



Кучма М.О., Суханова В.В., Бородицкая А.В., Шамилова Ю.А.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД РАСЧЕТА ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА МСУ-ГС КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА АРКТИКА-М №1

Докладчик: Кучма Михаил Олегович

Двадцать первая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

Москва, 13 - 17 ноября 2023

Emissivity

Излучательная способность ε при заданной длине волны λ (мкм) и температуре T (К) определяется как отношение энергетической яркости $R_\lambda(T)$, излучаемой телом при температуре T , и энергетической яркости $B_\lambda(T)$, излучаемой черным телом при той же температуре T

$$\varepsilon_\lambda(T) = \frac{R_\lambda(T)}{B_\lambda(T)}$$

Emissivity

Emissivity в основном используется в задачах:

- Расчет температуры поверхности суши
- Расчет микрофизических параметров облачности (эффективный радиус частиц, оптическая толщина облачности)

Emissivity для водной поверхности – 1

Основная проблема: расчет Emissivity для суши

Emissivity

Чтобы получить коэффициент излучения из космоса, необходимо знать одновременно как излучение поверхности, так и излучение черного тела при одной и той же температуре. На основе теории переноса излучения в условиях ясного неба спектральная яркость в точке обзора $L_\lambda(\theta, \phi)$ вдоль зенитного угла обзора θ и азимутального угла ϕ может быть записана как:

$$\begin{aligned} L_\lambda(\theta, \varphi) = & \underbrace{\varepsilon_\lambda(\theta, \varphi) B_\lambda(T_s) \tau_\lambda(\theta, \varphi, p_s)}_{\text{Surface emission term}} \\ & + \underbrace{\int B_\lambda(T_p) \frac{\partial \tau_\lambda(\theta, \varphi, p)}{\partial p} dp}_{\text{Atmospheric emission term}} \\ & + \underbrace{\iint \rho_{b\lambda}(\theta, \varphi, \theta', \varphi') R_{\text{at } \lambda \downarrow}(\theta', \varphi') \tau_\lambda(\theta, \varphi, p_s) \cos \theta' \sin \theta' d\theta' d\varphi'}_{\text{Surface reflected downwelling atmospheric emission term}} \\ & + \underbrace{\rho_{b\lambda}(\theta, \varphi, \theta_s, \varphi_s) E_{\text{sl } \lambda \downarrow}(\theta_s, \varphi_s) \tau_\lambda(\theta_s, \varphi_s, p_s) \tau_\lambda(\theta, \varphi, p_s)}_{\text{Surface reflected downwelling solar beam term}}, \end{aligned}$$

Известные методы расчета:

- 1) Полуэмпирические методы
- 2) Многоканальные методы разделения по температуре/излучательной способности
- 3) Физически обоснованные методы

Полуэмпирические методы

1) Метод на основе классификации

С помощью трех BRDF моделей на основе классификации земного покрова производится моделирование значений яркостной температуры в ИК каналах и генерируются LUT таблицы.

Минусы:

- Сложность идентификации стареющей растительности
- Неопределённость динамики состояния поверхности снега и льда
- Наличие ночной росы, что может стать основным источником ошибок для классов с низким коэффициентом излучения
- Для некоторых классов классификация, основанная на данных БИК, плохо коррелирует с emissivity в области ИК.

2) Метод на основе NDVI

Многоканальные методы

1) Методы на основе характеристик спектра излучения

Определяются коэффициенты излучения по характеристикам спектров излучения.

Минусы:

- Для одних нужен гиперспектрометр
- Для других нужны точные атмосферные поправки и точная геометрическая регистрация данных, полученных в разные моменты времени

2) Метод опорного канала

Предполагается, что коэффициент излучения в одном канале имеет постоянное значение для всех пикселей

Минусы:

- Трудно найти уникальное значение коэффициента излучения, подходящее для всех материалов поверхности в одном эталонном канале
- Нет пространственной информации об коэффициенте излучения, поскольку в эталонном канале он назначается как постоянное значение для всех пикселей в этом канале
- Коэффициенты излучения в соседних каналах кажутся зашумленными, поскольку на них существенно влияет постоянное значение коэффициента излучения эталонного канала

3) Метод нормирования коэффициента излучения, Метод разделения по коэффициенту излучения по температуре, Метод температурно-независимых спектральных индексов (TISI)

Минусы:

- Подходят только для гиперспектрометров

Физические методы

1) Двухканальный метод

Основан на связи каналов 3.7 и 10-13 мкм.

