

# **Зависимость сезонных прогнозов в Арктике от фаз арктического колебания**

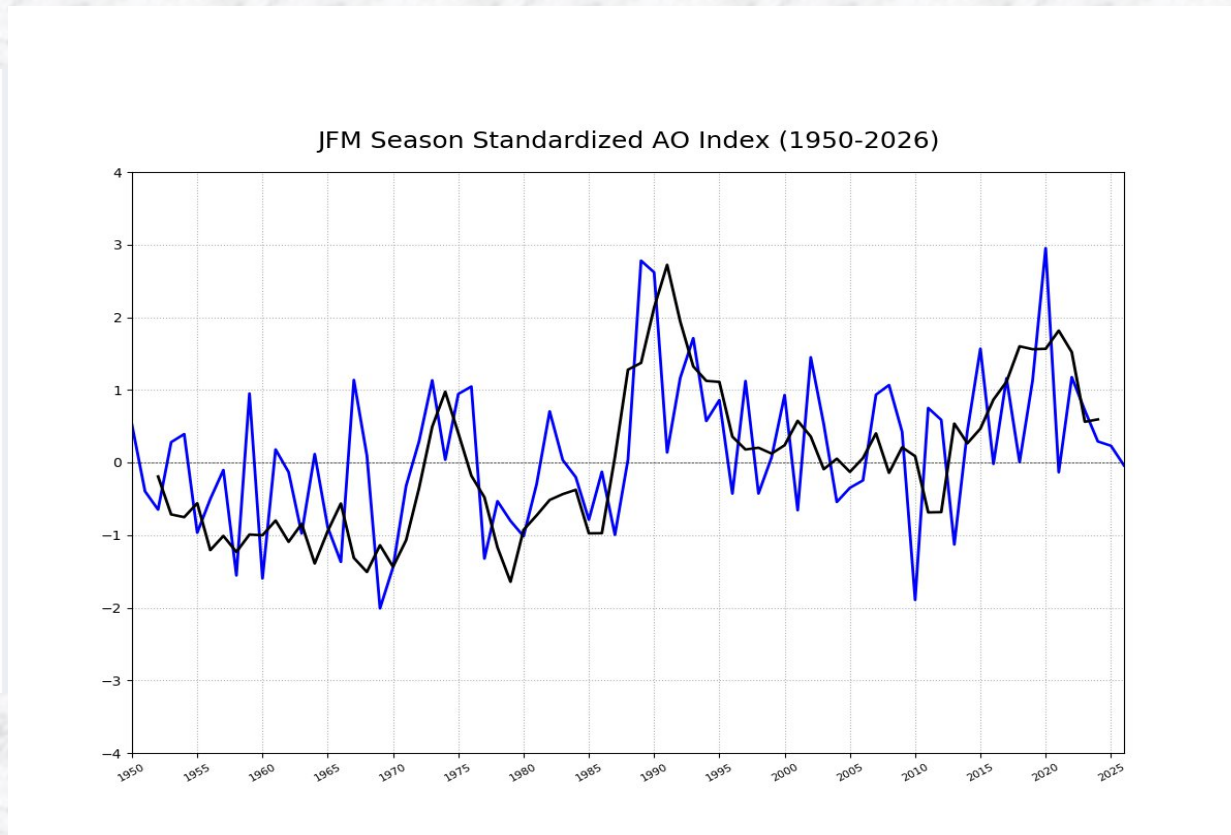
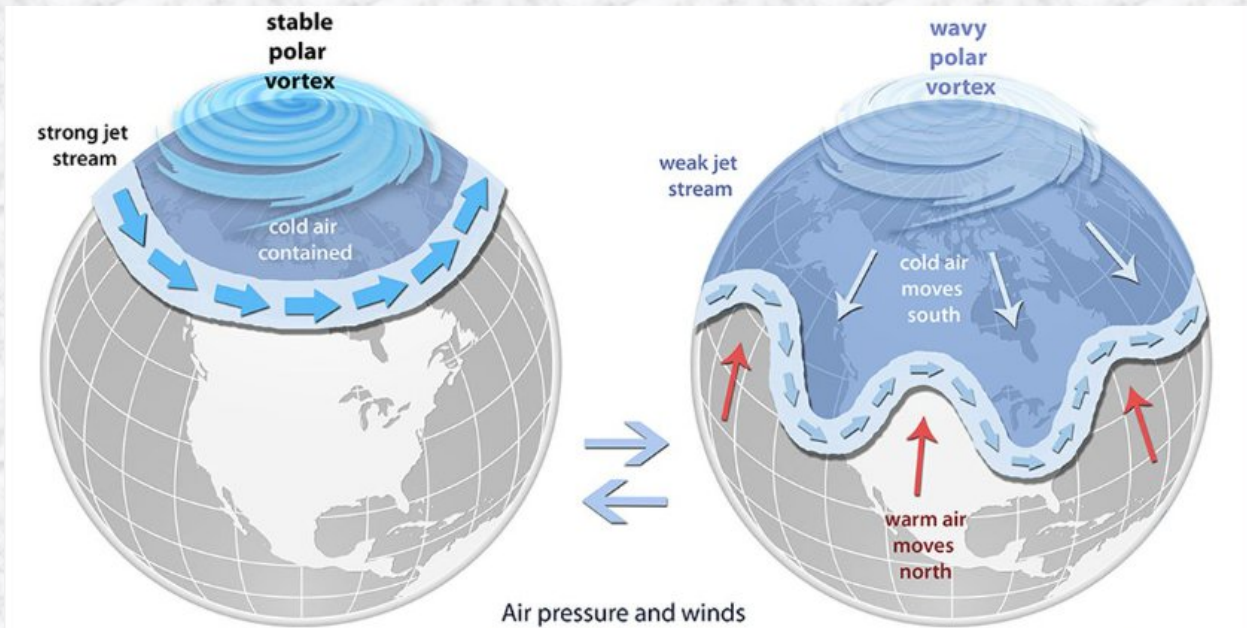
**В.Ю. Цепелев**

