

V ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА

НАПРАВЛЕНИЕ: СОСТАВ АТМОСФЕРЫ И ПЕРЕНОС ПРИМЕСЕЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
ВСЛЕДСТВИЕ ДАЛЬНЕГО ПЕРЕНОСА
В РЕГИОНЕ КАВКАЗСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ
В 2025-2050 ГГ. В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

*А.А. Макоско, А.В. Матешева
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*

Москва, 20 ноября 2024 г.

Актуальность исследования

- Кавказские минеральные воды (КМВ) – уникальный курортный регион федерального значения
- Наблюдаемое в последние годы увеличение антропогенной нагрузки в регионе КМВ и на сопредельных территориях, в сопредельных государствах
- Возможное перераспределение источников загрязнения региона КМВ и количества поступающих на его территорию примесей в результате изменений климата
- Влияние климатических изменений на оздоровительный потенциал региона КМВ

Методический подход к изучению дальнего загрязнения атмосферы с учетом климатических изменений

Основное и сопряженное уравнения переноса и диффузии примеси:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{u}{a \sin \psi} \frac{\partial q}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial q}{\partial \psi} - \frac{1}{a^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mu \frac{\partial q}{\partial \lambda} - \frac{1}{a^2 \sin \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \mu \sin \psi \frac{\partial q}{\partial \psi} + \sigma q = I,$$

$$q = q_0 \quad \text{при} \quad t = t_0$$

$$-\frac{\partial q^*}{\partial t} - \frac{1}{a \sin \psi} \frac{\partial u q^*}{\partial \lambda} - \frac{1}{a \sin \psi} \frac{\partial v \sin \psi q^*}{\partial \psi} - \frac{1}{a^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mu \frac{\partial q^*}{\partial \lambda} - \frac{1}{a^2 \sin \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \mu \sin \psi \frac{\partial q^*}{\partial \psi} + \sigma q^* = p,$$

$$q^* = 0 \quad \text{при} \quad t = T.$$

q^* – весовая функция, определяющая вклад каждого источника I в величину загрязнения атмосферы в экологически значимой зоне (заданном регионе) G .

Интегральный по G эффект загрязнения атмосферы за время T : $Q = \int_0^T dt \int_G I q^* d\Omega$

Положим $I = \text{const}$ (для удобства записи будем считать $I = 1$), тогда функционал Q будет характеризовать загрязнение атмосферы только вследствие влияния погодно-климатических процессов:

