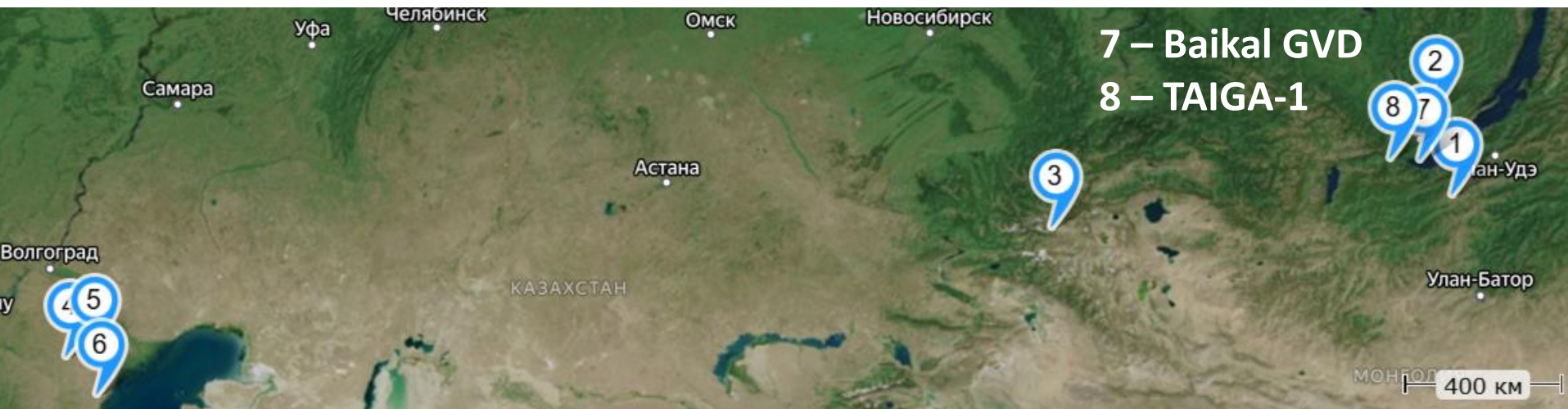
3) Инфраструктура:

- удаленность;
- транспортная доступность;
- назначение земель;
- доступность и стоимость электроэнергии;
- доступность телекоммуникационной сети.



Перспективные территории

- **1** - Республика Бурятия, **Боргойская степь** (50.84 с.ш., 105.81 в.д.)
- **2** - Иркутская область, окрестности с. **Гаханы** (53.11 с.ш., 104.91 в.д.)
- **3** - Республика Алтай, **Чуйская степь** (49.89 с.ш., 88.22 в.д.)
- **4** - Республика Калмыкия, окрестности п. **Яшкуль** (46.17° с.ш., 45.34° в.д.)
- **5** - Республика Калмыкия, окрестности п. **Халхута** (46.32° с.ш., 46.37° в.д.)
- **6** - Республика Калмыкия, окрестности п. **Буровой** (44.95° с.ш., 46.65° в.д.)



Комбинированный подход к исследованию потенциальных площадок: совместный анализ данных спутниковых систем, моделей глобального климата, картографической информации, натуральных наблюдений.

Сводные характеристики действующей и потенциальных площадок

Параметр	п. Торы (8)	с. Гаханы (2)	Боргойская степь (1)	Чуйская степь (3)	Республика Калмыкия
Высота над уровнем моря h , м	600 – 700	600 – 700	700 – 800	1700–1800	0–6 (4), 0–4 (5) -14 < h < -12 (6)
Крутизна склонов	< 5°	< 5°	< 5°	< 5°	< 5°
Влажность (количество водяного пара в атмосфере), кг/м ²	3.0-3.2	3.4-3.5	3.1-3.3	2.2-2.5	5.4–5.7 (4), 5.6–5.8 (5), 5.8–6.2 (6)
Годовое кол-во осадков, мм в год	300 – 350	250-300	< 250	< 200	200-340
Атмосферная оптическая толща АОТ, данные дневных наблюдений спутников Terra и Aqua (470 нм) в периоды отсутствия снежного покрова	0.18	0.12	0.11	0.19	0.07 (4), 0.09 (5), 0.1 (6)
Глубина снежного покрова, см / продолжительность, мес.	10-15 / 3.5 - 4	9-12 / 3.5 - 4	2-3 / ~ 3	0.01 – 2 / 2.5 – 3	0.01 – 2 / постоянного снежного покрова нет

Сводные характеристики действующей и потенциальных площадок

Параметр	TAIGA-1	с. Гаханы	Боргойская степь	Чуйская степь	Республика Калмыкия
Площадь, км ²	1	≈ 20*	100	100	100 (4, 5, 6)
Антропогенная засветка, мкВт × м ⁻² × ср ⁻¹	~ 5	~ 5*	< 5	< 5	< 5 (4, 5, 6)
Количество безоблачных ночей, %	45 – 50 %	60 – 64 %	68 – 71 %	70 – 75 %	40 – 45% (4)* 45 – 47% (5)* 30 - 35% (6)*
среднегодовая / минимальная среднемесячная ночная температура грунта на глубине 100 - 289 , °C	2. / -0.45	1. / -0.65	1.6 / -0.8	-1.2 / -7.1*	14.2 / 5.9 (4), 14.4 / 5.8 (5), 15.1 / 12.1 (6)

* Негативные факторы

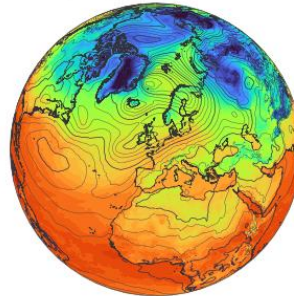
На слайдах 5-6 представлены результаты анализа данных спутниковых систем MODIS (Terra, Aqua), VIIRS (NOAA), алгоритма MAIAC (Aqua, Terra) и модели глобального климатического анализа Era5-Land за 2019 – 2023/2024 гг. Для анализа и визуализации использовались геоинформационная система QGIS (+ GDAL & GRASS), Google Satellite, ESRI Satellite, Open Street Maps, Copernicus Global DSM 30m (цифровая модель рельефа с шагом 30x30 м, полученная ходе миссии спутника TanDEM-X в период с 2011 по 2015 год).