*v0010200@mail.ru*

**ГНЦ РФ ААНИИ Санкт-Петербург**

**2026**

# Арктическая осцилляция



Индекс изменения давления на уровне моря к северу от  $20^{\circ}$  с.ш., характеризующий аномалию давления в [Арктике](#) по отношению к давлению в более южных широтах [северного полушария](#) с центром измерения на широтах  $37-45^{\circ}$  с.ш.

*Арктическая осцилляция (АО)* является одним из основных факторов, определяющих характер погоды северного полушария в течение зимнего периода. Изменение индекса на протяжении длительных интервалов времени не имеет строгой периодичности.

Задачей исследования является:

- Количественная оценка связи индекса АО с метриками качества сезонных прогнозов;
- Выявление реакции успешности прогнозов на изменение фазы АО;
- Формулировка практических рекомендаций для прогнозиста.

## Цели и задачи исследования

I. Проведен комплексный анализ режимной зависимости ансамблевых сезонных прогнозов, разрабатываемых с помощью двух методов сезонного прогноза погоды в период с 2010 по 2018 годы:

- Ретроспективных ансамблевых прогнозов, получаемых с помощью модели CFSv2 (NCEP/NCAR);
- Синоптико-статистического метода гомологов циркуляции.

II. Задачей исследования являлась

а) количественная оценка связи индекса АО для прогноза:

- приземных аномалий давления на уровне моря «SLP»;
- температуры воздуха на высоте 2 метра («T2m»)

б) выявление различия в успешности прогнозов, составленных по обоим методам, в зависимости от фазы АО.