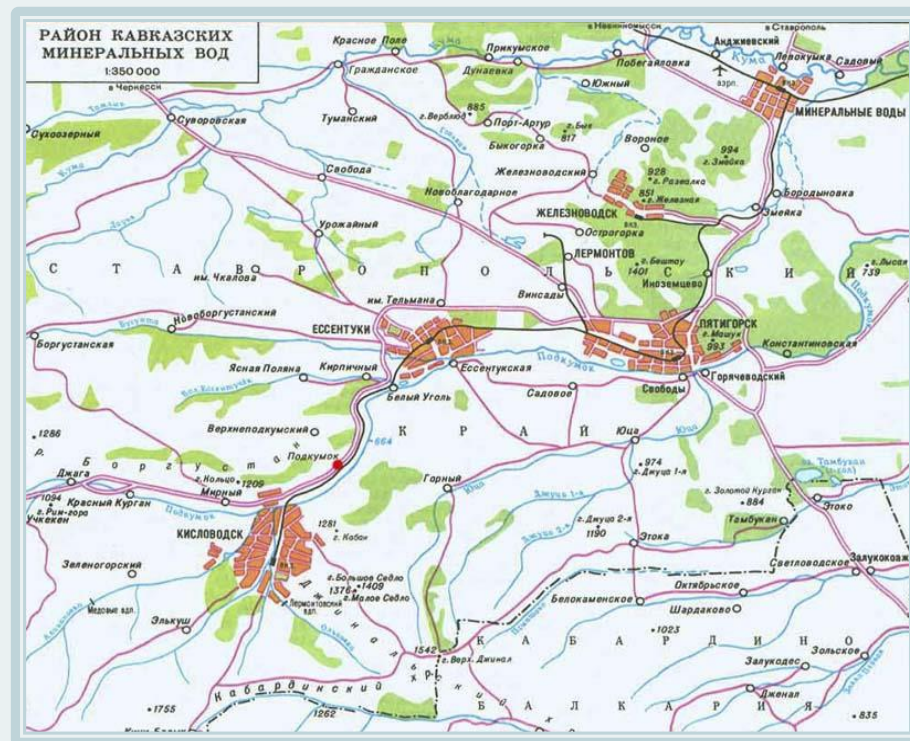
$$Q = \int_0^T dt \int_G q^* d\Omega$$

Условия проведения расчетов

Расчеты выполнялись для территории курортного региона Кавказские Минеральные Воды.

Для территории КМВ рассчитаны поля значений функционала Q с 2025 по 2050 гг.

Проводилось две серии расчетов с учетом двух характерных сценариев изменения климата в XXI столетии, принятых Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) – «умеренного» (SSP2-4.5) и «жесткого» (SSP5-8.5)



В качестве полей метеовеличин использовались данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН для периода 2025-2050 гг.

Индексы загрязнения

Зональный индекс загрязнения:

$$M_3 = \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\psi_{ю}}^{\psi_c} d\psi \left(\int_{\lambda_3}^{\lambda_0} q^* d\lambda - \int_{\lambda_0}^{\lambda_B} q^* d\lambda \right)$$

Меридиональный индекс загрязнения:

$$M_M = \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\lambda_3}^{\lambda_B} d\lambda \left(\int_{\psi_{ю}}^{\psi_0} q^* d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_c} q^* d\psi \right)$$

