

В.А. Тищенко, В.М. Хан, Р.М. Вильфанд

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА
ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРИСЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ
АНСАМБЛЕЙ ДОЛГОСРОЧНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОГНОЗОВ МОДЕЛИ ПЛАВ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ**

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва*

Введение

В ФГБУ «Гидрометцентр России» выпуск глобальных ансамблевых прогнозов с заблаговременностью до 4 месяцев осуществляется на базе модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ.

66

Качество долгосрочных гидродинамических прогнозов зависит от сезона, региона, режима атмосферной циркуляции и многих других факторов и уменьшается с увеличением заблаговременности. Это в первую очередь связано с ослаблением влияния начального состояния. Одним из путей повышения качества гидродинамических прогнозов является постпроцессинг ансамблевых прогнозов модели, который включает в себя устранение систематических ошибок модели и статистическую коррекцию (СК) результатов расчетов по модели.

В ФГБУ «Гидрометцентр России» реализована схема СК прогнозов, полученных на базе модели ПЛАВ, с использованием концепции MOS (используется анализ ошибок и внутренних взаимосвязей модельных полей для повышения качества прогностической продукции). Исходной информацией для СК являются поля реанализа ERA5 (поскольку эти поля на изобарических поверхностях используются в качестве начальных данных ПЛАВ) и ретроспективных прогнозов ПЛАВ полей среднемесячных и сезонных значений атмосферного давления на уровне моря (MSLP), геопотенциала поверхности 500 гПа (H500), температуры воздуха на поверхности 850 гПа (T850) и приземной температуры воздуха (TRSF) в регулярной географической сетке. Прогнозировались средние за сезон и детализированные по месяцам аномалии TRSF над территорией Северной Евразии [1].

Отбирались наиболее тесно взаимосвязанные по коэффициенту корреляции аномалий TRSF в узлах сетки по реанализу ERA5 и прогностические значения MSLP, H500, T850 и TRSF в скользящем окне 120 градусов по долготе и 40 градусов по широте. Ряды в узлах сетки, где получены наиболее значимые взаимосвязи, объединялись в одну выборку и представлялись в виде коэффициентов разложения по эмпирическим ортогональным функциям (э.о.ф.). Схема СК за счет поиска наилучших комбинаций коэффициентов разложения предикторов по территории Северной Евразии позволяет на основе исходных прогностических модельных данных выполнить пространственное смещение аномалий в полях предикторов (H500, T850, MSLP), приближаясь к фактическим данным, и затем с помощью регрессионного анализа восстановить поле приземной температуры воздуха в регионе исследования. Схема реализована в информационно-вычислительной системе MATLAB и предназначена для расчета детерминистских сезонных прогнозов с месячной детализацией.

На рис. 1 представлена краткая схема статистической коррекции.

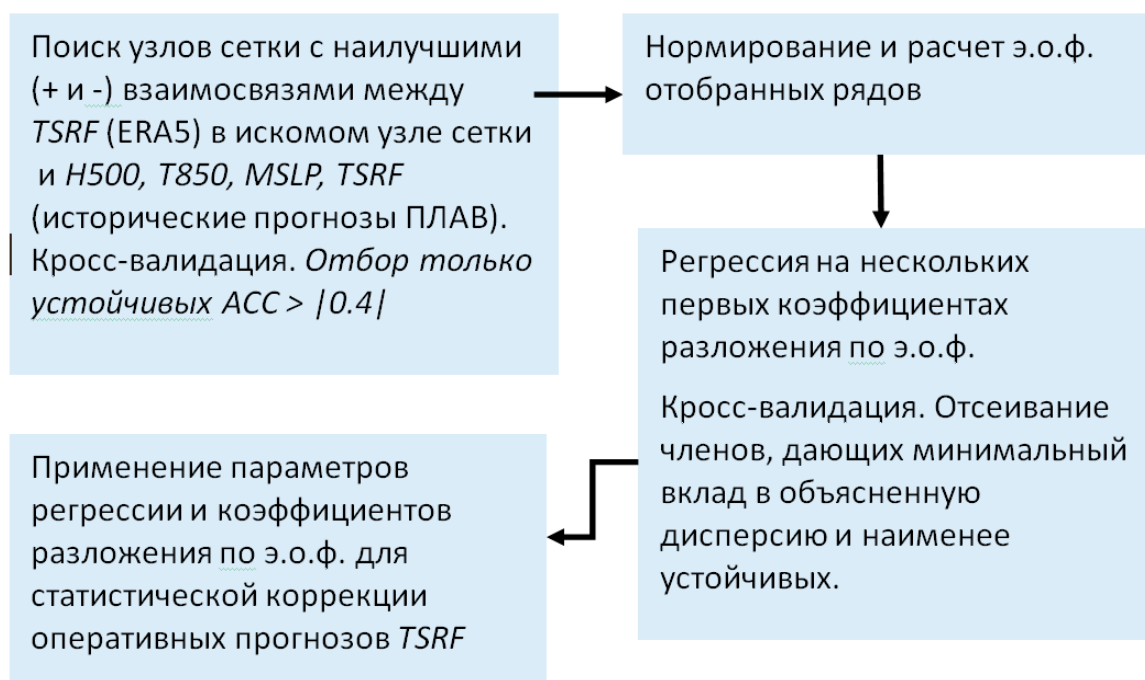


Рис. 1. Схема статистической коррекции.