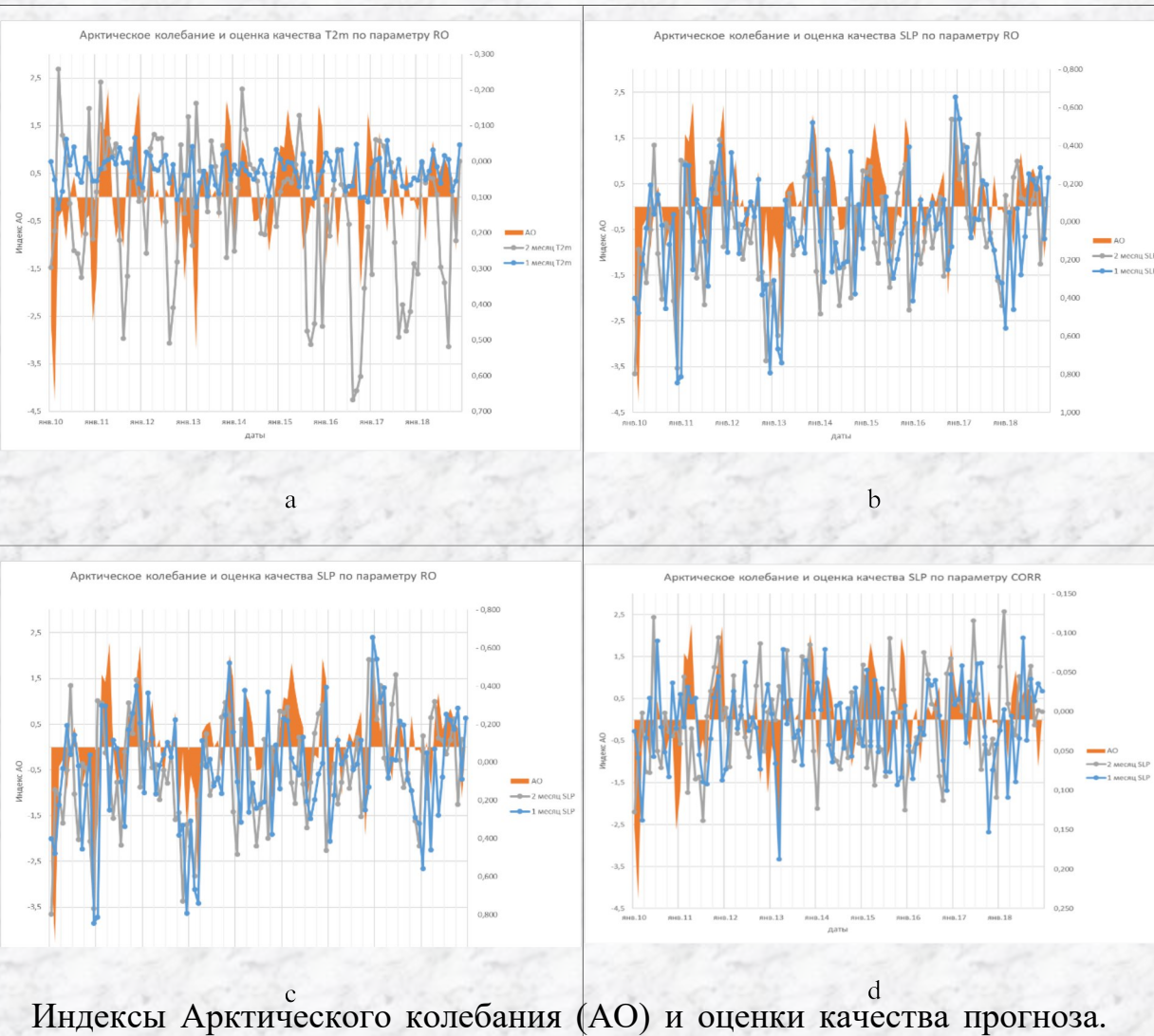
III. Анализ проводился с использованием метрик качества прогнозов

- «CORR» (коэффициент корреляции)
- «RO» (коэффициент геометрического подобия прогностического и фактического полей аномалий)

IV. Построены графики распределения вероятности метрик качества прогнозов для положительных и отрицательных индексах АО



# Статистические распределения метрик качества по фазам АО



a

b

c

d

Индексы Арктического колебания (АО) и оценки качества прогноза.

Синий цвет – прогноз на первый месяц, серый – прогноз на второй месяц. Коричневый цвет – индексы АО.