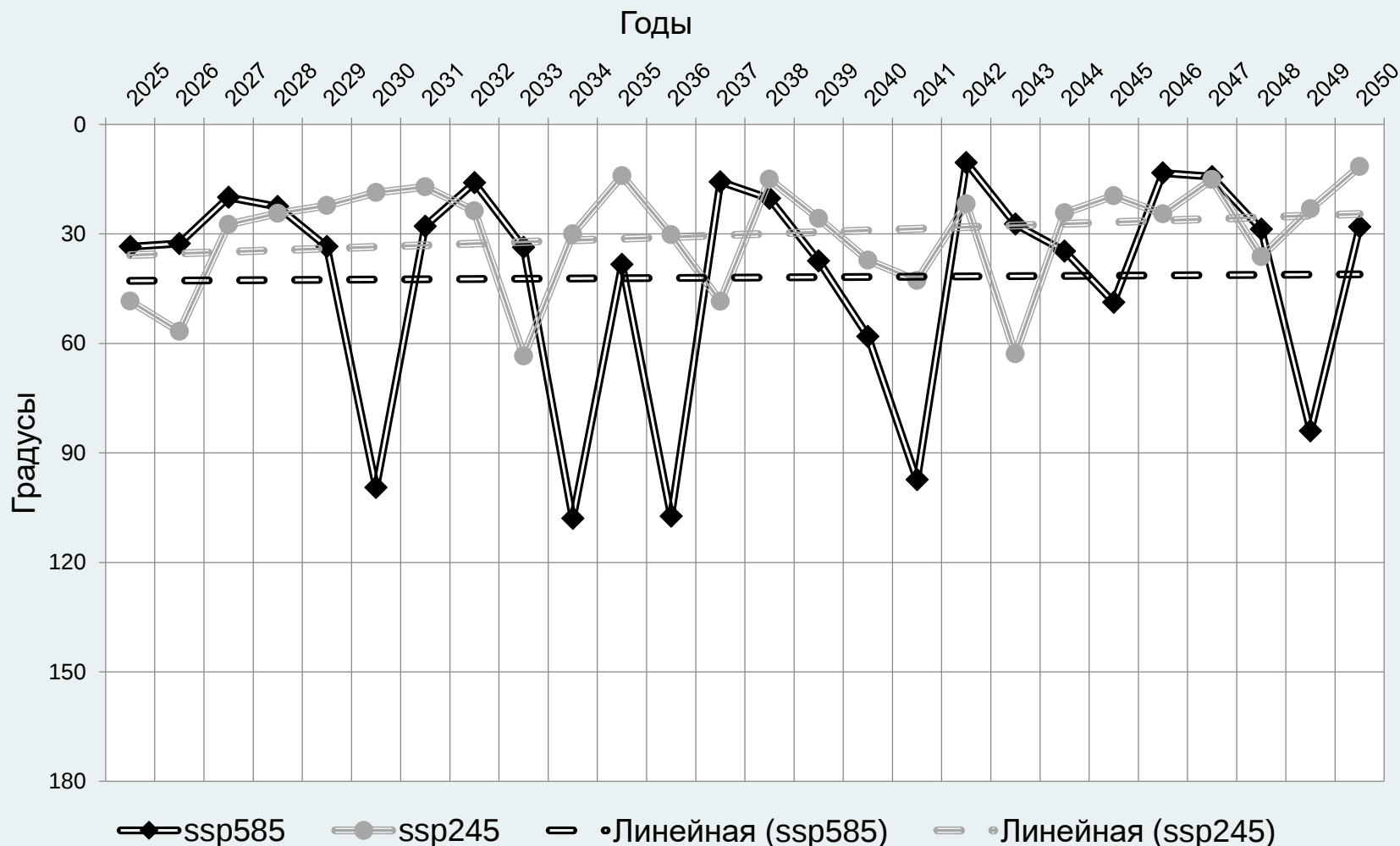
Индекс (обобщенный), количественно характеризующий направление, откуда осуществляется загрязнение региона G:

$$M = \arccos \frac{M_3}{\sqrt{M_M^2 + M_3^2}}.$$

λ_0, ψ_0 – координаты центра области G

$\lambda_3 \leq \lambda_0 \leq \lambda_B, \psi_{ю} \leq \psi_0 \leq \psi_c$

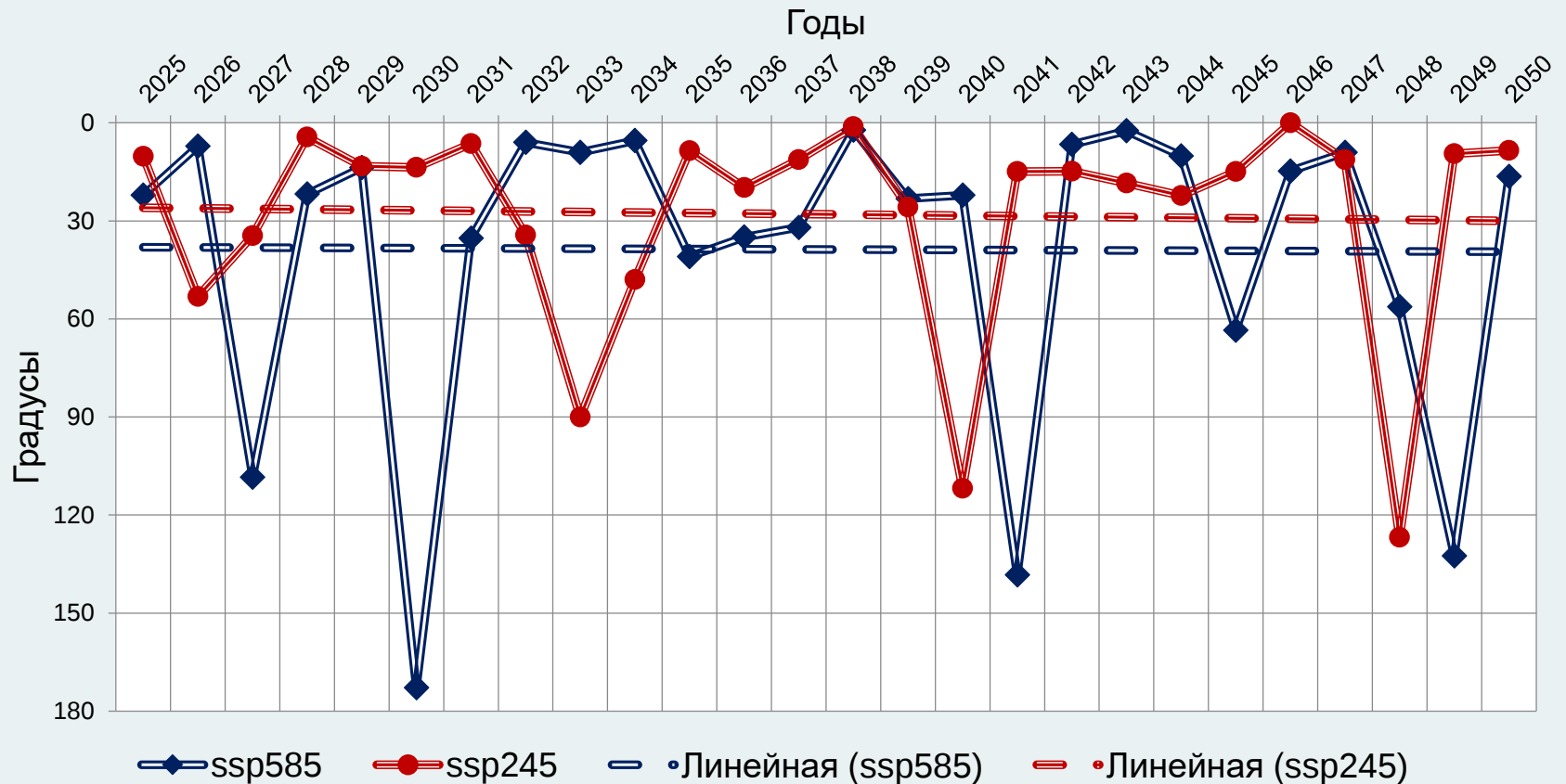
Динамика годового индекса М в 2025-2050 гг. по климатическим сценариям



Исходя из преимущественного западного переноса:

0° означает западное направление. Соответственно: 90° - южное направление, 180° - восточное.

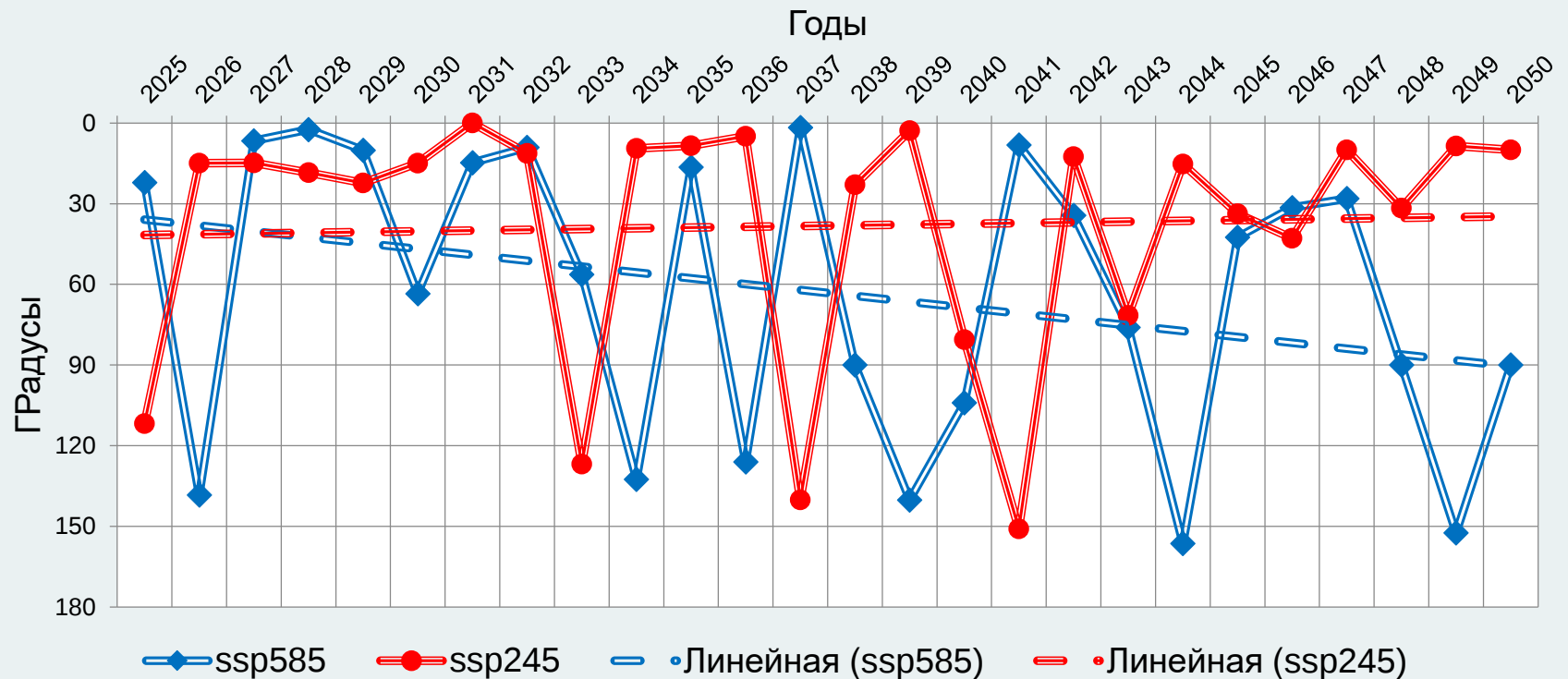
Динамика индекса М зимой в 2025-2050 гг. по климатическим сценариям



Исходя из преимущественного западного переноса:

0° означает западное направление. Соответственно: 90° - южное направление, 180° - восточное.

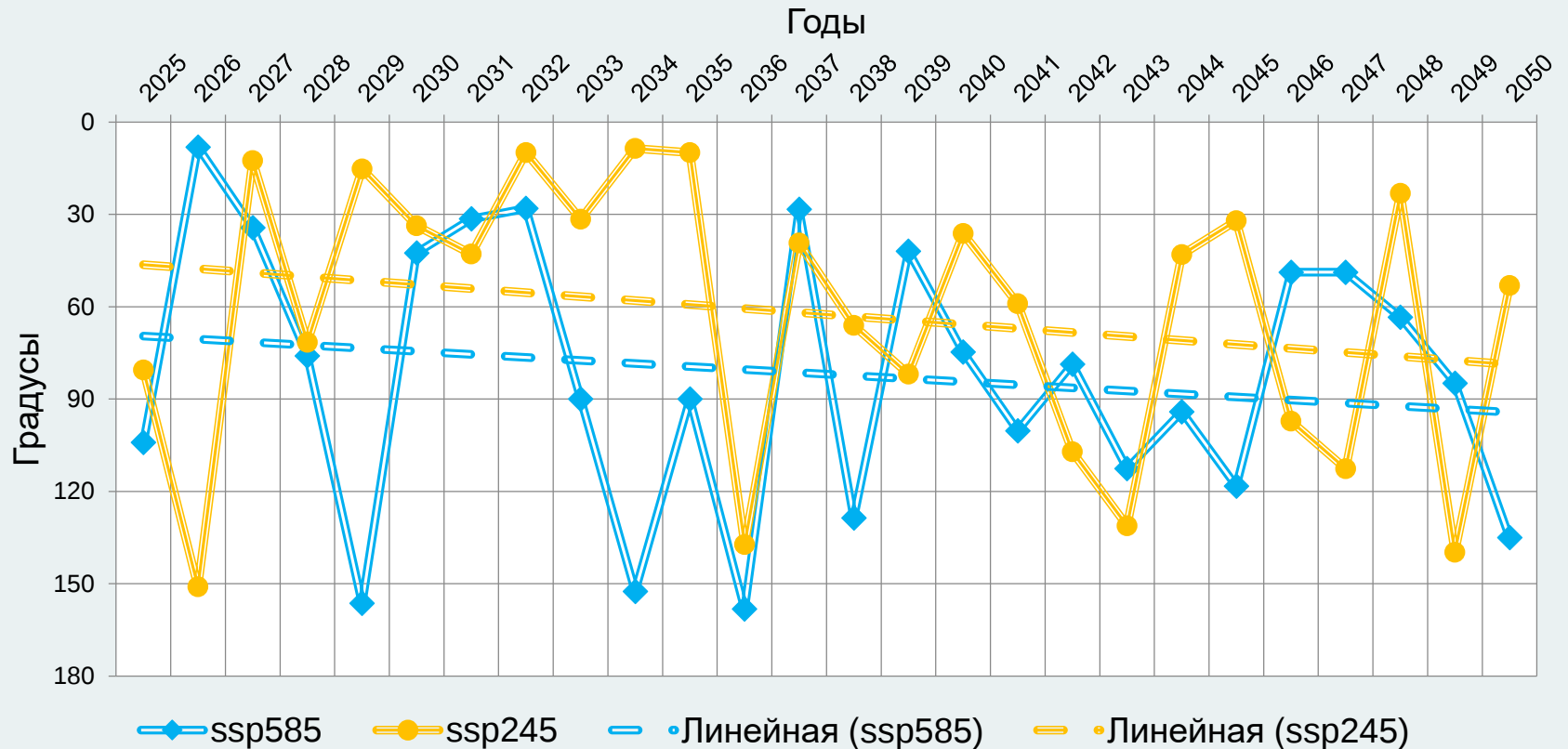
Динамика индекса М весной в 2025-2050 гг. по климатическим сценариям



Исходя из преимущественного западного переноса:

0° означает западное направление. Соответственно: 90° - южное направление, 180° - восточное.