Недостатки

СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ И КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ



- ограниченное пространственное разрешение;
- периодичность съемки;
- длительное время накопления статистики;
- искажение данных из-за облачности, особенностей поверхности (воды, снежного и ледяного покрова), кривизны Земли и др.



ERA5-Land, T °C на глубине 2 м



- Недостаточное количество экспериментальных данных;
- Неточности в моделировании мало изученных и топографически сложных регионов;
- Упрощённое моделирование локальных особенностей;
- Недостаточная верификация на локальных данных.

Необходимы натурные наблюдения



~~Государственные метеостанции системы Росгидромета (расстояние между площадками и ближайшими метеостанциями > 50 км)~~



с помощью собственных астроклиматических станций

Астроклиматическая станция

Цель создания: сравнительный анализ астроклимата Тункинской долины и потенциальных площадок для развертывания проекта TAIGA-100

Параметры для измерения:

- атмосферные температура, давление, влажность,
- скорость и направление ветра;
- облачный покров;
- прозрачность атмосферы для черенковского света;
- количество осадков;
- фоновый шум в радиодиапазоне;
- температура грунта от поверхности до 3 м.



Первые астроклиматические станции

1: на территории астрофизического комплекса TAIGA-1, набор данных с декабря 2024 по настоящее время.

2: в Боргойской степи, Республика Бурятия, набор данных с сентября 2025 по настоящее время.

Установленное оборудование:

1. Модуль измерения оптических свойств атмосферы:

- планетарная камера G3M178MC с объективом COMPUTAR EG3Z3915FCS-MPWIR-31);
- камера бокового вида;
- два пирометра MLX90614ESFBAА.

2. Метеостанция.

3. Термометрическая коса.

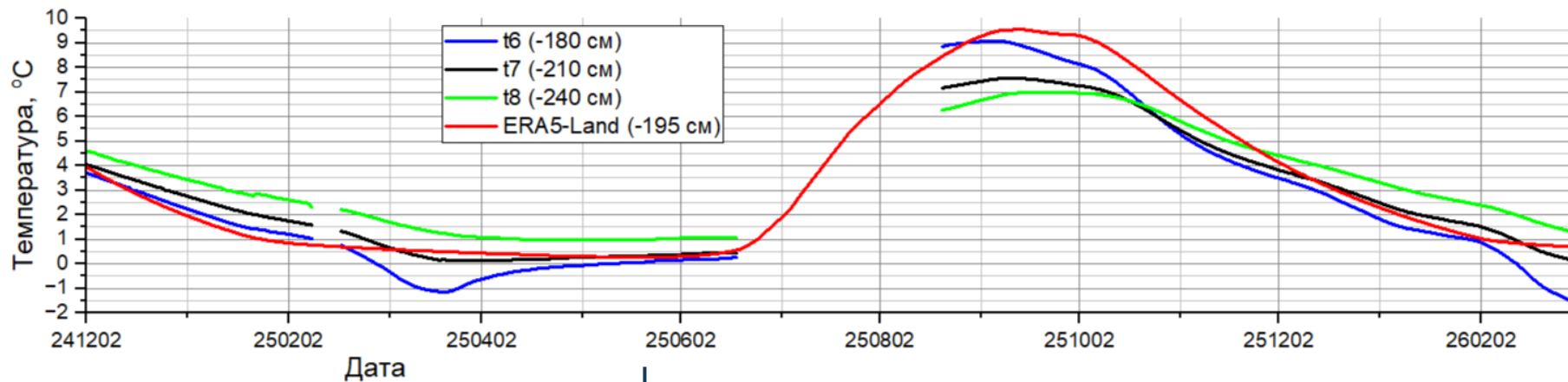


В планах дооснащение станций:

оптической черенковской станцией, подобной станции TAIGA-HiSCORE, двумя сцинтилляционными детекторами, датчиком шума в радиодиапазоне, датчиком осадков.

Результаты анализа температуры грунта на территории TAIGA-1 на глубине $h \approx 2$ м

Термометрическая коса: t0 (0 см) – t10 (300 см), с шагом 30 см



ERA5-Land (195 см) – t7 (210 см):

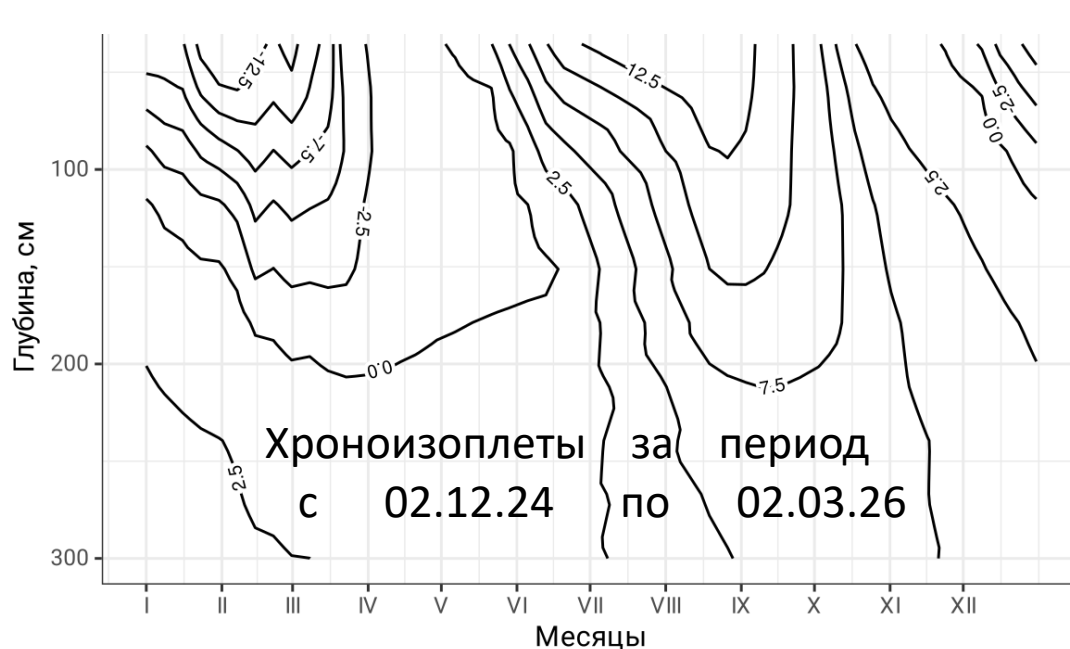
$$\Delta t_{avr} = 0.64 \text{ } ^\circ\text{C}, \sigma = 0.62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{max} = 2.05 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (01.10.25)}$$

ERA5-Land (195 см) – t6 (180 см):

$$\Delta t_{avr} = 0.63 \text{ } ^\circ\text{C}, \sigma = 0.49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

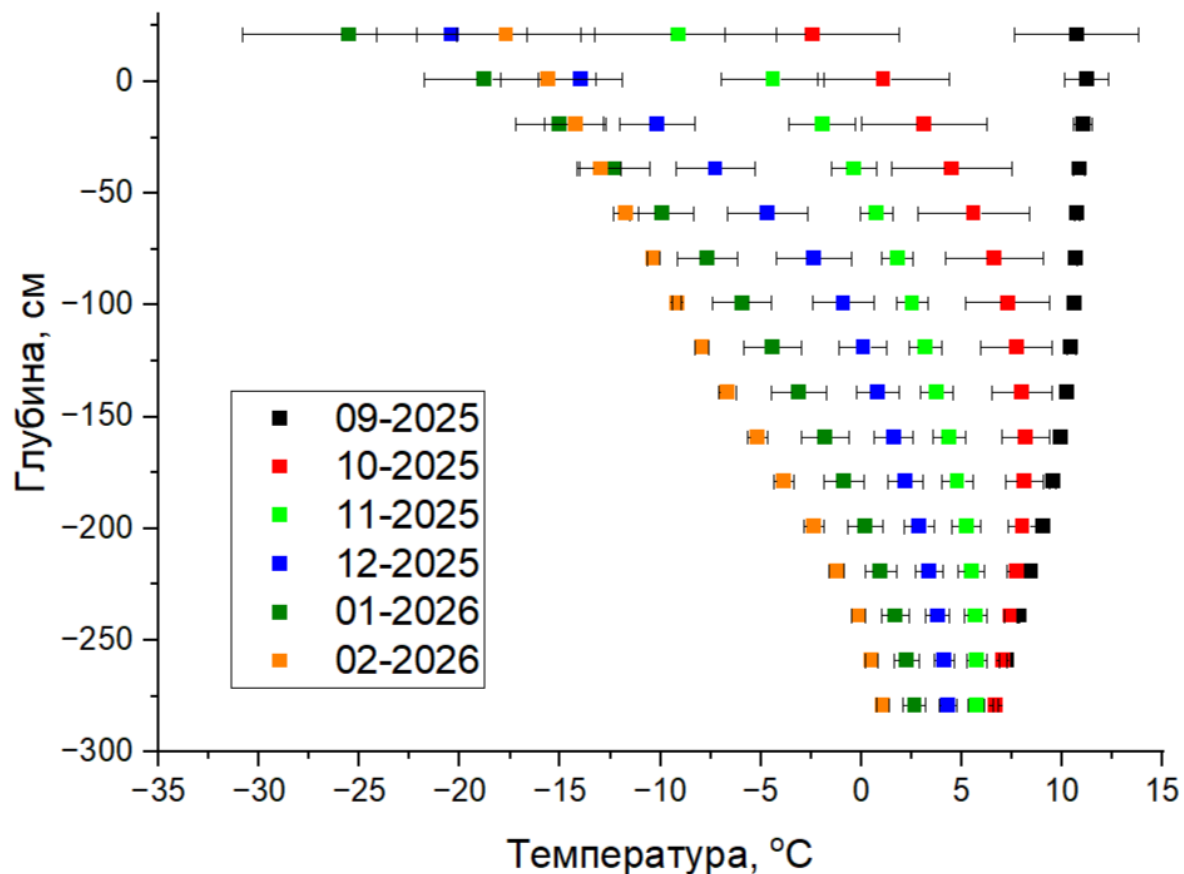
$$\Delta t_{max} = 2.18 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (01.03.26)}$$



Результаты анализа температуры грунта в Боргойской степи

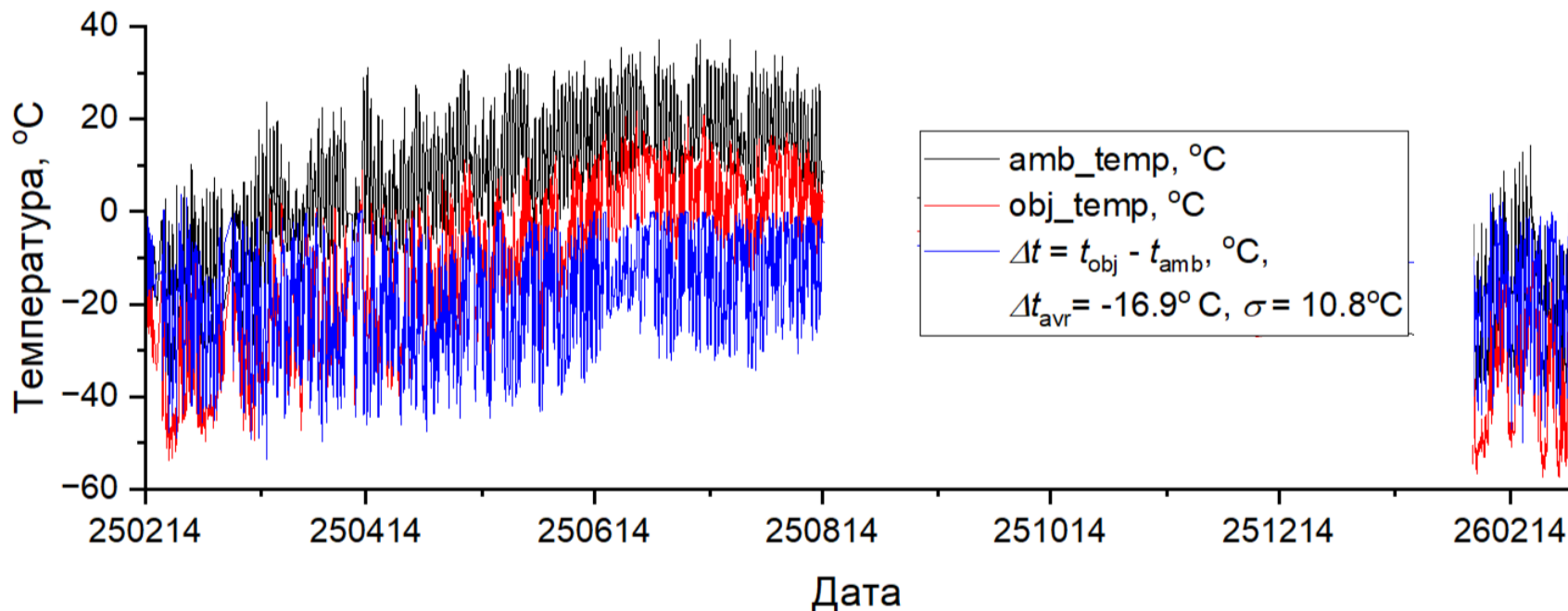
Термометрическая коса1 (НИИПФ ИГУ): t0 (0 см) – t13 (300 см), с шагом 25 см.

Термометрическая коса2 (ООО «Термостатика»): t0 (0 см) – t15 (300 см), с шагом 20 см.

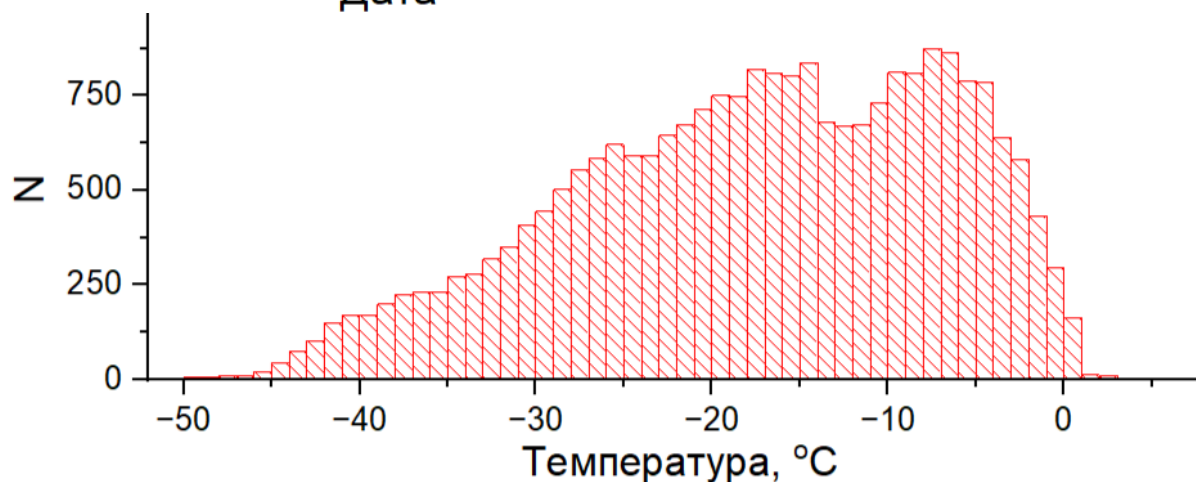


Изменения температуры грунта в зависимости от месяца и глубины

Данные пирометров на территории астрофизического комплекса TAIGA-1

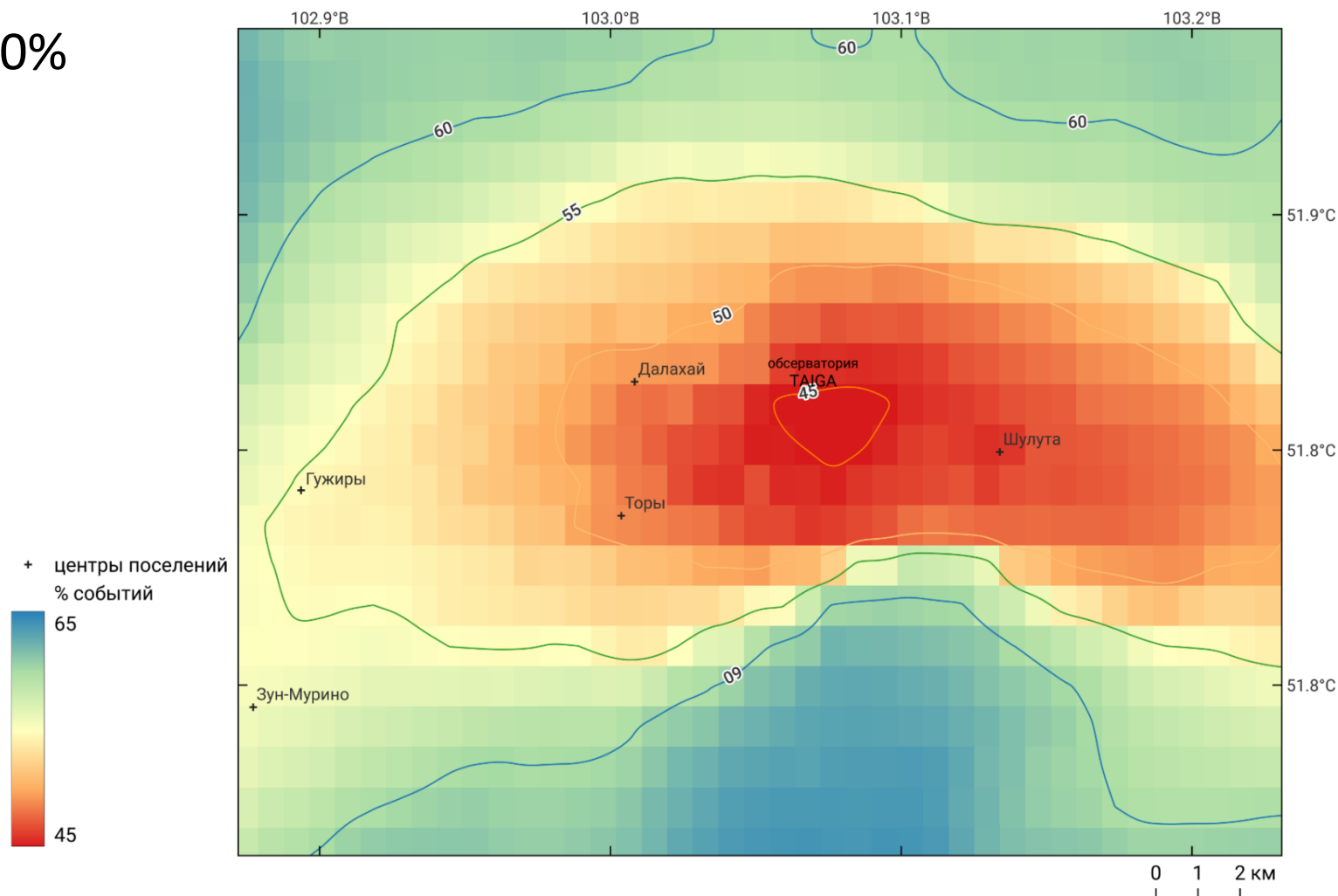


$\Delta T \leq -20 \text{ } ^\circ\text{C}$
для 40% событий



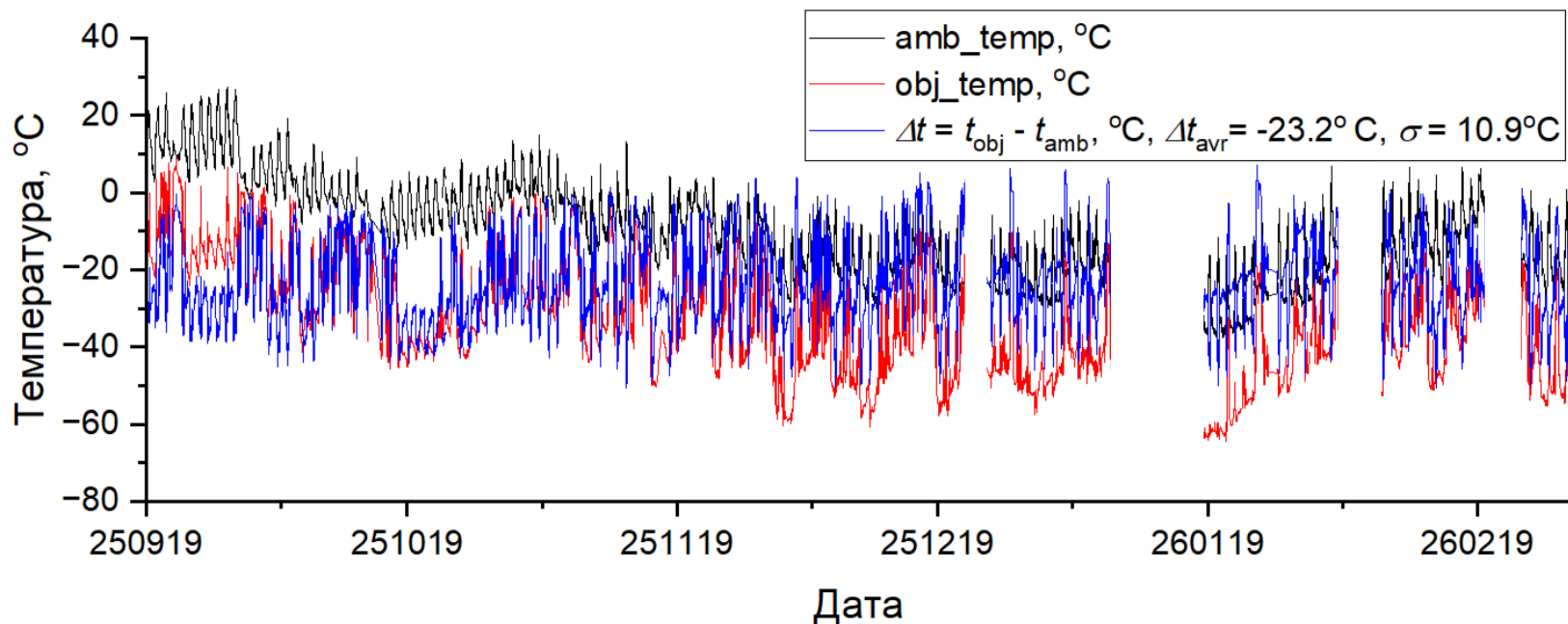
Доля безоблачных событий на территории TAIGA-1 по спутниковым данным

45 - 50%

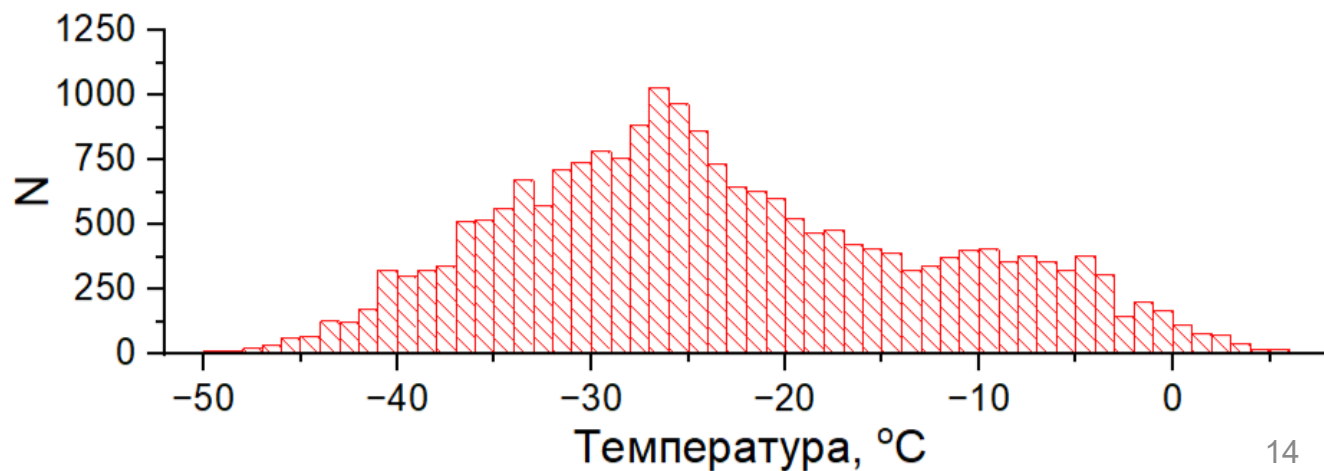


Доля безоблачных событий в ночное время (NOAA/VIIRS), зима, 2019-2023

Данные пирометров в Боргойской степи

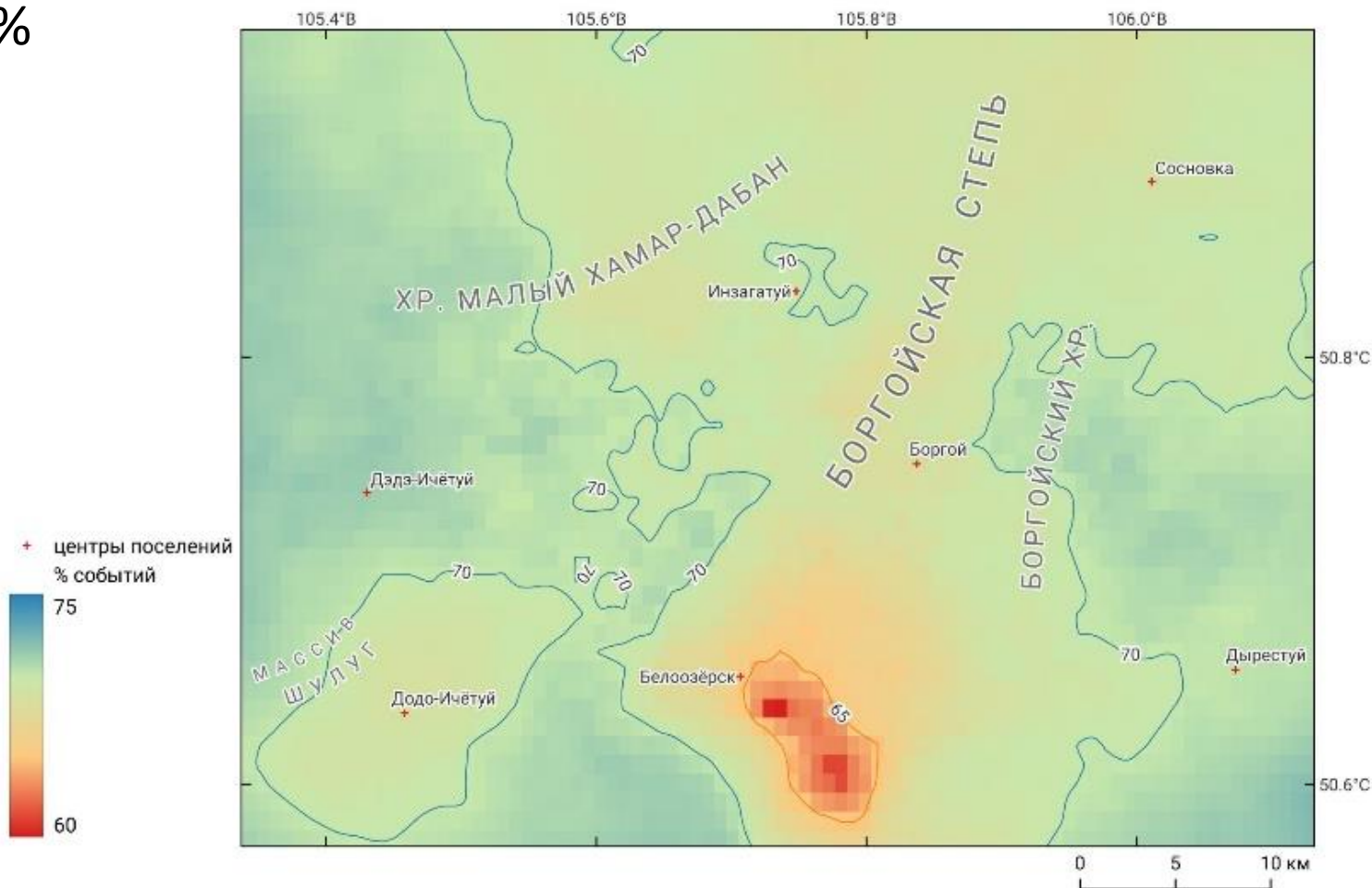


$\Delta T \leq -20 \text{ } ^\circ\text{C}$
для 65% событий



Доля безоблачных событий в Боргойской степи по спутниковым данным

68 - 71%



Доля безоблачных событий в ночное время (NOAA/VIIRS), зима, 2019-2023

