



***Неоднородная оптимальная интерполяция полей
приземных метеорологических параметров на
основе нейронных сетей***

Филипп Леонидович Быков

ФГБУ «Гидрометцентр России»

Классический и нейросетевой подходы

	Классический	Нейросетевой
Среднее, разброс	Первое приближение / климат	Нейронные сети
Модель ковариаций	Однородная $K(\vec{x} - \vec{y} , \vec{v})$	Расширенное пространство $K\left(\sqrt{ \vec{x} - \vec{y} ^2 + \tilde{g}(\vec{x}) - \tilde{g}(\vec{y}) ^2}, \vec{v}\right)$ $\tilde{g}$ – нейронная сеть
Функция потерь	Минус логарифм правдоподобия ковариационной модели	Ошибка интерполяции на пропущенную станцию

$K(r, \vec{v})$ - семейство однородных КФ

Нейронные сети позволяют учитывать любые известные поля как *предикторы неоднородности*

Предикторы неоднородности

А. Для интерполяции параметров снежного покрова

1. Высота поверхности Земли;
2. Средний наклон орографии SSO_SIGMA;
3. Синус и косинус времени года $\sin(2\pi t / T_y)$, $\cos(2\pi t / T_y)$, $T_y = 365.24days$

В. Для интерполяции T2m использовались 1-3, а так же:

4. Прогноз T2m и Td2m COSMO-Ru6-ENA на 6ч

С. Для интерполяции запасов продуктивной влаги (ЗПВ) в почве использовались 1-3, а так же:

5. Типы почвы FAO (Food and Agriculture Organization ООН);
6. Землепользование ESA (European Space Agency) GlobCover 2009;
7. Данные дистанционного зондирования скатерометром ASCAT.

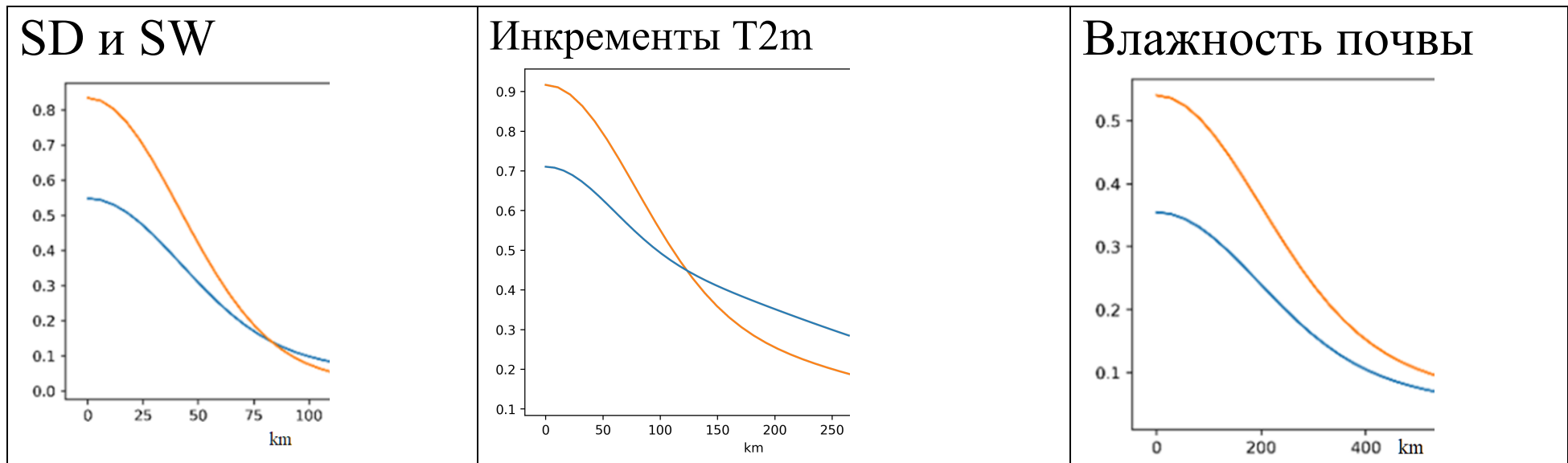
Наборы данных

Задача	Года	Станций	Шаг	
Снег	2011- 2020	3200	1 день	Высота SD из SYNOP, водный эк-т SW по модели SNOW-E
T2m	2019- 2020	2800	3 часа	Первое приближение прогноз COSMO-Ru6-ENA на 6ч
Влаж- ность почвы	2004- 2019	753	10 дней*	ЗПВ измеряются термостатно- весовым методом*. Данные ASCAT доступны с 2014

*Пробы отбираются в 8, 18, 28 день месяца и данные измерений передаются 11, 21, 1 числа.

Корреляционные функции

При интерполяции высоты SD и водного эк-та SW мы предполагаем, что их КФ равны

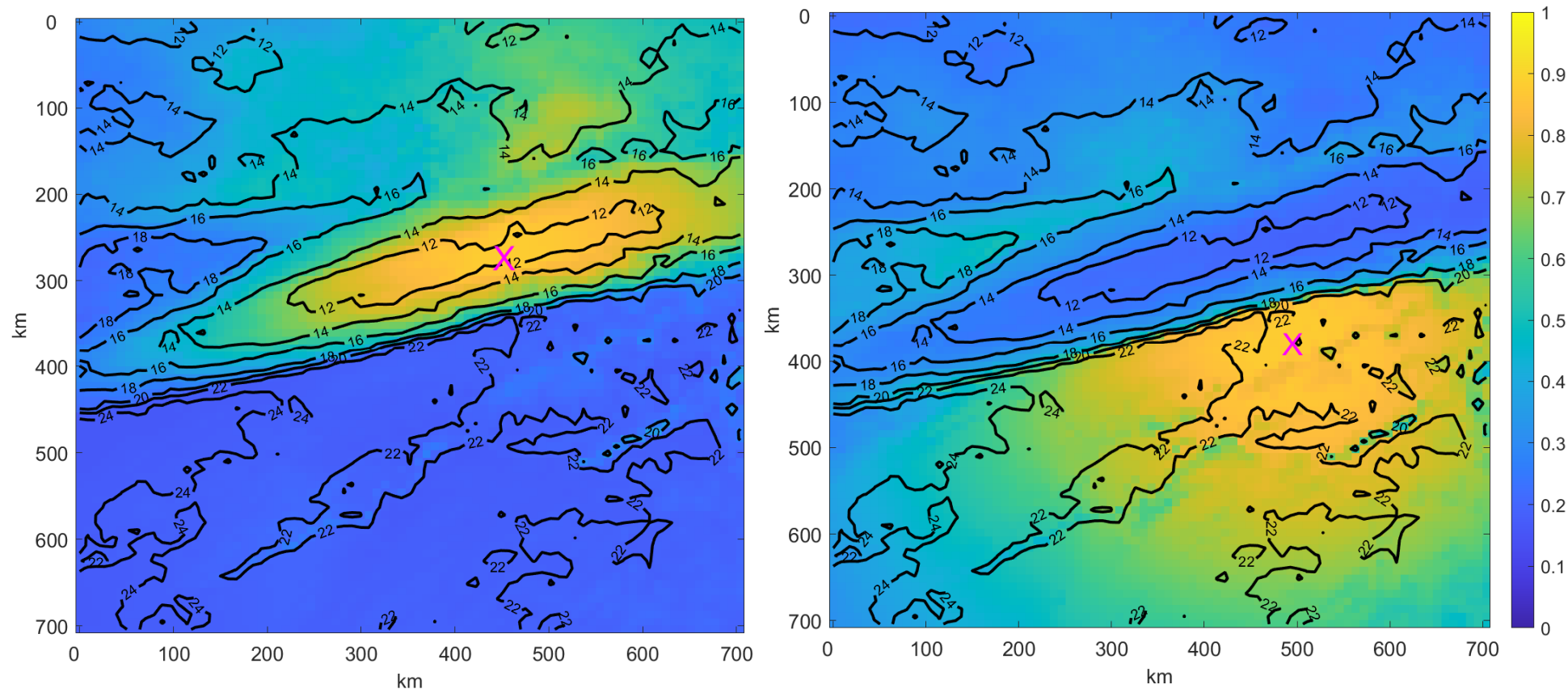


В расширенном пространстве (расстояние в $S^2 \times R^2$)

В предположении однородности и изотропности (расстояние в физическом пр-ве)

Отображение в **расширенное пространство** объясняет большую часть дисперсии интерполируемого поля: $K(0)$ значительно больше. Значит, мы можем воспроизвести более детализированное поле.

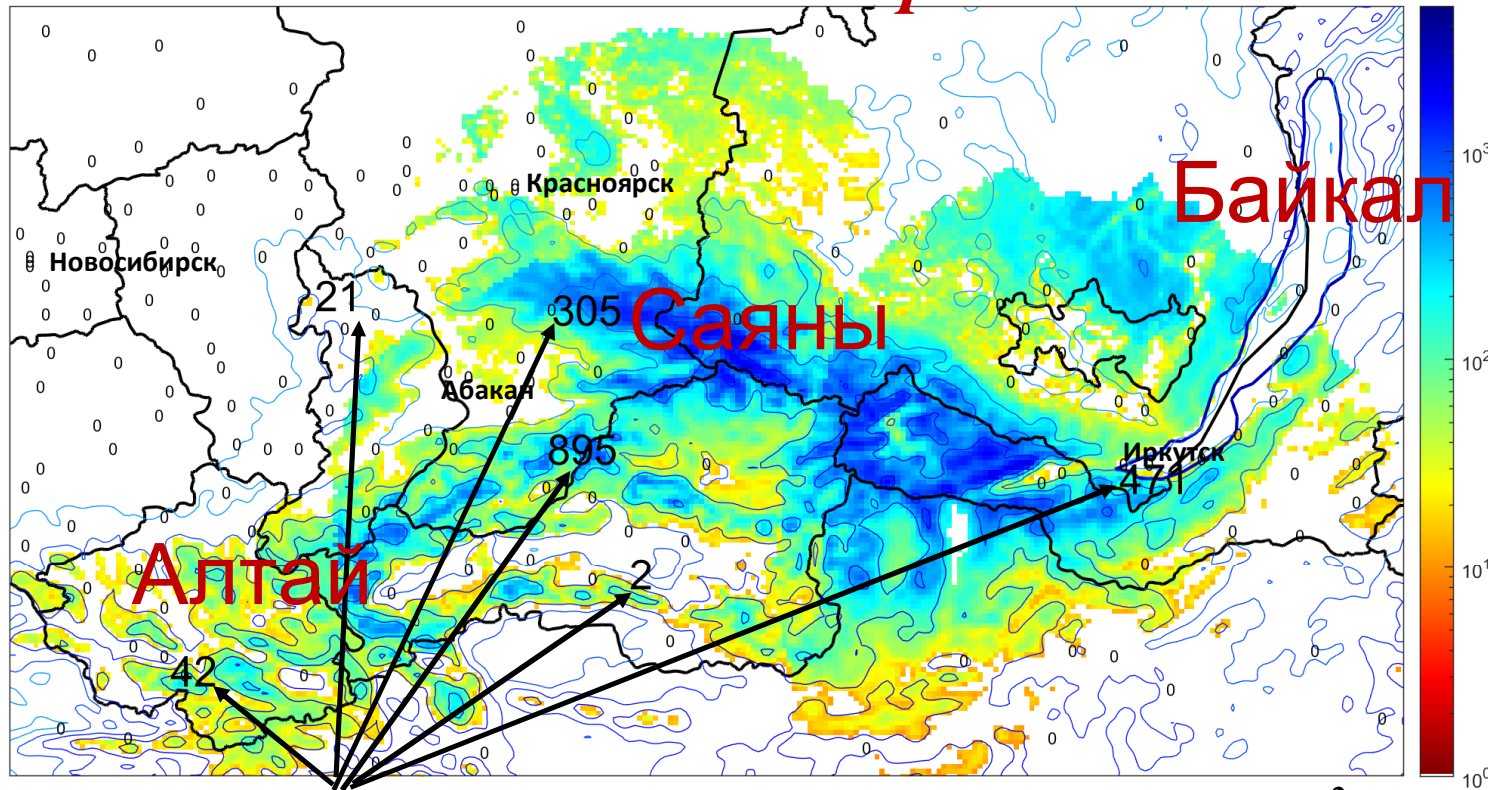
КФ инкрементов T2m вблизи атмосферного фронта



Раскраска: корреляция инкрементов T2m в точке **X** и в текущей точке.

Черные линии – изолинии первого приближения
(прогноз COSMO-Ru6 на 6ч).

10 мая 2021 анализ снежного покрова в Южной Сибири

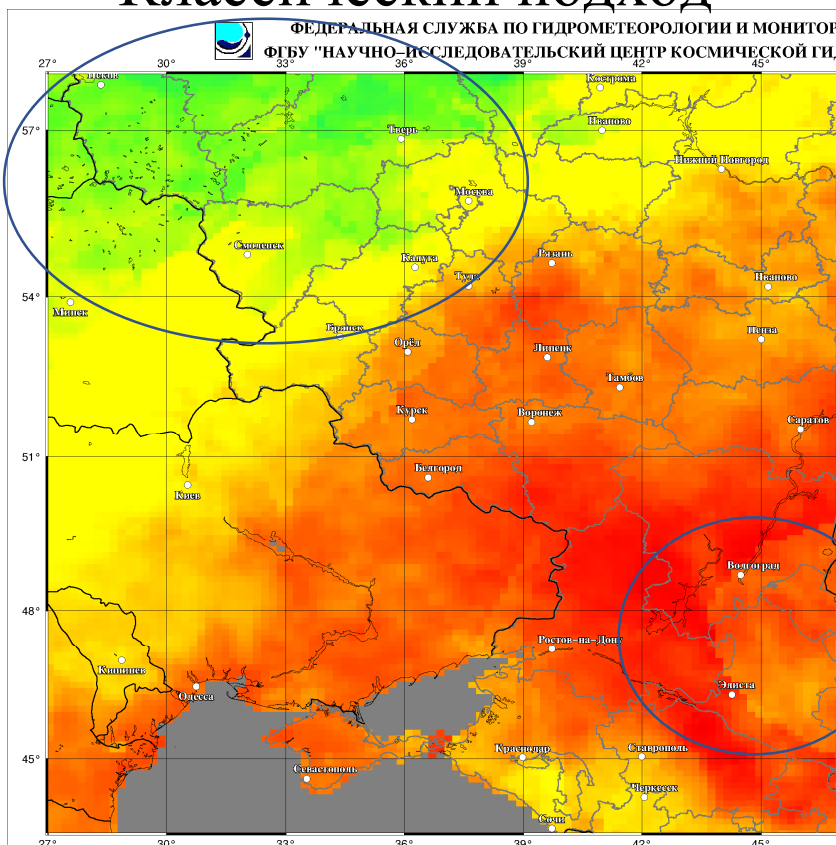


Восстановлено детализированное поле водного эк-та SW ($\text{кг}/\text{м}^2$) снежного покрова на основе данных 6 метеостанций с ненулевым снежным покровом. Тонкие линии – изолинии высот с шагом 500м.

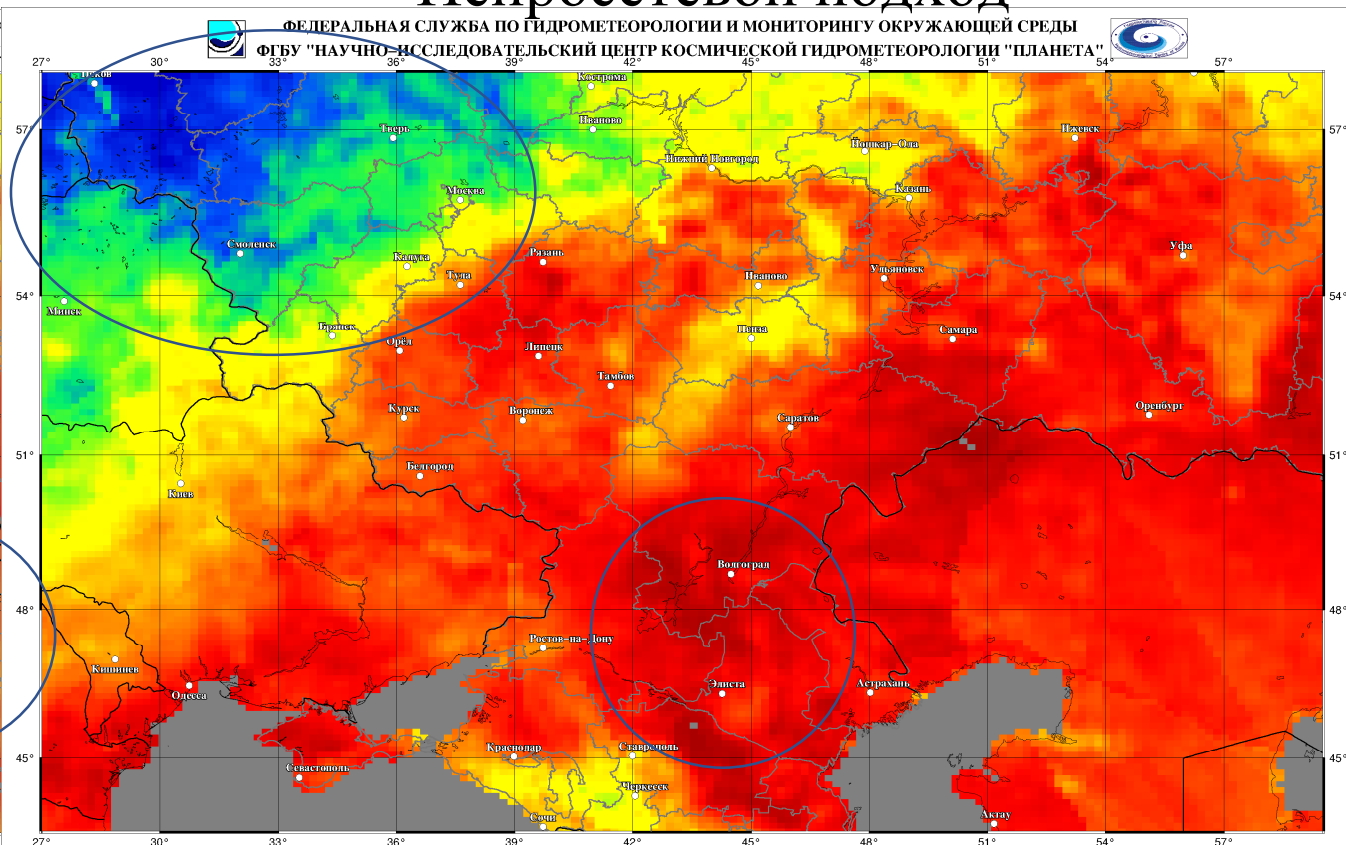
Качество интерполяции зависит от плотности наблюдений в **расширенном пространстве**. Т.е. нам необходимы данные из всех высотных зон.

17 августа 2021 анализ ЗПВ в 0-20 см слое почвы

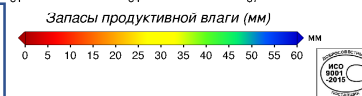
Классический подход

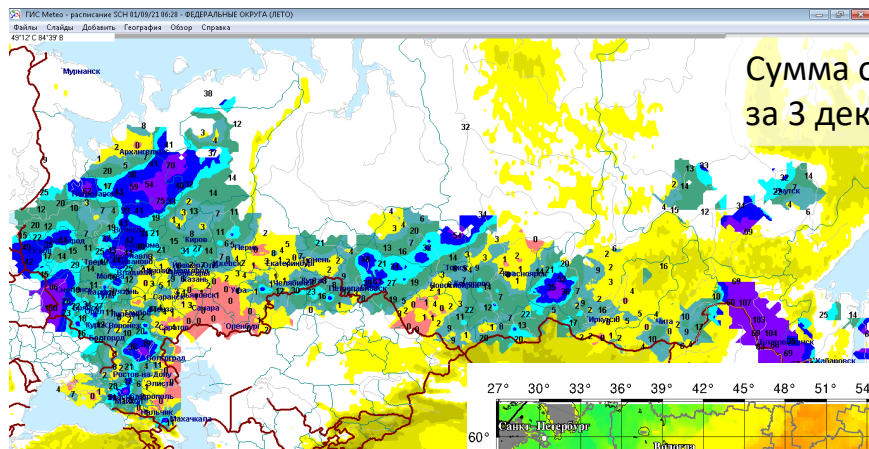


Нейросетевой подход

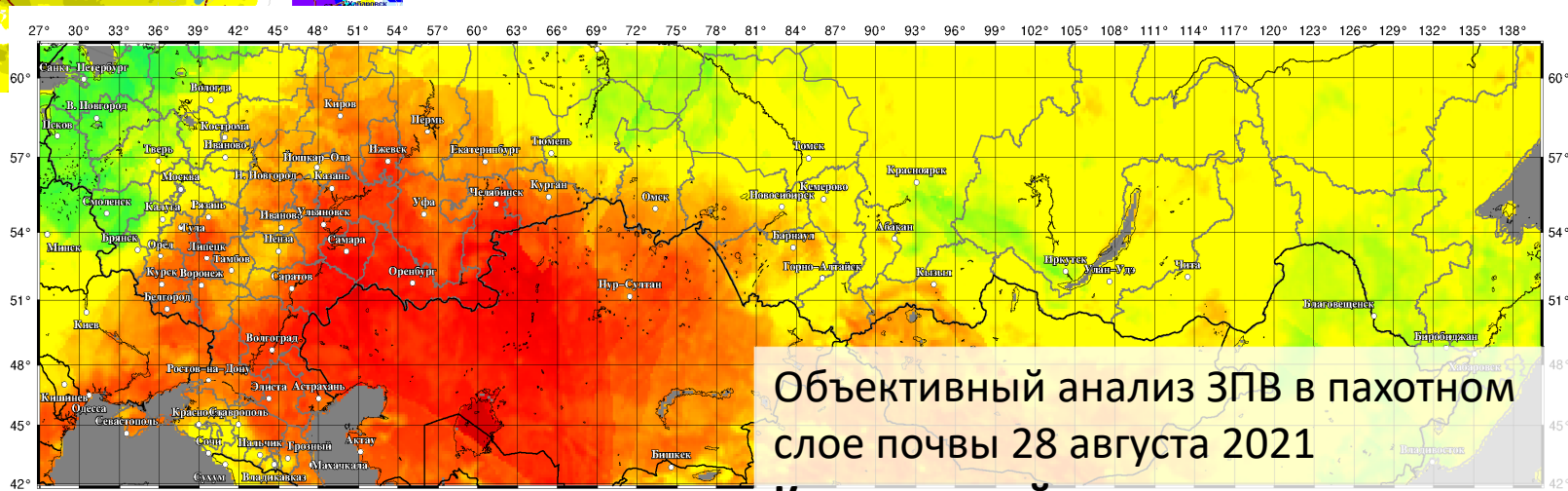


Нейросетевой подход генерирует более детализированное поле, лучше воспроизводит экстремально **малые** и **большие** значения.

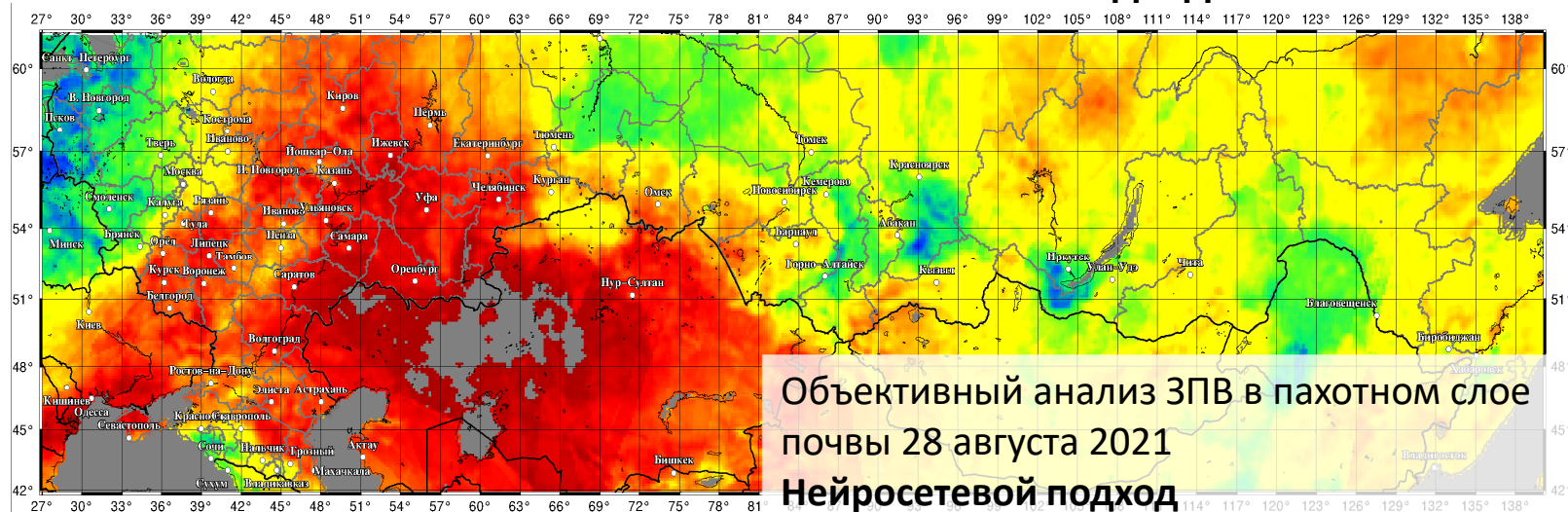




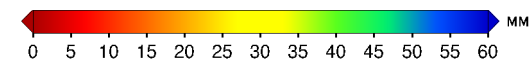
В Казахстане и Оренбургской области версия, основанная на нейронных сетях, диагностирует отрицательные запасы продуктивной влаги (сильную засуху)



Классический подход



Нейросетевой подход



***Сравнение МАЕ (кг/м²) анализа ЗПВ
в Европейской / Азиатской части России***

	NNOI 20 cm	NNOI 10 cm	OI 20 cm	OI 10 cm
28/08/2021	7.26 / 8.78	3.74 / 4.56	8.48 / 10.19	4.49 / 5.37
18/08/2021	6.96 / 8.82	3.71 / 4.74	8.54 / 10.84	4.93 / 5.89
08/08/2021	7.23 / 8.61	3.72 / 4.34	8.72 / 9.46	4.73 / 5.11
28/07/2021	7.05 / 8.92	3.72 / 4.72	8.38 / 9.72	4.60 / 5.22
18/07/2021	8.07 / 8.98	4.31 / 4.87	8.21 / 10.17	4.49 / 5.65
08/07/2021	7.87 / 7.54	4.05 / 4.22	8.68 / 9.10	4.74 / 5.19

Проверка независима: пробы отбираются в 8, 18, 28 день месяца, а данные измерений передаются 11, 21, 1 числа.

Выводы

1. Предложен метод неоднородной оптимальной интерполяции (НОИ), основанный на нейронных сетях.
2. Метод НОИ применен для интерполяции:
параметров снежного покрова SD, SW;
температуры на 2м T2m;
запасов продуктивной влаги в почве AWC.
3. Метод НОИ
 - принимает (нелинейным образом!) во внимание предикторы неоднородности, например, орографию и другие (землепользование, типы почв и т.д.) параметры;
 - воспроизводит высоко детализированное поле;
 - требует меньше (но высококачественных) данных.

Спасибо за внимание!

1. Bykov Ph.L. Optimal interpolation of inhomogeneous fields using neural networks // Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. 2021. pp. 1-03.

<https://bluebook.meteoinfo.ru>

2. Быков Ф.Л. Диссертация «Постпроцессинг численных прогнозов приземных метеорологических параметров на основе нейросетевых методов», 2021 (глава 4) <https://meteoinfo.ru/disserboard>

bphilipp@inbox.ru