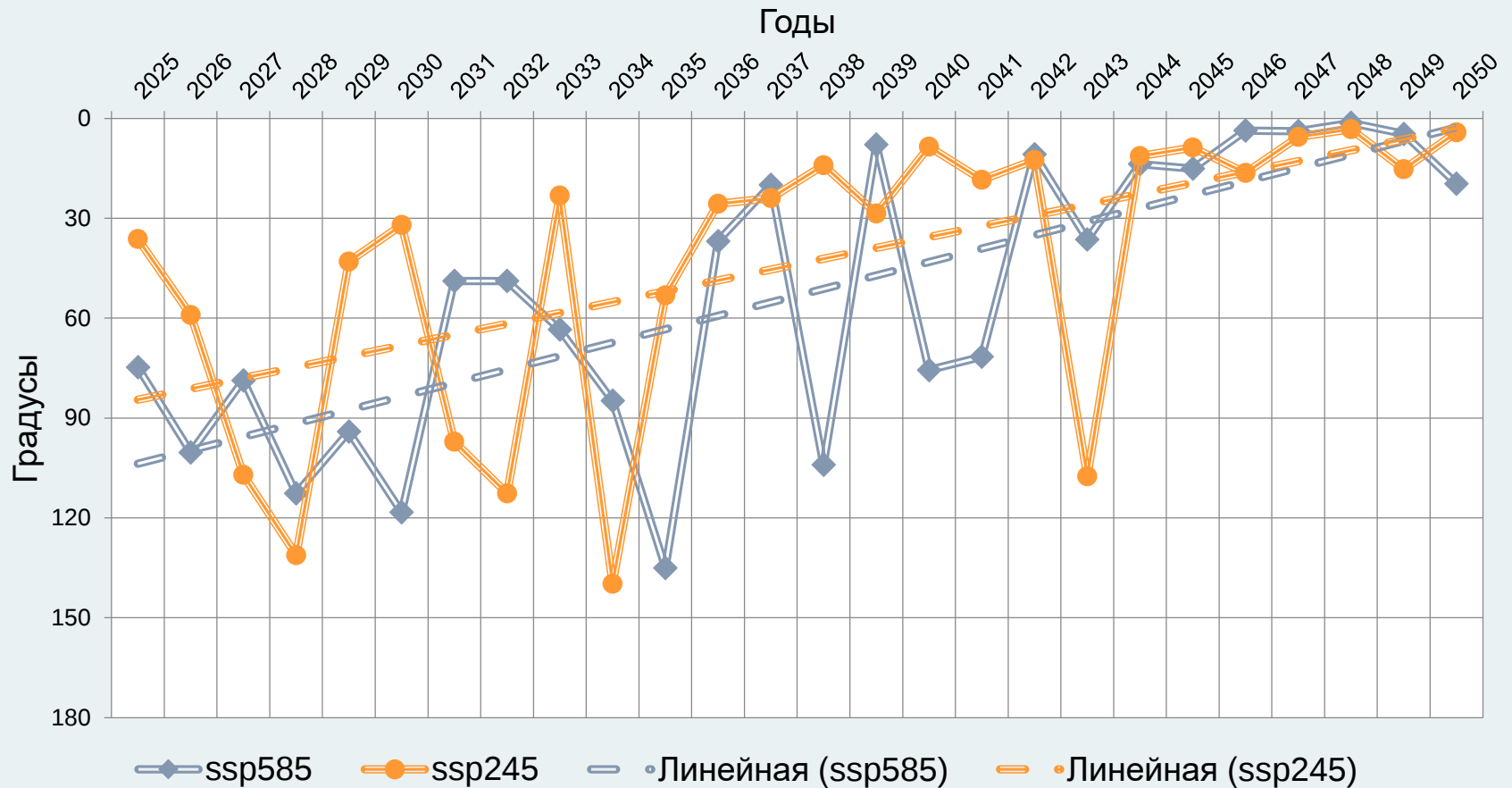
Динамика индекса М летом в 2025-2050 гг. по климатическим сценариям



Исходя из преимущественного западного переноса:

0° означает западное направление. Соответственно: 90° - южное направление, 180° - восточное.

Динамика индекса М осенью в 2025-2050 гг. по климатическим сценариям



Исходя из преимущественного западного переноса:

0° означает западное направление. Соответственно: 90° - южное направление, 180° - восточное.

Выводы



- Исследованы особенности динамики направлений дальнего переноса примесей в регион КМВ за 2025-2050 гг. по двум сценариям изменений климата SSP2-4.5 и SSP5-8.5.
- Выявлены заметные сезонные вариации направлений (румбов), откуда идет загрязнение региона КМВ, кроме зимнего периода.
- Показаны высокие межсезонные амплитуды изменений направлений переноса примесей, свидетельствующие о так называемой «нервозности» климата
- В ближайшие десятилетия в разные сезоны опасность для региона КМВ могут представлять источники дальнего загрязнения атмосферы, расположенные как западнее, так и южнее данного региона.
- Полученные результаты важны для определения будущего оздоровительного потенциала курортов КМВ и планирования развития территорий, которые могут оказать влияние на дальнейшее загрязнение курортного региона.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !