

В.М. Хан, В.А. Тищенко, Р.М. Вильфанд

**ТЕХНОЛОГИЯ МЕСЯЧНОГО И СЕЗОННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
ПО АРКТИЧЕСКОМУ РЕГИОНУ
НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
АНСАМБЛЕВЫХ ПРОГНОЗОВ ПЛАВ**

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

Введение

Решение ряда комплексных задач по освоению Арктического региона требует наличие профессиональной прогностической информации на масштабах месяц-сезон [1]. Для Арктического региона в целом качество долгосрочных прогнозов по ведущим прогностическим моделям, включая ПЛАВ, на срок более месяца имеет невысокую успешность. Качество гидродинамических прогнозов по мере увеличения заблаговременности уменьшается. При этом успешность прогнозов варьируется от региона к региону. Один из подходов на пути повышения качества гидродинамических сезонных прогнозов основан на использовании статистической коррекции. В ФГБУ «Гидрометцентр России» в рамках выполнения темы 1.1.2.2 плана НИОКР Росгидромета на 2020–2024 гг. «Развитие технологии специализированных долгосрочных прогнозов в рамках СЕАКЦ» активно развиваются методы статистической коррекции гидродинамических прогнозов по модели ПЛАВ. Наряду с этим стал разрабатываться метод статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ по Арктическому региону, начиная с реализации проекта Российского научного фонда (РНФ) по созданию лаборатории гидрометеорологии Арктики (ЛаГАр) в ФГБУ «Гидрометцентр России».

Разработанная «Технология месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ», в соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов

Росгидромета, проходила испытания в Северо-Евразийском климатическом центре в оперативном режиме в период с апреля 2020 по июль 2022 года.

Ниже представлена основная информация по протоколу испытания.

Прогнозируемые характеристики:

T2m – приземная температура воздуха.

Заблаговременность и детализация по времени (периоды прогноза):

4 месяца с заблаговременностью 0–3 месяца.

Сезон (средние за 3 месяца) с нулевой и месячной заблаговременностью.

Территория и пространственная детализация:

Территория Арктики по выделенным регионам.

График выпуска прогнозов:

Ежемесячно.

Эталонные массивы данных

Эталонные (фактические) данные для оценки прогнозов сеточных полей T2m рассчитываются на основе среднесуточных полей реанализа ERA5.

Оценки **эталонного климата** по выделенным регионам для расчета фактических аномалий T2m рассчитываются за период 1991–2015 гг.

Критерии оценки успешности прогнозов:

- RMSE – средняя квадратическая ошибка;
- ABSE – абсолютная ошибка;
- ACC – коэффициент корреляции аномалий прогностических и фактических полей;
- MSSS – мера мастерства (для сравнения с климатическим прогнозом);
- ρ – оценка совпадения по знаку.

Регионы для оценок успешности прогнозов:

Вся территория Арктического региона (севернее 60° с. ш.), а также районы в северной полярной области (1 – Атлантический; 2 – Североевропейский; 3 – Западносибирский; 4 – Восточносибирский; 5 – Чукотский; 6 – Аляскинский; 7 – Канадский; 8 – Центральная Арктика) для скорректированных прогнозов (рисунок).

Реализация метода статистической интерпретации заключалась в проведении следующих этапов:

1. Осуществлялась двуступенчатая коррекция прогнозов. На первом этапе для каждого прогноза проводилась коррекция T2m на тренд, на втором этапе – коррекция с подходом MOS (model output statistics).

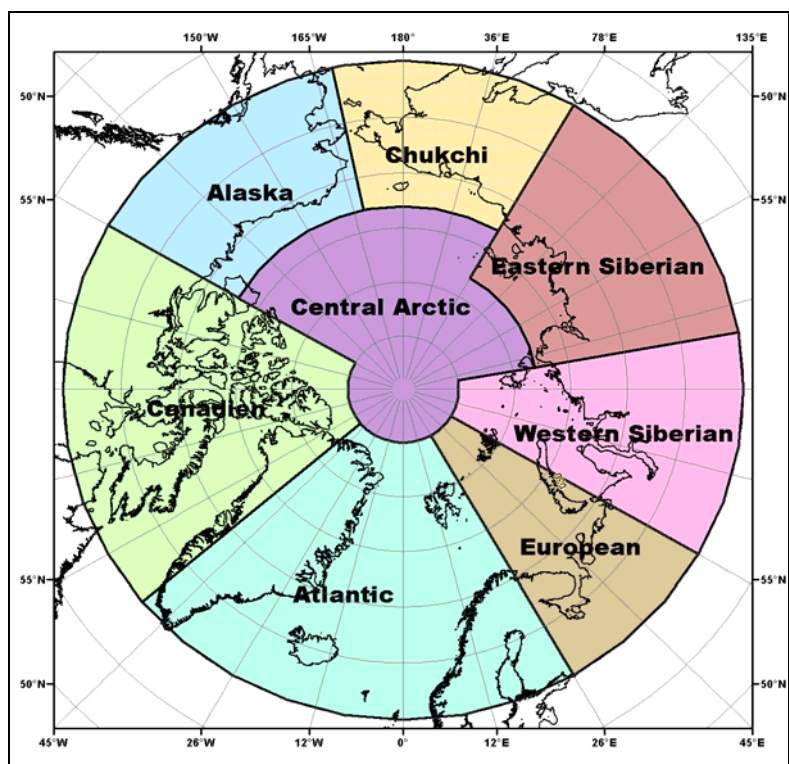


Рисунок. Районы в северной полярной области.

2. Нормированные ряды исходных прогнозов раскладывались по эмпирическим ортогональным функциям. Нормирование позволило использовать в одной выборке различные поля.

3. Отбирались компоненты с максимальным вкладом в общую дисперсию.

4. Отбор оптимальных предикторов в схеме осуществлялся в режиме скользящего окна размером 1000×1000 км с пороговыми фильтрами (коэффициент корреляции, значимый на 5%-ном уровне).

5. В режиме кроссвалидации проводился поиск наилучших комбинаций коэффициентов разложения предикторов.

6. Поля температуры воздуха восстанавливались по прогностическим полям H500, T850, SLP, а также по самим значениям температуры, сдвинутым в пространстве относительно искомой точки.

7. В скорректированных прогнозах устранялась систематическая ошибка.

Более подробная информация о методе представлена в [2, 3].

Результаты испытаний

Результаты авторских (табл. 1) и независимых (табл. 2) испытаний технологии месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому

региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ продемонстрировали, что предложенная статистическая коррекция ансамблевых сезонных прогнозов гидродинамической модели ПЛАВ для региона Арктики позволила существенно улучшить качество прогнозов приземной температуры воздуха в этом регионе. В частности, показано устойчивое преимущество скорректированных месячных и сезонных прогнозов с различной заблаговременностью по показателям ACC, RO, RMSE для регионов Европы, Европейско-Атлантического сектора, Восточной Сибири, Канадского сектора, центральной Арктики с 1 месяца, для всех регионов со 2 по 4 месяца.

Значительное преимущество скорректированных сезонных прогнозов отмечено для всех регионов с нулевой и месячной заблаговременностью.

Таблица 1

Результаты авторских испытаний технологии месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха (INTP) по Арктическому региону в сравнении с прогнозами ПЛАВ (PLAV)

Критерии оценки успешности	Прогноз	1-month	2-month	3-month	4-month	1 Season
ACC	PLAV	0.37	0.16	0.11	0.12	0.24
	INTP	0.67	0.61	0.64	0.60	0.59
ρ	PLAV	0.29	0.13	0.08	0.10	0.19
	INTP	0.49	0.43	0.47	0.45	0.42
MSSS	PLAV	0.01	0.02	0	0.03	0.05
	INTP	0.29	0.23	0.25	0.25	0.27
KS _{scaled}	PLAV	0.60	0.54	0.53	0.55	0.55
	INTP	0.74	0.72	0.73	0.71	0.7

Примечание. PLAV – исходные прогнозы ПЛАВ; INTP – скорректированные прогнозы ПЛАВ по предложенному методу; 1-month - 1-й месяц прогноза с 0 заблаговременностью; 2-month - 2-й месяц прогноза с месячной заблаговременностью; 1 Season – сезонный прогноз с 0 заблаговременностью за период с 1 по 3 месяц.

Таблица 2

Результаты независимых испытаний сезонных прогнозов приземной температуры воздуха (Коррект) по отдельным районам Арктики в сравнении с прогнозами ПЛАВ

Сезон	Прогноз	Район							
		Atlantic	Europe	West.Sib.	East.Sib.	Chukotka	Alaska	Canada	C.Arctic
Коэффициент корреляции аномалий (ACC)									
Сезон 1	ПЛАВ	0.16	0.19	0.27	0.24	0.28	0.24	0.20	0.37
	Коррект	0.46	0.57	0.58	0.54	0.62	0.49	0.45	0.73
Сезон 2	ПЛАВ	0.17	0.05	0.02	0.11	-0.00	0.12	0.22	0.19
	Коррект	0.51	0.49	0.57	0.48	0.59	0.40	0.47	0.73

Оценка оправдываемости по знаку аномалии (ρ)									
Сезон 1	ПЛАВ	0.09	0.19	0.24	0.23	0.32	0.20	0.17	0.31
	Коррект	0.43	0.58	0.50	0.46	0.64	0.37	0.40	0.74
Сезон 2	ПЛАВ	0.06	0.10	0.06	0.09	0.03	0.15	0.19	0.15
	Коррект	0.49	0.46	0.49	0.38	0.60	0.33	0.43	0.75
Среднее квадратическое отклонение (RMSE)									
Сезон 1	ПЛАВ	1.62	2.49	3.24	2.98	2.57	2.20	1.91	2.61
	Коррект	1.42	2.03	2.64	2.45	1.90	1.84	1.66	1.76
Сезон 2	ПЛАВ	1.61	2.58	3.53	3.07	2.59	2.21	1.95	2.77
	Коррект	1.34	2.14	2.84	2.49	1.79	1.81	1.65	1.73

Для всех регионов статистическая коррекция улучшает результаты сезонного прогноза.

Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 23 декабря 2022 г. принято решение:

– одобрить работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по разработке технологии месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ;

– внедрить технологию месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ в практику прогностической работы ФГБУ «Гидрометцентр России» и СЕАКЦ в качестве основной при составлении прогнозов приземной температуры воздуха на месяц и сезон для территории Арктики;

– продолжить работы по развитию данной технологии статистической коррекции с использованием ансамблевых сезонных прогнозов по модели Земной системы в рамках выполнения НИР по ВИП ГЗ.

На основании решения ЦМКП от 23 декабря 2022 г. разработанная в ФГБУ «Гидрометцентр России» технология месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ внедрена в качестве основной в отделе долгосрочных прогнозов погоды и обеспечения функций Северо-Евразийского климатического центра ФГБУ «Гидрометцентр России» при составлении прогнозов приземной температуры воздуха на месяц и сезон для территории Арктики.

Технология продемонстрировала высокую успешность прогнозов приземной температуры воздуха в этом регионе за счет процедуры статистической коррекции ансамблевых сезонных прогнозов гидродинамической модели ПЛАВ.

Внедрение технологии месячного и сезонного прогнозирования приземной температуры воздуха по Арктическому региону на основе статистической интерпретации ансамблевых прогнозов ПЛАВ позволит расширить спектр выпускаемой прогностической продукции в Северо-Евразийском климатическом центре в интересах потребителей.

Список литературы

1. Вильфанд Р.М., Хан В.М. Некоторые аспекты прогнозирования климатической изменчивости в Арктическом регионе // Арктическое обозрение. – 2019. – № 5. – С. 30–40.
2. Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А., Хан В.М. Выпуск долгосрочных метеорологических прогнозов по Арктическому региону в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // Труды Гидрометцентра России. – 2016. – Вып. 361. – С. 7–28.
3. Тищенко В.А., Хан В.М., Толстых М.А., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Гельфан А.Н. Применение статистической коррекции для детерминистских месячных и сезонных прогнозов температуры воздуха и осадков по модели ПЛАВ для отдельных районов России // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 358. – С. 121–132.