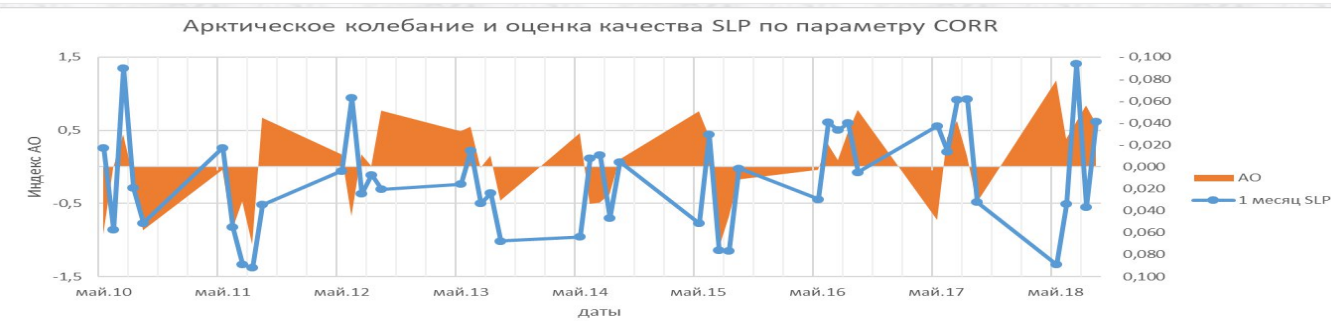
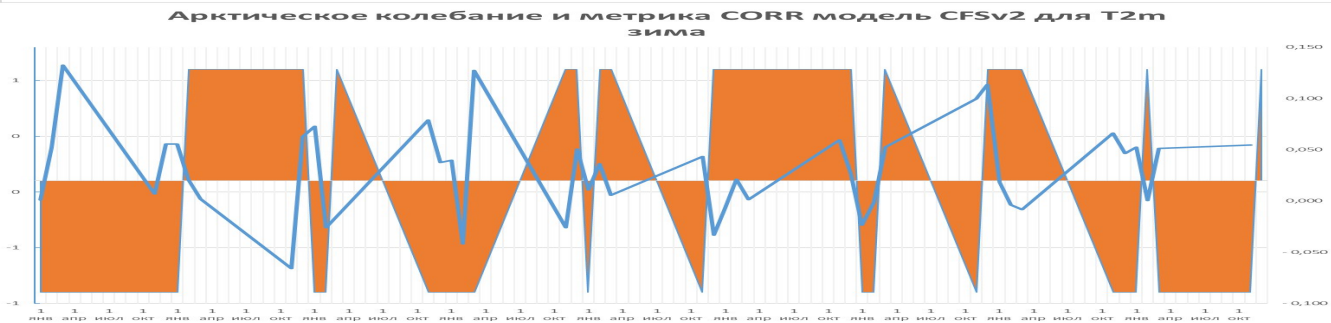
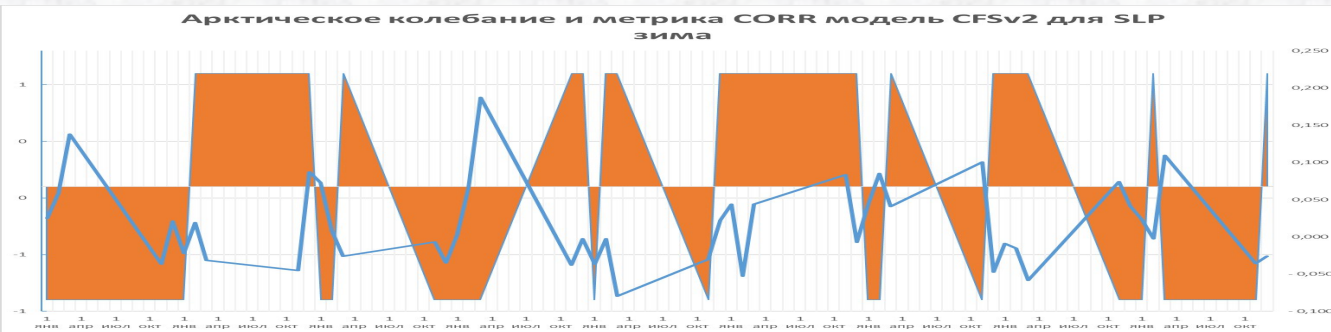
a- «T2m» по «RO», b – «SLP» по «RO»,

c – «T2m» по «CORR», d – «SLP» по «CORR»

Совпадение периодов высоких положительных АО с отрицательными выбросами «RO» и «CORR» показывает, что:

1. Экстремально сильная АО+ ухудшает прогноз SLP, что особенно заметно в 2010 и 2013 гг
2. Прогнозы «T2m» слабо связаны с фазами АО и зависят от сезона года
3. Наиболее сильная зависимость между АО и качеством прогнозов наблюдается для модели CFSv2

# Статистические распределения метрик качества по фазам АО



## Зимний сезон

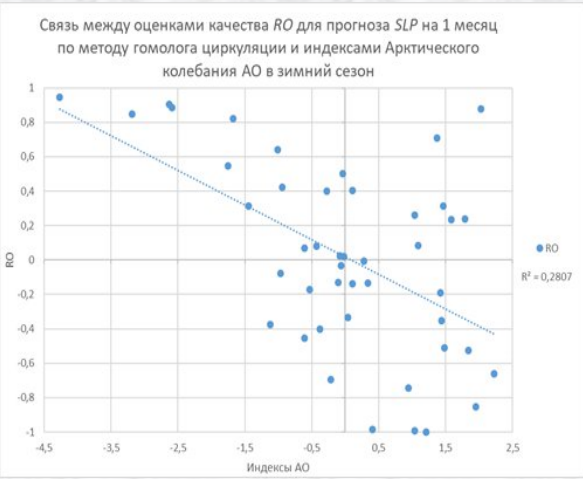
- В условиях умеренной положительной фазы АО прогноз «SLP» становится более устойчивым и согласованным.
- При отрицательной фазе АО медианные значения метрик качества понижаются, межквартильный разброс оценок увеличивается и устойчивость прогноза снижается.
- Для прогнозов «T2m» аналогичные изменения выражены слабее, что свидетельствует о сохраняющемся влиянии на прогноз локальных термодинамических факторов, которые слабо связаны с крупномасштабной циркуляцией.

## Летний сезон

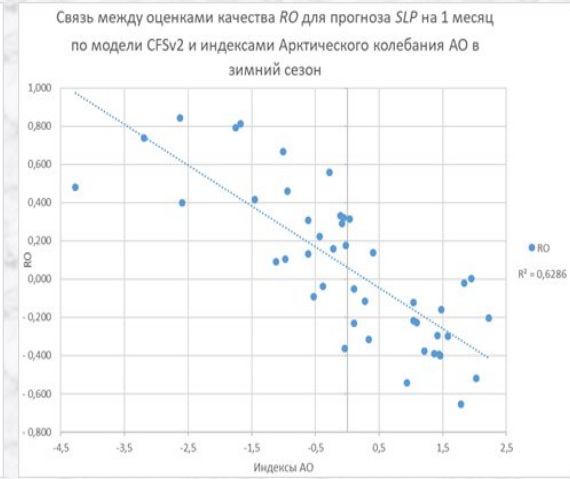
- Различия в качестве прогнозов между фазами АО становятся статистически незначимы, а медианные значения метрик становятся отрицательными, что свидетельствует о слабой предсказуемости
- Различия между фазами АО проявляются как статистическое смещение распределений оценок качества

*При этом Арктическое колебание не является предиктором, а выступает в роли индикатора степени организованности крупномасштабной циркуляции, влияя прежде всего на форму распределений оценок качества прогнозов.*

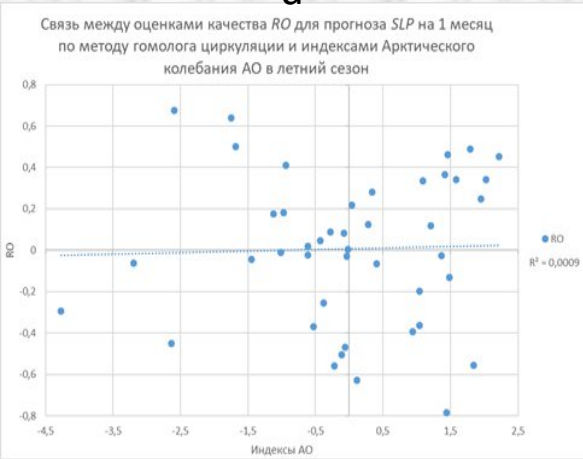
# Статистические распределения метрик качества по фазам АО



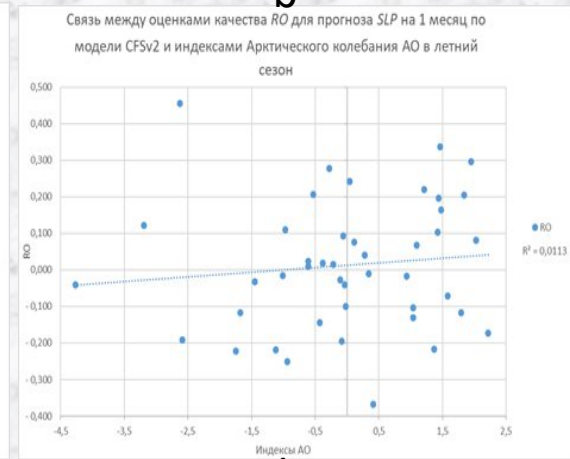
а



б



с



д

Диаграмма рассеяния и линия тренда для оценок качества прогнозов « $RO$ » и индексов Арктического колебания (АО) в зимний (а, б) и летний (с, д) сезоны.

## Зимний сезон

- При увеличении индекса АО наблюдается отрицательный линейный тренд метрики « $RO$ » для « $SLP$ ». С ростом индекса АО значение « $RO$ » снижается для обоих прогностических методов.
- Наблюдается пороговый эффект, когда при  $АО > 1$  значения « $RO$ » становятся преимущественно отрицательными, что явно выражено для модели CFSv2.
- Для прогнозов по методу гомологов циркуляции пороговый эффект проявляется слабее.
- В летний период, линейной зависимости метрик качества от величины индекса АО не просматривается.