Заключение

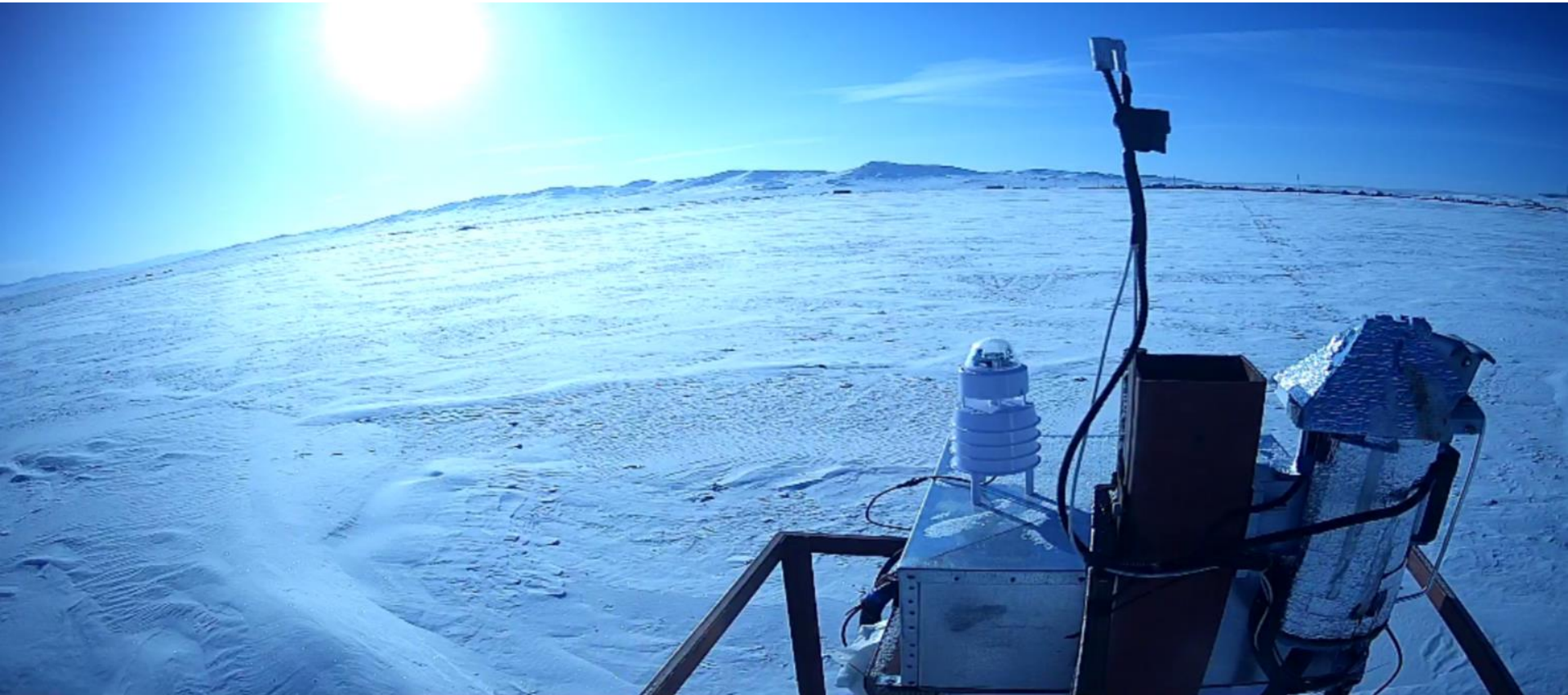
- Наиболее результативный подход к исследованию астроклимата: натурные наблюдения + анализ данных спутниковых систем, климатических моделей и геологических карт.
- В рамках исследования разработана специализированная астроклиматическая станция.
- Развернуты первые станции (TAIGA-1, Боргойская степь) и организован автоматический мониторинг.



Планы на лето 2026 г:

- Установка совместно с алтайскими коллегами термометрической косы в Чуйской степи, Республика Алтай.
- Оснащение развернутых станций датчиками осадков, сцинтилляционными детекторами и черенковскими оптическими станциями.

Back up slides



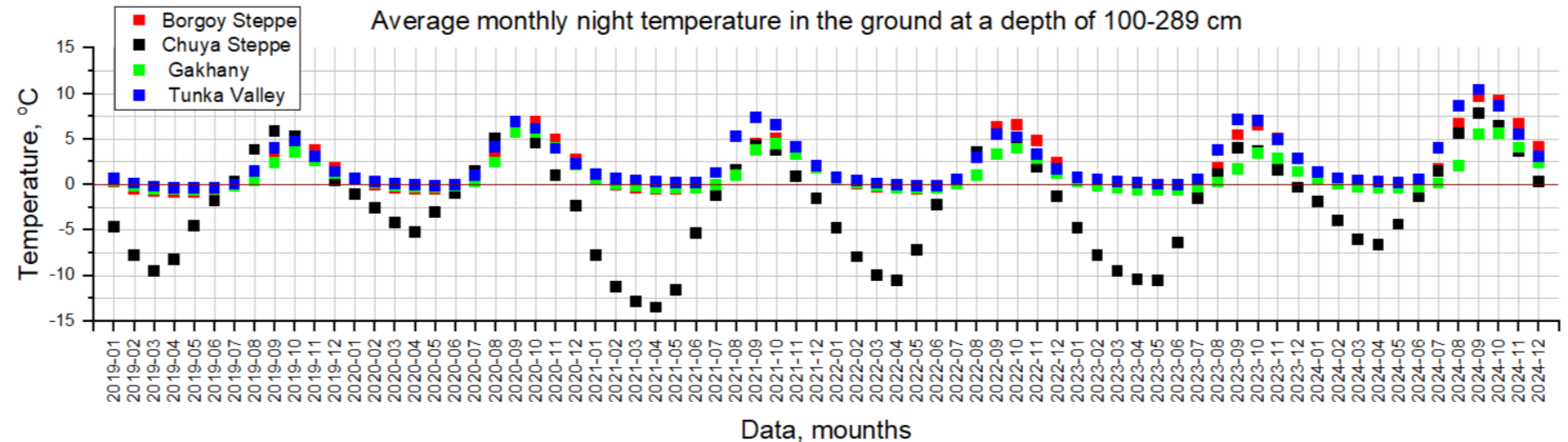
Инфраструктура

Параметр	п. Торы	Боргойская степь	Чуйская степь
Удаленность, км (расстояние до ближайшей организации - действующего члена коллаборации TAIGA; расстояние до ближайшего областного центра)	150 км (ИГУ, г. Иркутск) 150 км (г. Иркутск)	630 (ИГУ, г. Иркутск) 200 км (г. Улан-Удэ)	700 км (АГУ, г. Барнаул) 450 км (г. Горно-Алтайск)
Транспортная доступность (автомобильная дорога, железная дорога при наличии)	Автомобильная дорога федерального значения (Р-258, А-333)	Автомобильная дорога федерального значения (Р-258, А-340, 81А-007) До ближайшей жд станции Джида 39 км	Автомобильная дорога федерального значения (Р-256)
Ближайший действующий аэропорт с регулярными рейсами	Международный аэропорт г. Иркутска (150 км)	Международный аэропорт г. Улан-Удэ (200 км)	Международный аэропорт г. Горно-Алтайск (450 км)

Инфраструктура

Параметр	п. Торы	Боргойская степь	Чуйская степь
Доступность электроэнергии. ЛЭП, подстанции, расстояние до площадки, км.	ЛЭП, 110 кВ	2 ЛЭП 110 кВ, 1 ЛЭП 35 кВ. Подстанции: 35/10 (первая в улусе Инзагатуй, 2 - 3 км, вторая в улусе Ташир, 7-10 км), 110/35/10 (в улусе Боргой, 5-7 км)	СЭС, ЛЭП 110 кВ до п. Кош-Агач. Подстанция 110/10 (в с. Кош-Агач, ~30 км)
Телекоммуникационные сети	Сотовая связь: Н – 4G+ Оптоволоконная магистраль	Сотовая связь: Н – 4G+ Оптоволоконная магистраль	Сотовая связь: Н – 4G+ Оптоволоконная магистраль до с. Кош-Агач

Soil temperature at a depth of 1 – 2.89 m according to the Era 5 climate model



***Era5** performs a reanalysis, links and integrates the results of climate observations from around the world into a global unified information base. The data is updated every hour. The spatial resolution is $0.1^{\circ}\text{h} \times 0.1^{\circ}\text{h}$ ($\approx 11 \times 11 \text{ km}$).

The ECMWF Integrated Fore Casting System is used to predict ground temperature at depth..