Минусы:

- Основан на разновременных данных

2) Метод работы день/ночь (D/N)

Поиск с использованием пар день/ночь объединенных данных 3.7 мкм и 10-13 мкм.

Минусы:

- основной целью является получение LSE в полузасушливых и засушливых регионах, где коэффициент излучения поверхности пространственно варьируется в широком диапазоне

3) Двухэтапный метод физического поиска (TSRM)

По данным MODIS восстанавливают грубый температурно-влажностный профиль, так как каналы MODIS соответствуют каналам HIRS (ИК гиперспектрометр)

Минусы:

- Необходимо наличие каналов, соответствующих каналам прибора HIRS

4) Метод использования RTTOV

Минусы:

- Длительное время работы, необходимость постоянно использовать модель

Альтернативный метод

Использование нейронных сетей

Обучающая выборка: июль 2022 – июль 2023 года; каналы прибора МСУ-ГС 10,7 мкм и 11,9 мкм; углы наблюдения; высота поверхности; широта и долгота; номер дня в году; маска облачности; тип подстилающей поверхности (по данным MODIS)

Эталонные данные: суточные композиты Emissivity (MOD11C1.061) 11мкм и 12 мкм по данным MODIS

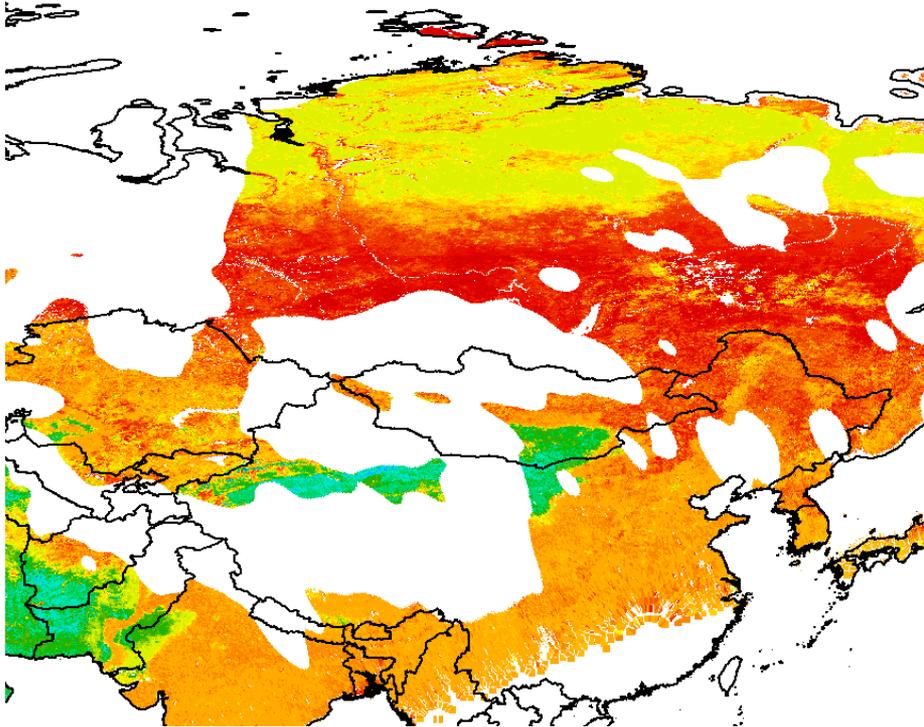
Архитектура нейронной сети: 4 полносвязных слоя (32,64,86,128 фильтров), активация – tanh, loss-функция - mse