## Летний сезон

- Для прогнозов по модели CFSv2 для метрики « $RO$ » значимой связи с индексами АО не наблюдается.
- Для метрики « $CORR$ », по обоим методам, коэффициент детерминации близок к нулю.
- *Фазовое состояние АО управляет пространственной структурой полей аномалий давления, но слабо связано с их интенсивностью.*

## Статистические распределения метрик качества по фазам АО



1. Чем выше индекс АО тем хуже прогнозы по обоим методам.
2. Влияние АО на прогнозы SLP больше, чем на прогнозы T2m.
3. Зимой связь между АО и метриками качества полученными по модели CFSv2 сильнее и наблюдаются отрицательные коэффициенты для нее больше по модулю, чем для метода гомологов циркуляции
4. Летом влияние АО на качество прогнозов T2m для обоих методов минимально.
5. Метод гомологов циркуляции менее чувствителен к экстремальным фазам АО.

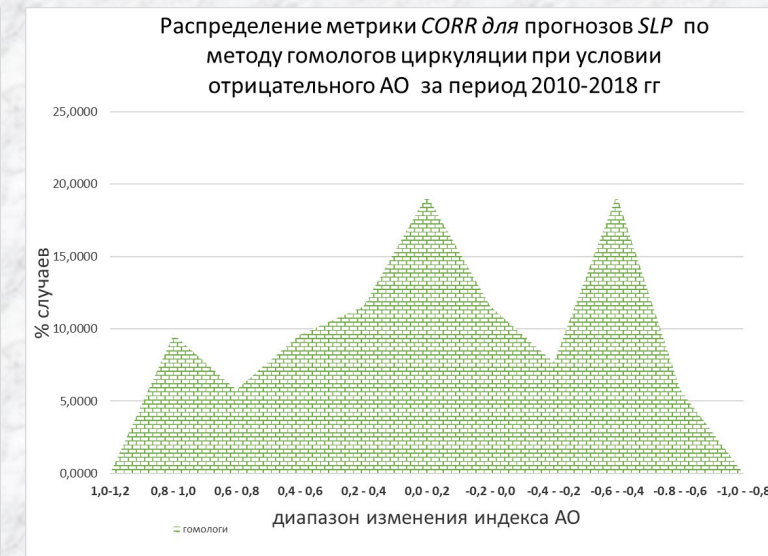
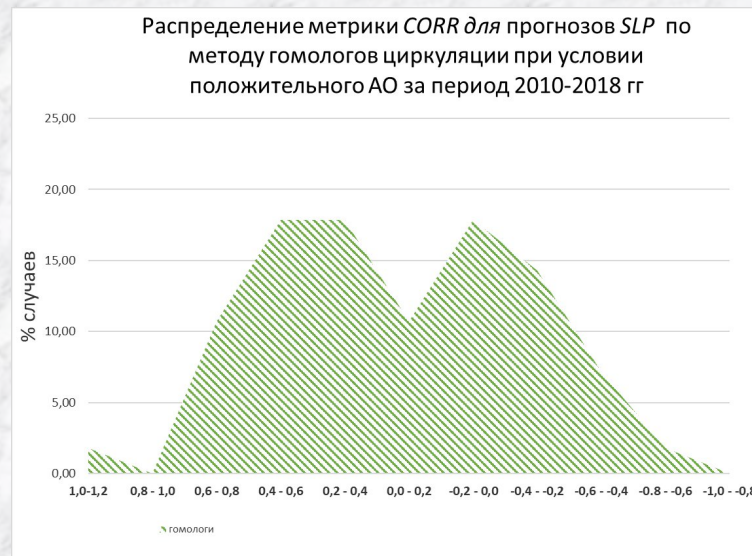
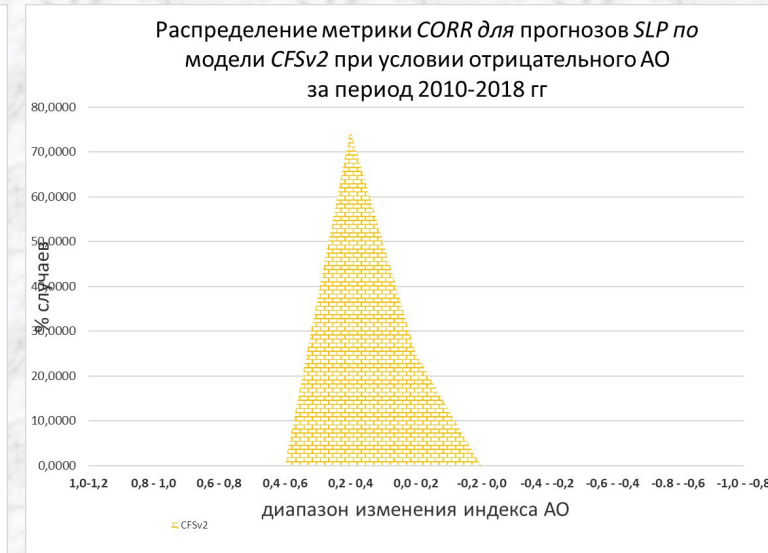
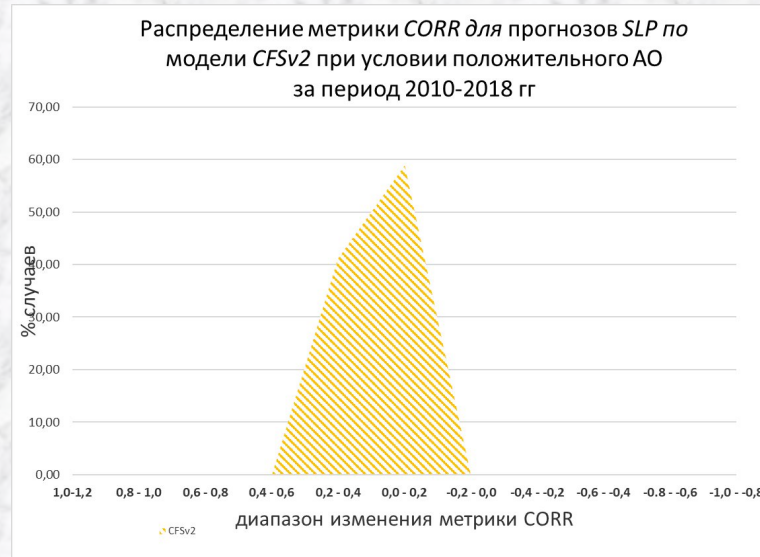
Сравнение коэффициентов корреляции индекса АО с метрикой «RO» и «CORR» для модели CFSv2 (оранжевый цвет) и метода гомологов циркуляции (синий цвет) по сезонам и параметрам.

