

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА В РАМКАХ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ АСТРОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА TAIGA-100

В.А. Астахов¹, А.Л. Иванова^{1,2}

¹Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,

astahovvladimir58@gmail.com

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

ANALYSIS OF GROUND TEMPERATURE AS PART OF THE SEARCH FOR AN OPTIMAL SITE FOR THE TAIGA-100 ASTROPHYSICAL COMPLEX

V.A. Astakhov¹, A.L. Ivanova^{1,2}

¹Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, astahovvladimir58@gmail.com

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Аннотация. Представлен анализ температуры грунта на территории действующего астрофизического комплекса TAIGA-1 и на потенциальной площадке для реализации крупномасштабной установки TAIGA-100. Проведено сравнение показаний термометрических кос и данных модели ретроспективного анализа климата ERA5-Land. Показано, что предсказания ERA5-Land недостаточно информативны в рамках исследования локальных климатических условий.

Ключевые слова: Анализ данных, термометрическая коса, TAIGA, ERA5-Land.

Abstract. This article presents an analysis of the soil temperature in the area of the existing astrophysical complex TAIGA-1 and a potential site for the implementation of a large-scale installation TAIGA-100. We have compared the thermometric spits readings and data from the ERA5-Land retrospective climate analysis model. It has been shown that the predictions of ERA5-Land are not sufficiently informative for studying local climate conditions.

Keywords: Data analysis, thermometric spit, TAIGA, ERA5-Land.

ВВЕДЕНИЕ

TAIGA-100 — проект крупномасштабного астрофизического комплекса, разрабатываемый в рамках развития установки TAIGA-1 (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physic and Gamma ray Astronomy), расположенной в Тункинской долине в 50 км от оз. Байкал. Главная цель проекта — исследование в области физики космических лучей и гамма-астрономии высоких и сверхвысоких энергий. В качестве перспективных территорий, способных вместить TAIGA-100, рассматриваются Боргойская степь (Республика Бурятия) и Чуйская степь (Республика Алтай)

Для проведения научных исследований в состав астрофизического комплекса TAIGA-100 войдет большое количество установок, основанных на детекторах различного типа. Одна из таких установок будет состоять из ~3000 водных черенковских детекторов (ВЧД) [Мерзон, 1998] — резервуаров с дистиллированной водой объемом 40–50 м³, в которых с помощью фотоэлектронных умножителей регистрируется черенковское излучение, порождаемое прохождением заряженных частиц через воду. [Денисов, 1996] В планах проекта реализация ВЧД предполагается для регистрации мюонной компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ). Мюоны имеют высокую проникающую способность, и условием их выделения из каскада вторичных частиц является заглубление детектора под землю и экранирование слоем грунта толщиной ~2–2.5 м. [Хохлов, 2014]. В типовой комплектации будущих детекторов система обогрева не предусмотрена, что накладывает определенные ограничения на темпе-

ратуру грунта в зимний период. Для отработки методики предполагается развертывание 20 пилотных ВЧД на территории действующего комплекса TAIGA-1.

Для анализа температуры грунта на площадках в Тункинской долине и Боргойской степи были установлены термометрические косы (ТК) — устройство для одновременного измерения температуры в нескольких точках объекта. ТК состоит из электронных цифровых датчиков температуры, соединенных последовательно отрезками кабеля. В исследовании используются ТК собственного производства и фирмы «Термостатика».

Помимо данных ТК для анализа температуры грунта был использован глобальный набор данных климатической модели ERA5-Land с пространственным разрешением 0.1°×0.1° и четырехслойным представлением грунта, где поверхность находится на уровнях 0–7, 7–28, 28–100, 100–289 см.

Целью исследования является анализ температурных условий в грунте на площадках в Тункинской долине и Боргойской степи и оценка возможности обеспечения положительной температуры воды в ВЧД без ее подогрева.

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА

ТК собственного производства и фирмы «Термостатика» базируются на датчиках DS18B20. В ТК собственного производства 11 датчиков расположены с шагом 30 см. Шаг между 16 датчиками ТК «Термостатика» составляет 20 см. Подробные схемы расположения датчиков ТК собственного производства и ТК «Термостатика» представлены на рис. 1, 2.

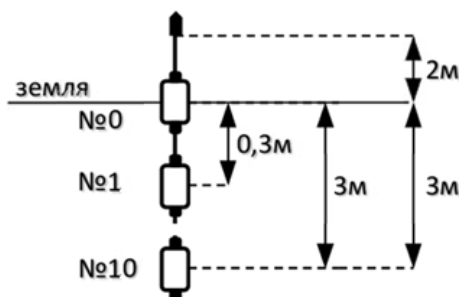


Рис. 1. Схема расположения датчиков ТК собственного производства (11 датчиков, нижний на глубине 300 см)

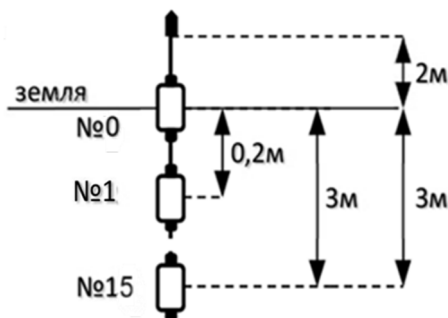


Рис. 2. Схема расположения датчиков ТК «Термостатика» (16 датчиков, нижний на глубине 279 см)

На рис. 3 показаны среднемесячные температурные профили грунта в Боргойской степи (январь 2026 – 20 апреля 2026 г.). Данные показывают, что отрицательные температуры грунта на глубине 2 м наблюдаются на протяжении четырех месяцев ($t_{jan} = -1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{feb} = -4.21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{march} = -5.49\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{apr} = -4.45\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Подобная зависимость была построена также для территории действующего комплекса TAIGA-1 Тункинской долины 01.01.2026–20.04.2026 (рис. 4). Видно, что отрицательная температура на глубине 210 см достигается только в апреле и составляет $t_{apr} = -0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Был проведен также сравнительный анализ данных климатической модели ERA5-Land с показаниями ТК в Тункинской долине (рис. 5). Обнаружено, что показания ERA5-Land не совпадают с показаниями ТК. В зимне-весенний период модель завышает температуру грунта. Наблюдаемый экспериментально температурный провал с февраля по май в предсказаниях ERA5-Land отсутствует.

Сравнительный анализ данных ТК и предсказаний ERA5-Land для Боргойской степи (рис. 6) показал аналогичную картину. Модель также завышает температуру и не отображает провал в период с декабря по март.

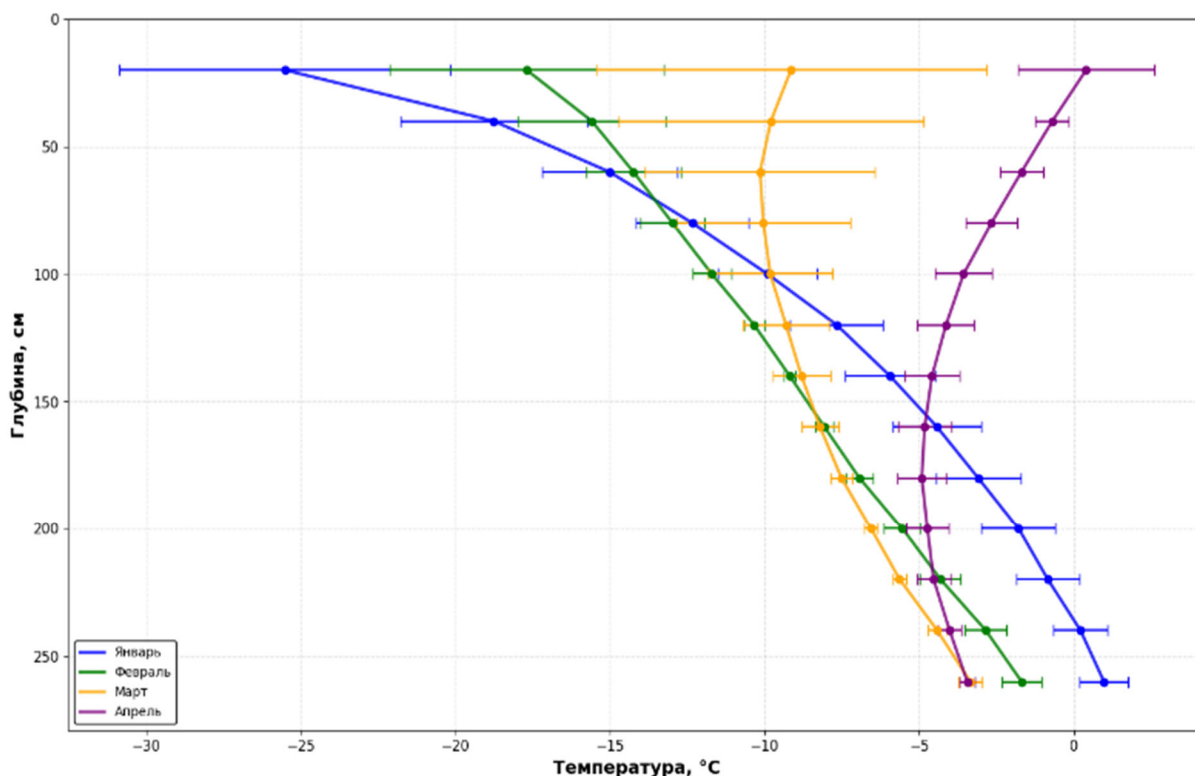


Рис. 3. Температурный профиль грунта в Боргойской степи

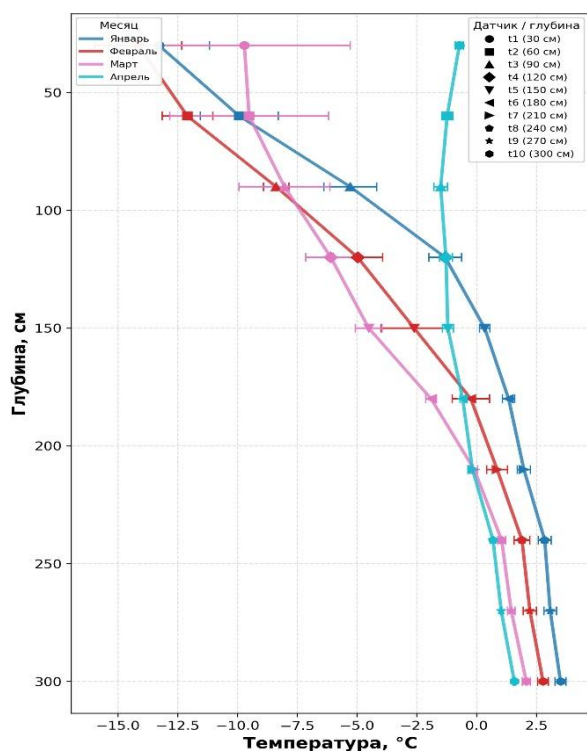


Рис. 4. Температурный профиль грунта в Тункинской долине

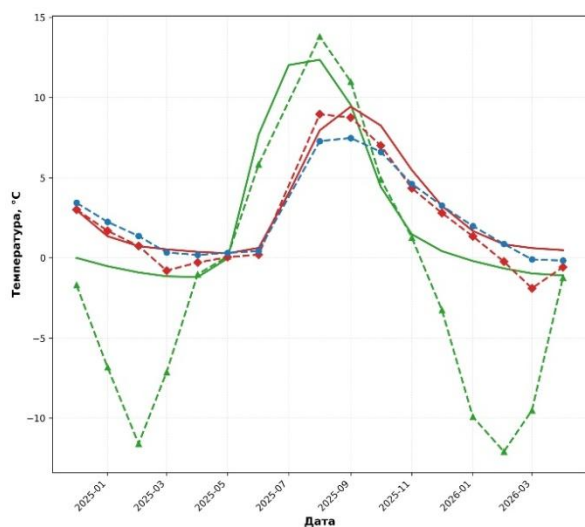


Рис. 5. Сравнение данных ERA5-Land и ТК в Тункинской долине (штриховая линия – данные ТК, сплошная – модель ERA5-Land)

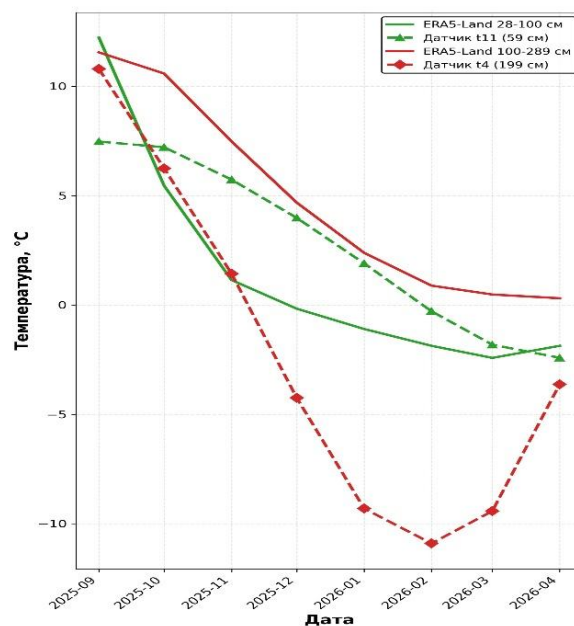


Рис. 6. Сравнение данных ERA5-Land и ТК в Боргойской степи (пунктирная линия – данные ТК, сплошная линия – модель ERA5-Land)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение данных ТК с реанализом ERA5-Land выявило систематическое завышение температуры моделью, выражаемое в отсутствии в ней характерного зимнего провала, наблюдаемого в экспериментальных данных. Это свидетельствует о нецелесообразности применения глобального реанализа ERA5-Land для локальных оценок температурного режима грунта.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проект FZZE-2024-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мерзон Г.И., Руссецкий А.С. Исследование эффективности и угловых характеристик модуля водного черенковского детектора с фокусировкой света // Краткие сообщения по физике ФИАН. 1998. № 6. С. 21–28.
- Хохлов С.С., Амелчаков М.Б., Барбашина Н.С. и др. Исследование каскадных ливней, генерируемых околоризонтальными мюонами в черенковском водном детекторе с плотной решеткой оптических модулей // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2014. № 10. С. 31–37.
- Денисов С.П., Излучение «сверхсветовых» частиц (эффект Черенкова) // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 2. С. 89–97.