Выходные данные: Emissivity 11мкм и 12 мкм по данным МСУ-ГС

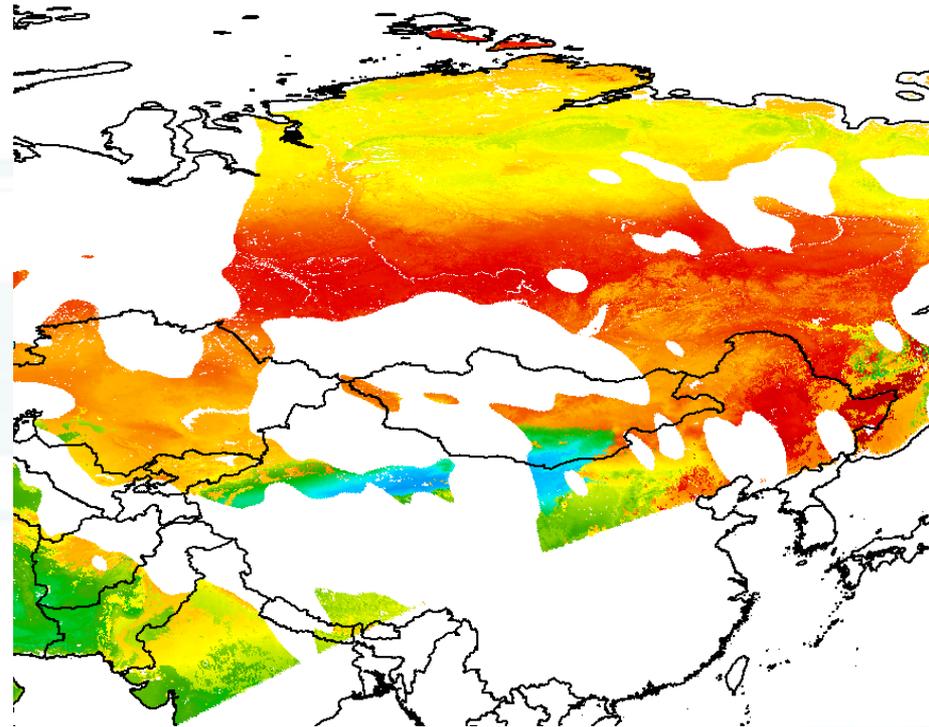
Результат

Emissivity 11 мкм
2023.01.20 14:00 UTC

MODIS



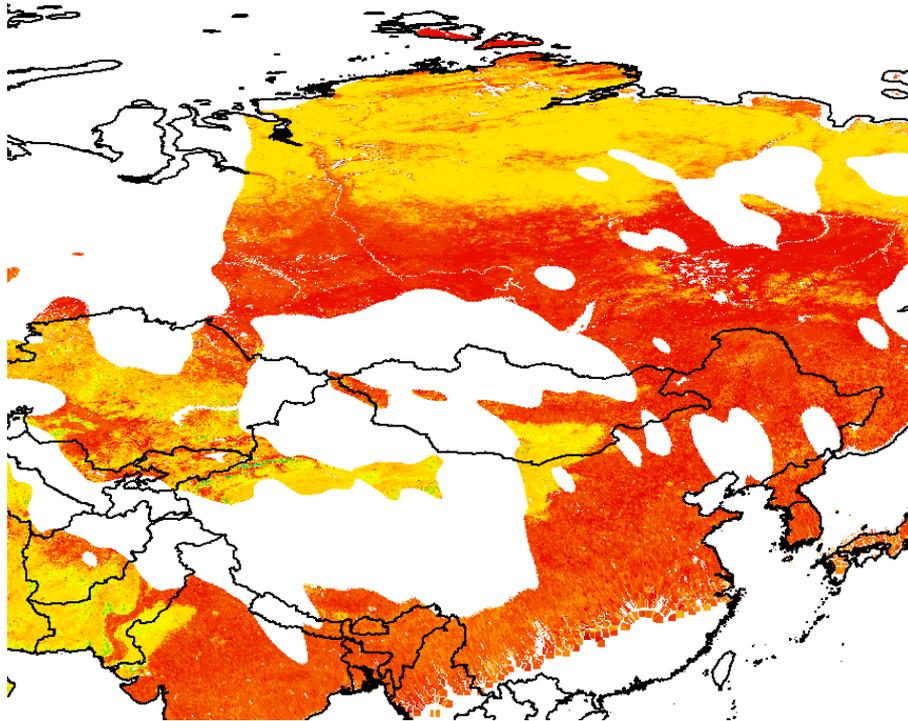
МСУ-ГС



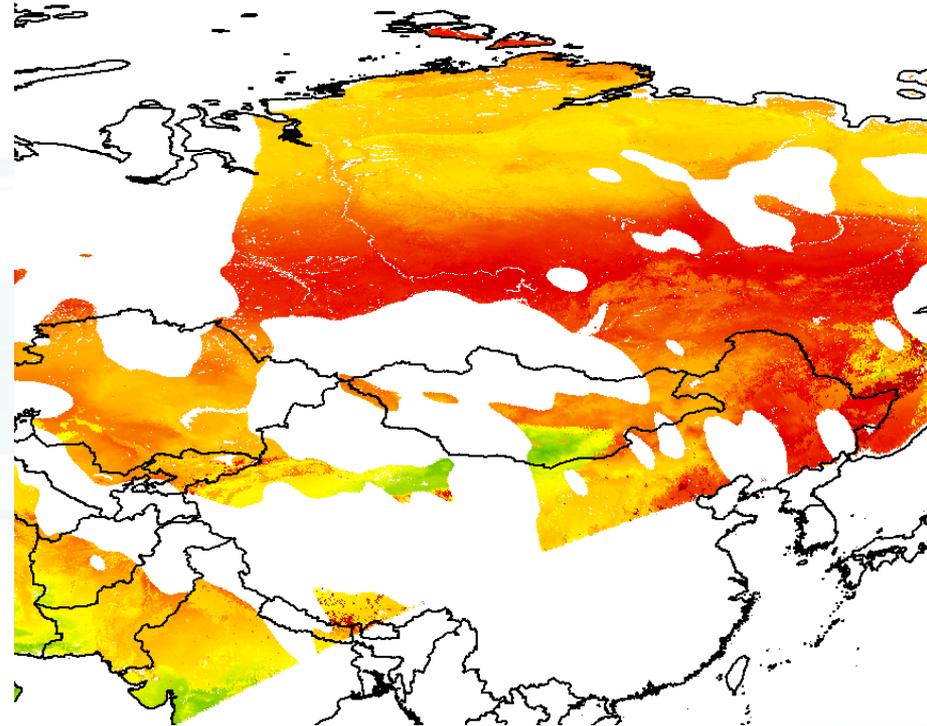
Результат

Emissivity 12 мкм
2023.01.20 14:00 UTC

MODIS



МСУ-ГС



0,92

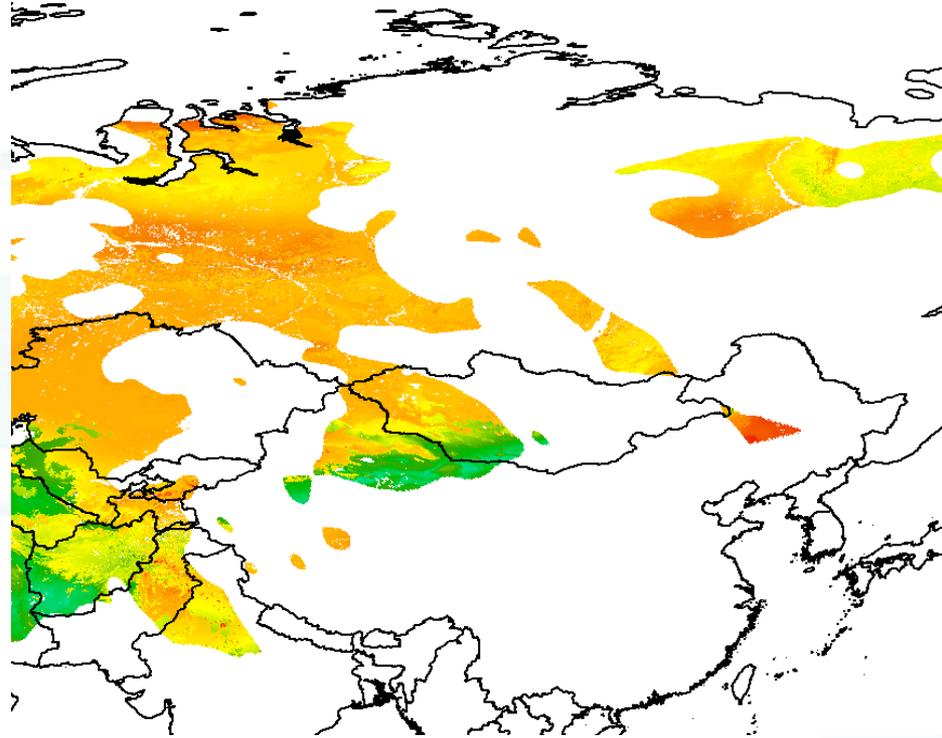
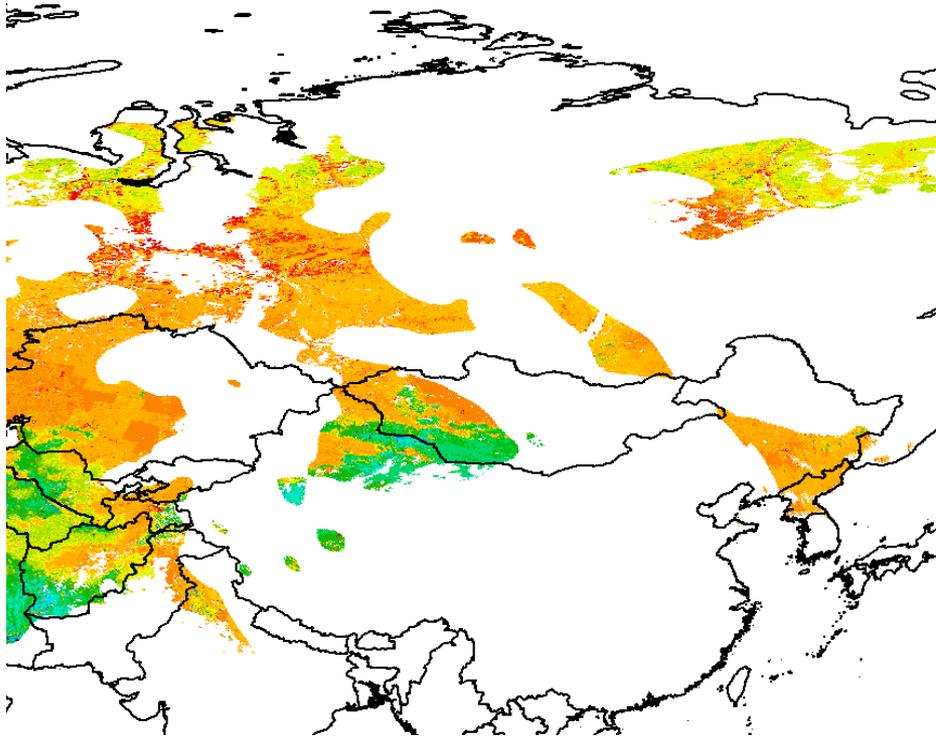
1

Результат

Emissivity 11 мкм
2023.08.09 23:00 UTC

MODIS

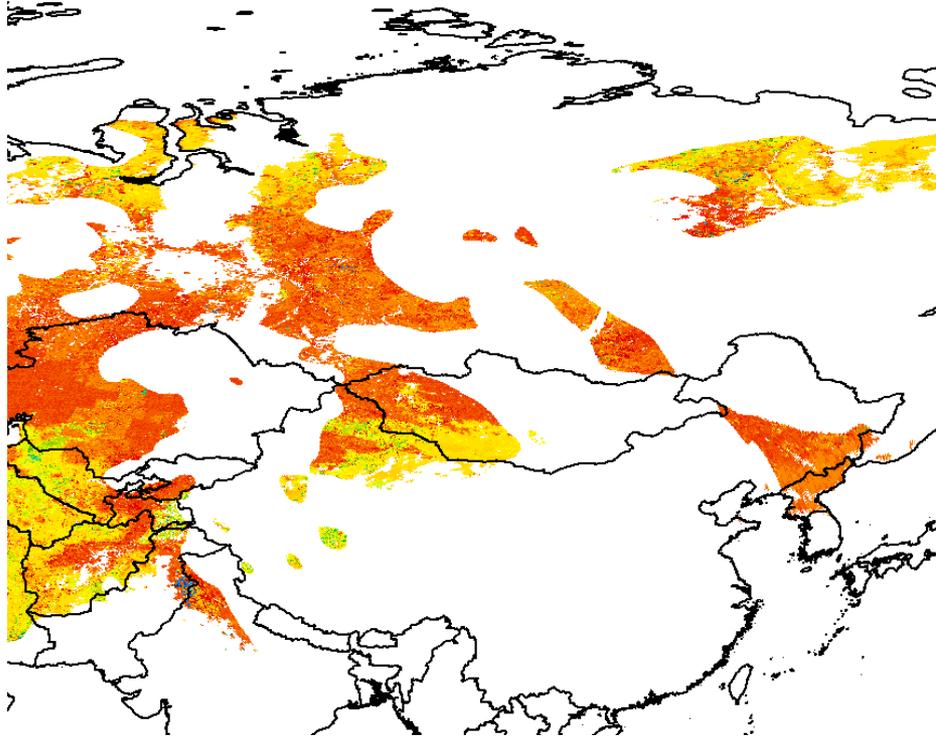
МСУ-ГС



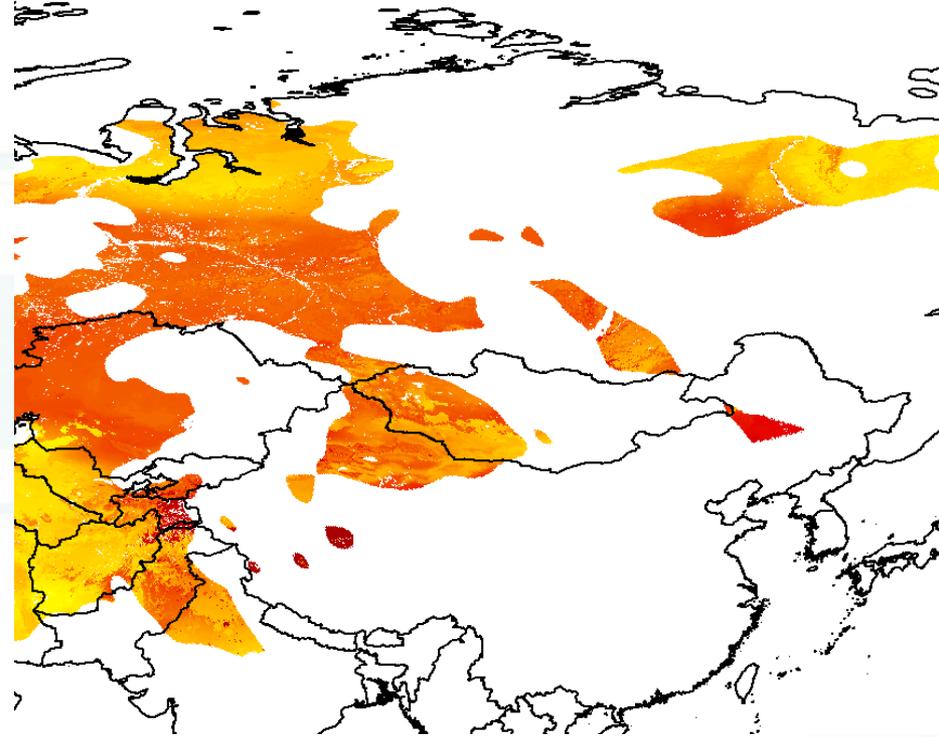
Результат

Emissivity 12 мкм
2023.08.09 23:00 UTC

MODIS



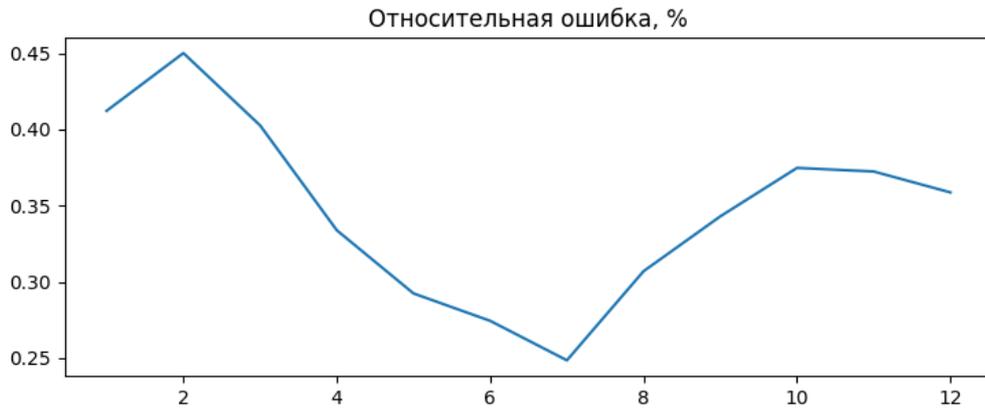
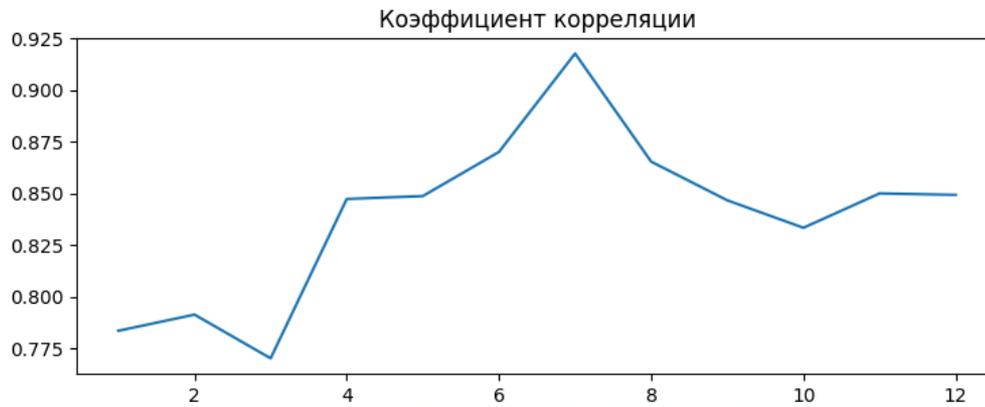
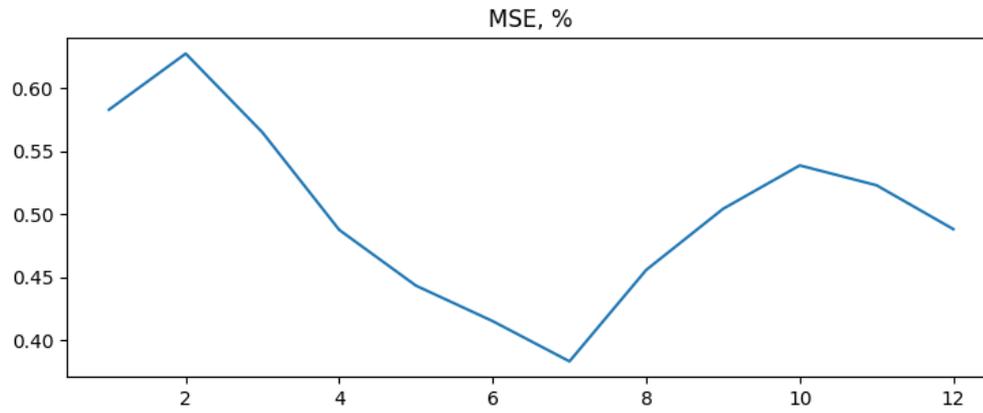
МСУ-ГС



0,92

1

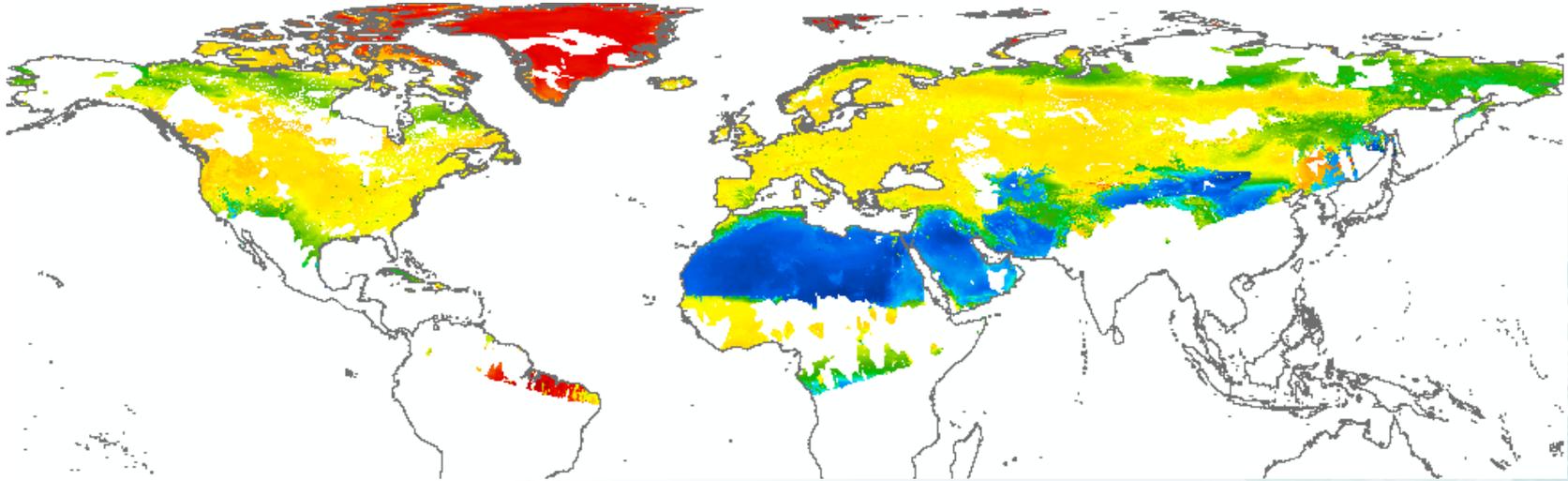
Оценка точности



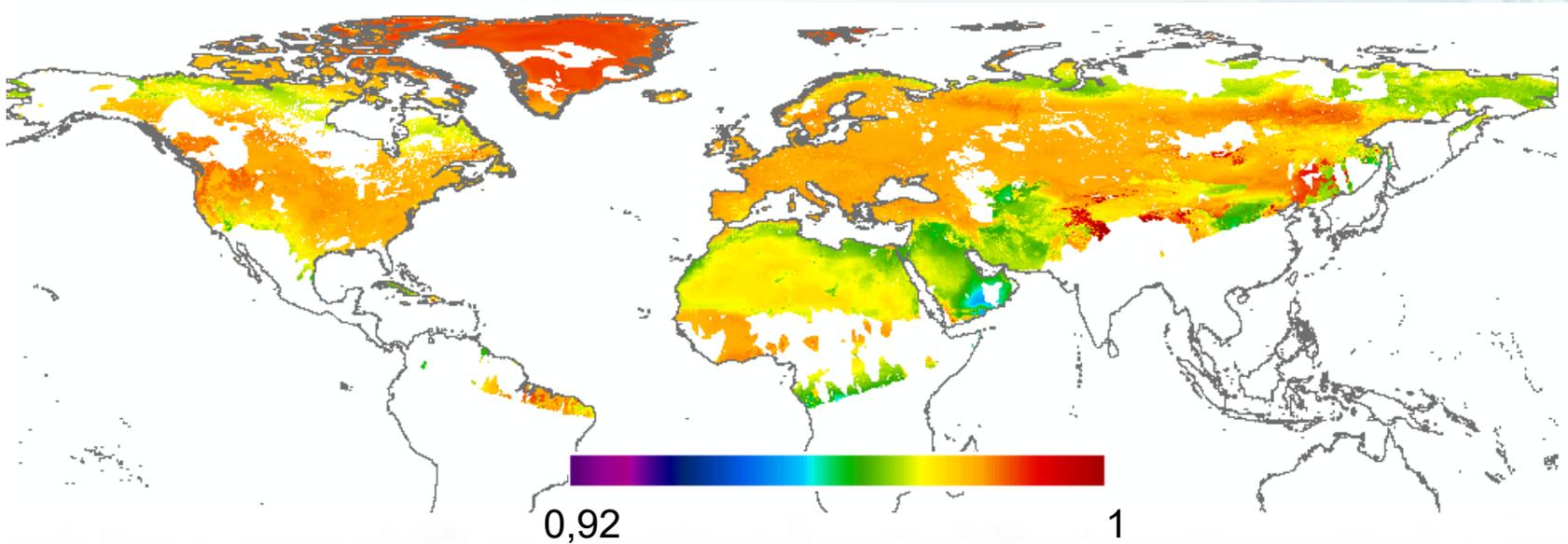
Emissivity МСУ-ГС КА Арктика-М № 1

8-дневный композит (2023.07.10-2023.07.18)

11 мкм



12 мкм



Заключение

Результаты работы

Разработан алгоритм на основе нейронной сети для Emissivity по данным прибора МСУ-ГС КА Арктика-М № 1

Планы по развитию алгоритма

Использование вегетационного индекса NDVI по данным МСУ-ГС вместо типов подстилающей поверхности по данным MODIS



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Дальневосточный центр ФГБУ «НИЦ «Планета»
Россия, г. Хабаровск,
ул. Ленина, д. 18
тел.: 8-(4212) 21-43-11
факс: 8-(4212) 21-40-07
e-mail: m.kuchma@dvrspod.ru
<https://www.dvrspod.ru>