Где: a - «RO», b - «CORR»

## Влияние АО на предсказуемость поля давления («SLP»)

При умеренном положительном значении АО усиливается зональный перенос в средней и верхней тропосфере, углубляется циркумполярный вихрь, что создаёт дополнительный источник предсказуемости.

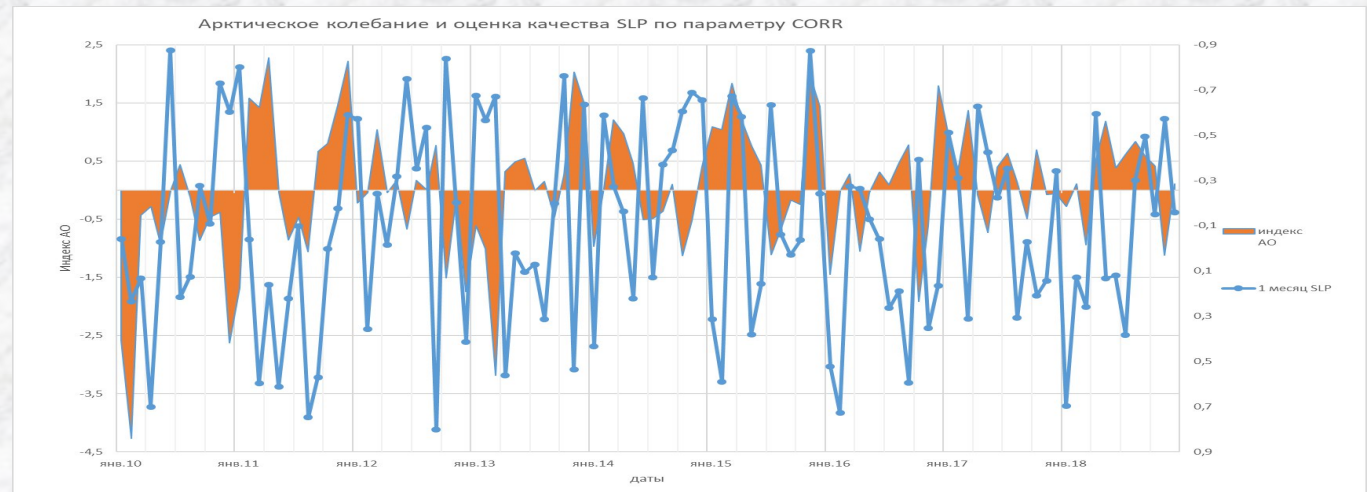
- При АО+ атмосфера становится более чувствительной к малым ошибкам в начальных данных из-за наличия сильных струйных течений и обостренных зон бароклинности. Ансамбль CFSv2 не полностью охватывает возникающие неопределённости, что приводит к его расхождению и ухудшению качества прогнозов.
- Отрицательная фаза АО (АО-) характеризуется ослаблением зонального переноса, усилением меридиональных составляющих и блокирующих процессов. Циркуляция быстро эволюционирует и становится менее предсказуемой для численных моделей.
- В эти периоды метод гомологов циркуляции может показывать лучшие результаты, так как при меридиональной циркуляции формируются процессы, которые обладают высокой степенью уникальности. Метод гомологов циркуляции способен уловить эту уникальность и выявить в исторической базе данных близкие аналоги развития процессов.