По плану проекта 1.1.3.1 НИТР Росгидромета в период 2017–2019 гг. в ФГБУ «Гидрометцентр России» проводились исследования по статистической коррекции прогнозов температуры воздуха по глобальной модели ПЛАВ072L96 на основе регрессионного подхода с разложением по э.о.ф. Результатом исследований стала схема прогноза на основе статистической коррекции ансамблей долгосрочных гидродинамических прогнозов модели ПЛАВ072L96 Гидрометцентра России.

Результаты, полученные при авторских испытаниях, позволили создать технологию прогноза внутрисезонной изменчивости температуры воздуха на основе статистической коррекции ансамблей долгосрочных гидродинамических прогнозов.

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета испытания разработанной технологии проводились в Северо-Евразийском климатическом центре в оперативном режиме в период с апреля 2020 по июль 2022 года.

Результаты испытания технологии

Для оценки оперативных прогнозов применялись следующие критерии оценки успешности:

- RMSE – средняя квадратическая ошибка;
- ACC – коэффициент корреляции аномалий прогностических и фактических полей;
- MSSS – мера мастерства (для сравнения с климатическим прогнозом);
- ρ – оценка совпадения по знаку;
- Kss – Показатель Ханссена и Кипера по градациям выше и ниже нормы по территории (аналог показателя ROC для детерминистских прогнозов).

$$K_{ss} = (KS+1)/2,$$

где $KS = HR - FAR$; HR и FAR определяются на основе таблиц сопряженности и характеризуют, соответственно, «долю попаданий» и «долю ложных тревог».

Регионы для оценок успешности прогнозов:

- 1) Северная Евразия (35–75°N, 20–180°E);
- 2) Европейская территория России (40–70°N; 20–60°E);
- 3) Центральная Азия (35–55°N; 50–85°E);
- 4) Сибирь (50–75°N; 60–110°E);
- 5) Северо-Восточная Азия (45–75°N; 110–180°E).

Оценки скорректированных оперативных прогнозов температуры воздуха по модели ПЛАВ в среднем для территории Северной Евразии показали улучшение качества детерминистских прогнозов по сравнению с исходными модельными прогнозами (табл. 1). Следует отметить улучшение качества прогнозов по показателю MSSS. В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции аномалий оперативных месячных прогнозов приземной температуры воздуха по модели и с использованием статистической коррекции для районов на территории Северной Евразии.

При этом для прогнозов, стартующих в летние и зимние месяцы, в большинстве районов качество прогнозов с использованием статистической коррекции существенно не изменяется, превышение АСС скорректированных прогнозов над исходными не значимо, в первую очередь над районами с высокой оправдываемостью модельного прогноза.

Существенное улучшение качества прогнозов средних сезонных и месячных аномалий температуры воздуха в Северной Евразии по всем показателям проявляется в переходные сезоны (для прогнозов, стартующих в марте–апреле и сентябре–ноябре). На рис. 2 приведены разности оценок оперативных сезонных прогнозов с использованием статистической коррекции и исходных модельных прогнозов.

Таблица 1

Результаты оперативных испытаний технологии месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха для территории Северной Евразии

Критерии оценки успешности	Прогноз	Месячный прогноз				Сезонный прогноз	
		1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	1 сез.	2 сез.
АСС	ПЛАВ	0.35	0.16	0.10	0.12	0.23	0.18
	Коррект.	0.38	0.32	0.24	0.29	0.47	0.41
ρ	ПЛАВ	0.28	0.14	0.12	0.11	0.19	0.14
	Коррект.	0.3	0.23	0.18	0.18	0.40	0.34
RMSE	ПЛАВ	2.12	2.40	2.43	2.31	1.85	1.87
	Коррект.	1.89	2.08	2.22	2.09	1.49	1.54
MSSS	ПЛАВ	0.11	0.09	0.03	0.04	0.09	0.06
	Коррект.	0.25	0.23	0.22	0.2	0.27	0.23
Kss	ПЛАВ	0.58	0.58	0.51	0.5	0.56	0.55
	Коррект.	0.67	0.63	0.62	0.59	0.68	0.61

Примечание. ПЛАВ – прогноз по модели ПЛАВ, Коррект. – прогноз с использованием СК.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции аномалий (АСС), ρ и RMSE оперативных месячных прогнозов приземной температуры воздуха для территории Северной Евразии

Месяц прогноза	Прогноз	Район				
		Сев. Евр.	ЕТР	Ц. Азия	Сибирь	С-В. Азия
АСС						
1	ПЛАВ	0.16	0.08	0.04	0.14	0.18
	Коррекция	0.31	0.32	-0.01	0.24	0.32
2	ПЛАВ	0.07	0.06	0.01	0.09	0.02
	Коррекция	0.18	0.18	-0.10	0.12	0.22
3	ПЛАВ	0.05	0.08	0.16	-0.03	0.05
	Коррекция	0.11	0.06	-0.11	0.04	0.11
4	ПЛАВ	0.08	0.13	0.12	-0.06	0.13
	Коррекция	0.22	0.20	0.02	0.27	0.24

ρ						
1	ПЛАВ	0.15	0.07	-0.01	0.10	0.19
	Коррекция	0.24	0.24	-0.00	0.21	0.19
2	ПЛАВ	0.11	0.10	0.02	0.06	0.05
	Коррекция	0.11	0.13	-0.11	0.02	0.05
3	ПЛАВ	0.11	0.08	0.17	-0.02	0.05
	Коррекция	0.09	0.12	-0.12	-0.01	0.01
4	ПЛАВ	0.11	0.15	0.10	-0.05	0.12
	Коррекция	0.16	0.12	0.03	0.21	0.07
RMSE						
1	ПЛАВ	2.68	2.59	2.29	3.93	2.62
	Коррекция	2.29	2.13	2.48	3.17	2.18
2	ПЛАВ	2.71	2.27	2.12	3.87	2.83
	Коррекция	2.53	2.31	2.52	3.42	2.46
3	ПЛАВ	2.62	2.34	2.10	3.69	2.64
	Коррекция	2.60	2.47	2.63	3.61	2.47
4	ПЛАВ	2.49	2.34	2.18	3.44	2.42
	Коррекция	2.43	2.40	2.31	3.02	2.41

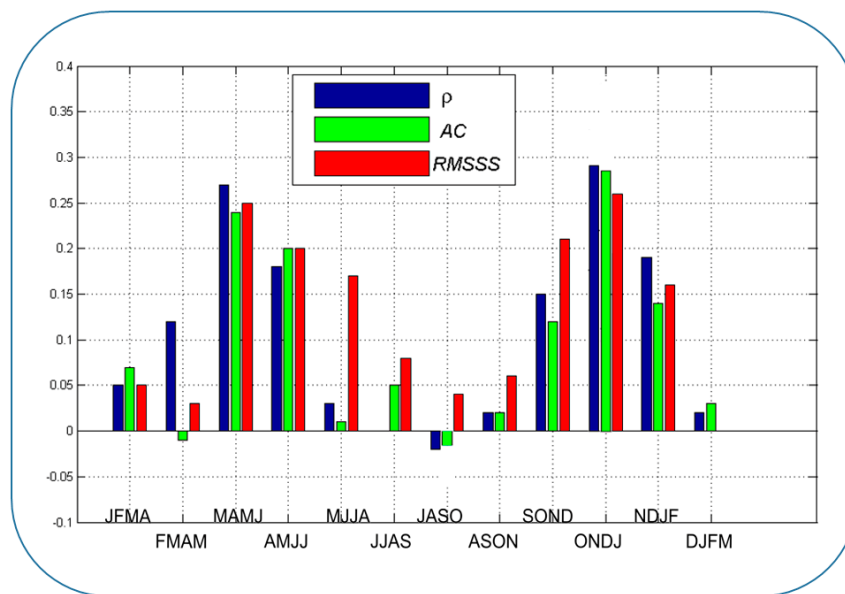


Рис. 2. Годовой ход разности оценок оперативных сезонных прогнозов с коррекцией и исходных модельных прогнозов для территории Северной Евразии.

Данные прогнозы важны для гидрометеорологического обеспечения отраслей энергетики, транспорта, лесного и сельского хозяйства. Развитие предложенной схемы может включать коррекцию прогнозов сумм осадков за месяц-сезон [2], а также использование для коррекции прогнозов индексов атмосферной циркуляции.

Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 27 сентября 2022 г. принято решение:

– одобрить работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по разработке технологии прогноза внутрисезонной изменчивости температуры воздуха на основе статистической коррекции ансамблей долгосрочных гидродинамических прогнозов модели ПЛАВ072L96 в целях повышения качества долгосрочных метеорологических прогнозов;

– внедрить технологию в практику прогностической работы ФГБУ «Гидрометцентр России» и СЕАКЦ в качестве вспомогательной при составлении метеорологических прогнозов на сезон для территории Северной Евразии;

– продолжить работы по усовершенствованию технологии.

Список литературы

1. Тищенко В.А., Хан В.М., Толстых М.А., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Гельфан А.Н. Применение статистической коррекции месячных и сезонных детерминистских прогнозов температуры воздуха и осадков по модели ПЛАВ для отдельных районов России // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 358. – С. 121–132.

2. Тищенко В.А., Хан В.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Прогнозирование осадков и температуры в бассейне реки Амур на месячных и сезонных интервалах времени // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 3. – С. 24–39.