## Нелинейность и пороговые эффекты

1. Выявлена нелинейная связь между оценками качества прогнозов и индексом АО (значение 1.5, используемое как порог экстремальной АО+, соответствует верхнему децилю распределения индекса за исследуемый период).
2. Снижение качества происходит не плавно а после превышения некоторого порога значения индекса АО.
3. Умеренная, положительная фаза АО создаёт оптимальные условия для прогнозирования, тогда как экстремальные значения индекса АО+ приводят к опережению модельными прогнозами физических процессов.
4. Для метода гомологов циркуляции такой порог слабо выражен, что делает его более робастным в условиях сильной изменчивости индекса АО.

Сезон	Метрика	Параметр	Модель CFSv2	Уровень значимости (t-test)	Метод гомологов-циркуляции	Уровень значимости (t-test)
Зима	RO	SLP	-0,793	значима ( $\alpha < 0.01$ )	-0,530	значима ( $\alpha < 0.05$ )
		T2m	-0,252	незначима	-0,423	значима ( $\alpha < 0.05$ )
	CORR	SLP	-0,322	значима ( $\alpha < 0.01$ )	0,007	незначима
		T2m	-0,250	незначима	-0,299	значима ( $\alpha < 0.05$ )
Лето	RO	SLP	-0,473	значима ( $\alpha < 0.05$ )	0,141	незначима
		T2m	0,071	незначима	-0,016	незначима
	CORR	SLP	-0,255	незначима	0,306	значима ( $\alpha < 0.05$ )
		T2m	0,070	незначима	-0,037	незначима



## Выводы и практические рекомендации

- 1) Качество сезонных прогнозов в Арктике статистически значимо связано с фазой и амплитудой Арктического колебания. Наиболее выражена эта связь для поля давления в зимний период.
- 2) Умеренная положительная фаза АО в среднем способствует повышению медианных значений метрик качества для «*SLP*» за счёт усиления зонального переноса и повышения инерционности процессов.
- 3) При экстремально высоких значениях индекса АО ( $>1.5$ ) наблюдается ухудшение качества прогнозов вследствие роста фазовой ошибки и опережения моделью эволюции циркуляционных процессов.
- 4) Метод гомологов относительно более устойчив в отрицательную фазу АО, а модель CFSv2 имеет преимущество в условиях умеренной положительной фазы АО.
- 5) Поле «*T2m*» слабее связано с АО из-за доминирующего влияния локальных термодинамических процессов, а значимые эффекты проявляются только зимой в период, когда поля температуры часто формируются адвекцией определяемой крупномасштабной циркуляцией.
- 6) Выявленная нелинейность и наличие пороговых эффектов предполагают использовать АО как индикатор ожидаемой надёжности прогноза, а не прогностический предиктор. Умеренная АО<sup>+</sup> это благоприятный сигнал, сильная АО<sup>+</sup> сигнал тревоги для прогнозиста.

### Для использования сезонных прогнозов в Арктике рекомендуется адаптивный подход

- 1) Определение фазы АО на целевой месяц;
- 2) При ожидании отрицательной фазы АО увеличить вес метода гомологов и уменьшить вес модели CFSv2;
- 3) При ожидании положительной фазы АО оценить ее амплитуду:
  - При умеренной АО<sup>+</sup> ( $<1.5$ ) отдать предпочтение модели CFSv2, а метод гомологов использовать как вспомогательный;
  - При сильной АО<sup>+</sup> ( $>1.5$ ) снизить веса обоих методов и учитывать климатологический прогноз.
- 4) Применять режимно-зависимую коррекцию систематических ошибок, в зависимости от фазы АО;
- 5) При формировании итогового прогноза указывать уровень доверия к нему.

*СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ*