

# Технология оценки интенсивности выбросов диоксида азота крупными локализованными источниками по данным TROPOMI с учётом метеоусловий

Константинова А.М., Бриль А.А., Лупян Е.А., Руткевич П.Б.  
Институт Космических Исследований РАН

Двадцать третья международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», 10-14 ноября 2025 г., Москва

# Основа данных для исследования

**Прибор TROPOMI (спутник Sentinel-5P)**

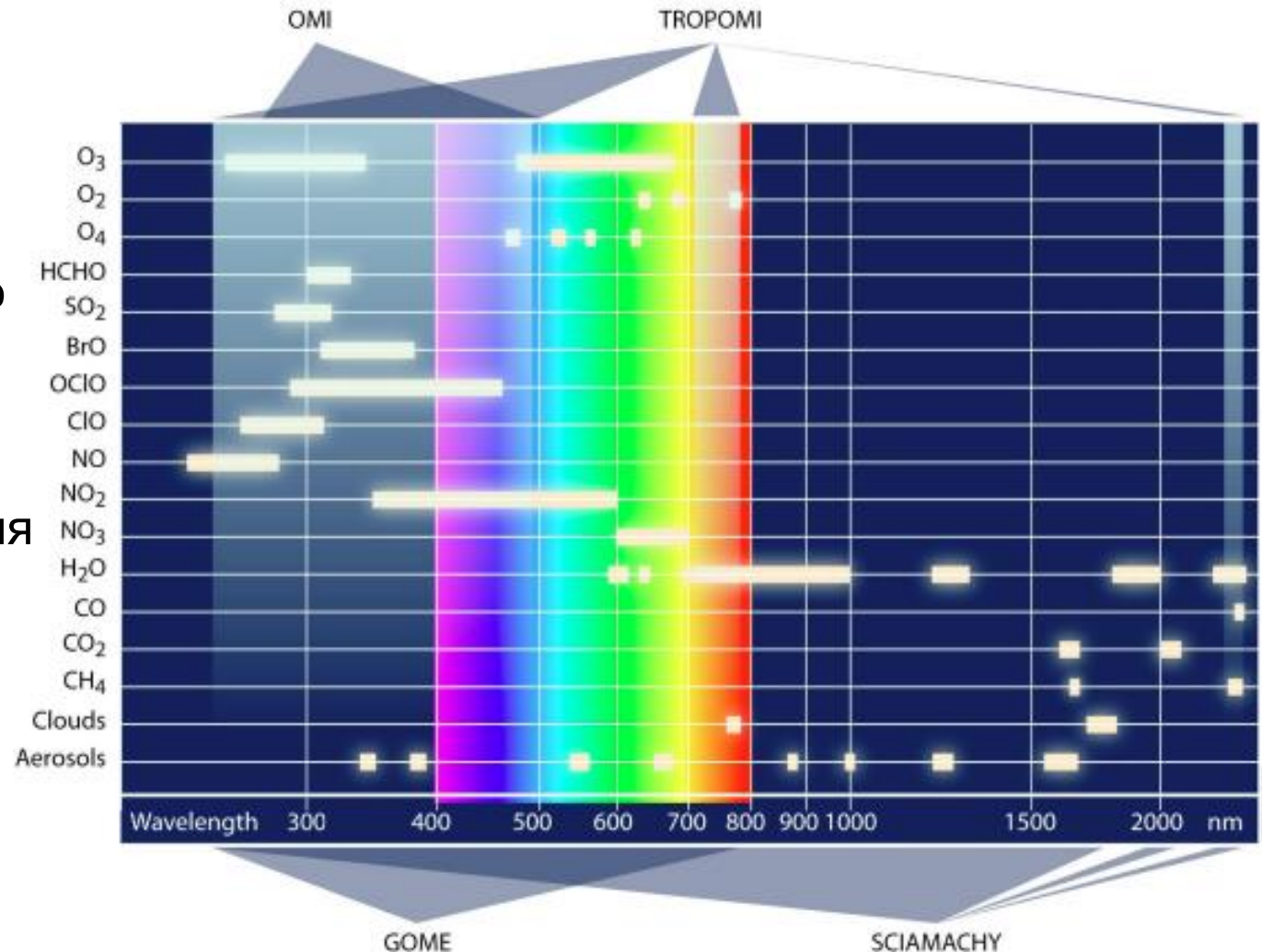
**Период работы:** октябрь 2017 года, данные доступны с апреля 2018 года – по настоящее время

**Полоса наблюдения:** 2600 км

**Разрешение:** 3,5x7 и 3,5x5,5 км

**Территория наблюдений:** вся территория Земли

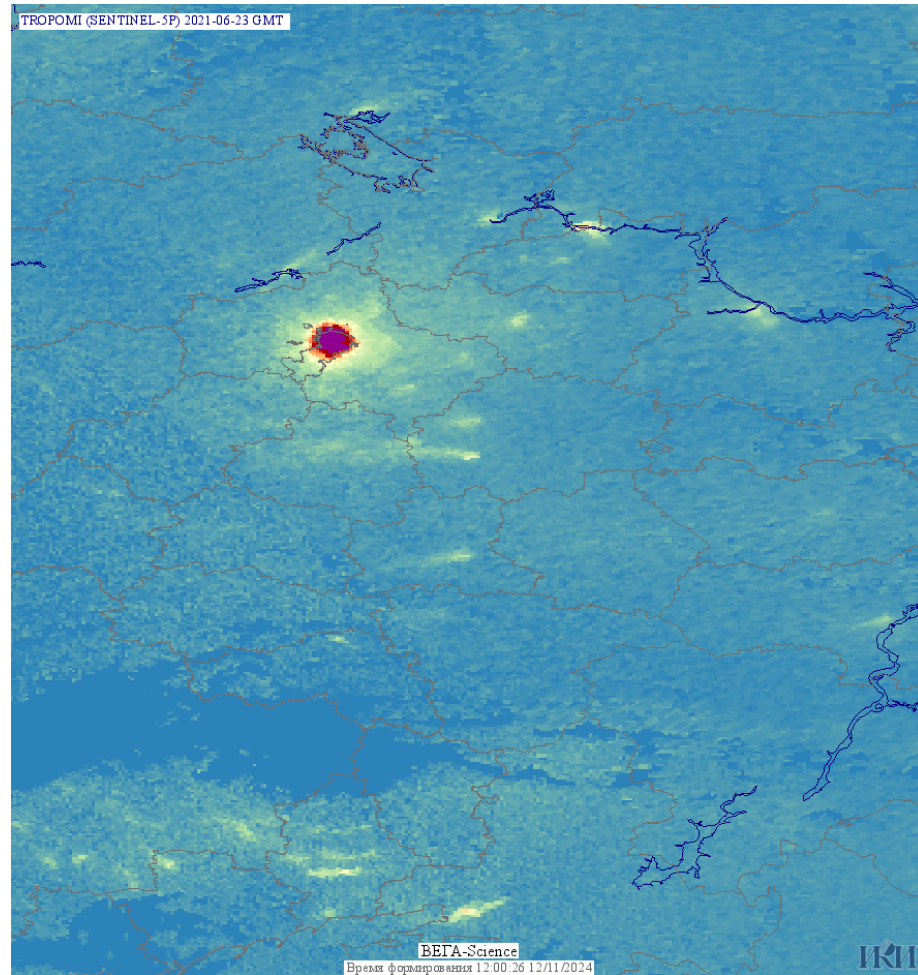
**Период наблюдения:** ежедневно



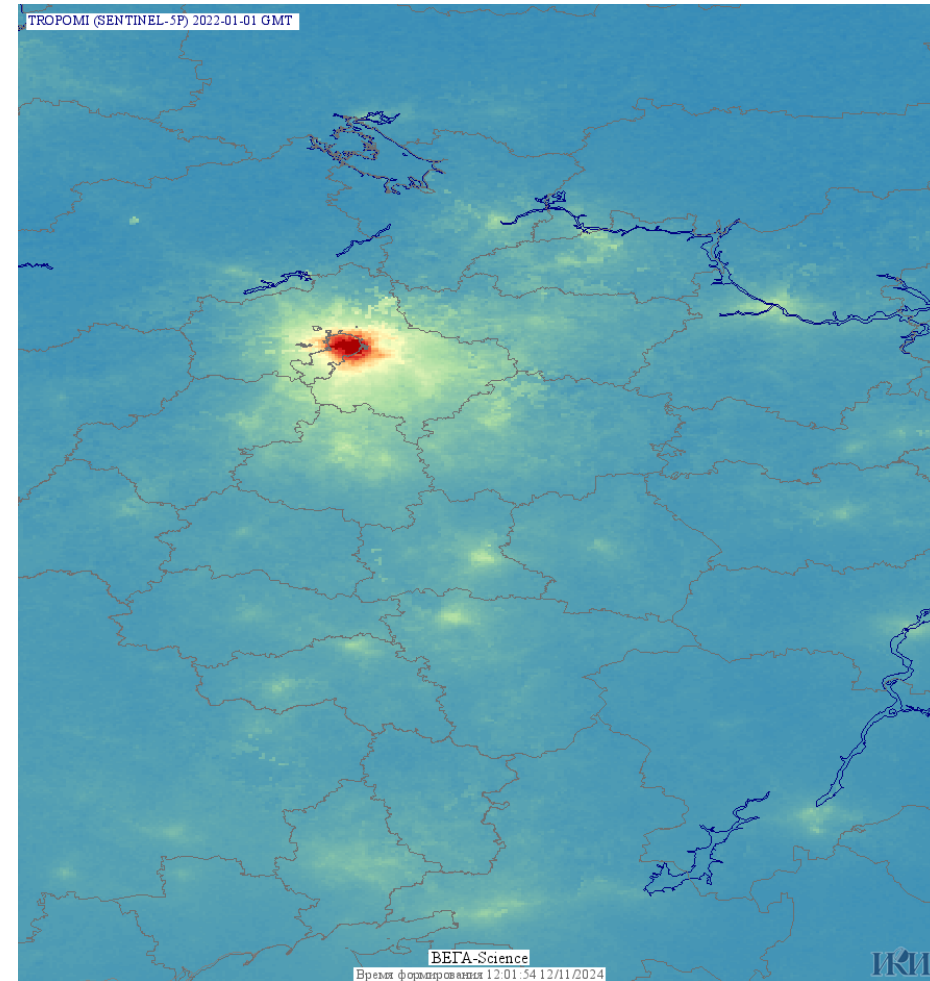
Белыми полосами отмечены  
линии поглощения различных  
газов

Источник: [https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-04/pdf\\_conf\\_p50\\_s1\\_04\\_devries\\_p.pdf](https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-04/pdf_conf_p50_s1_04_devries_p.pdf)

# Композитные изображения на основе TROPOMI



Пример ежедневного композитного изображения со средней концентрацией  $\text{NO}_2$  (Европейская часть России)



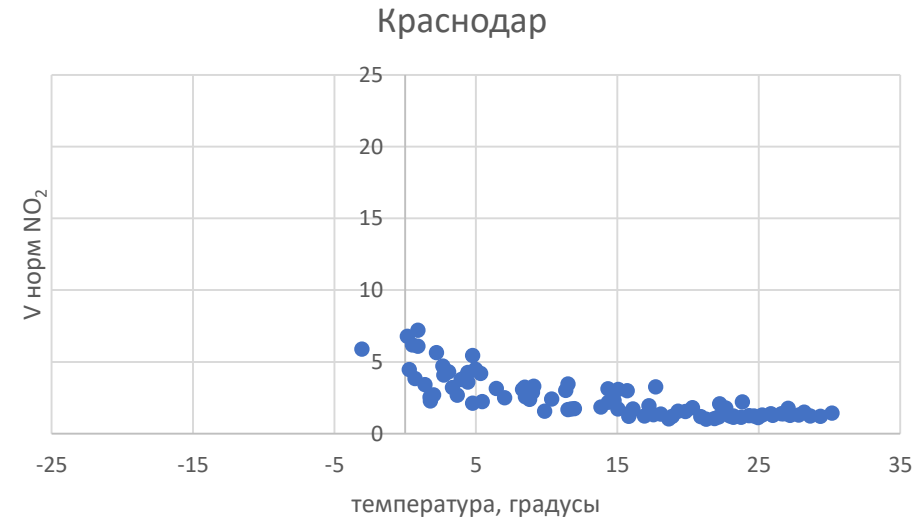
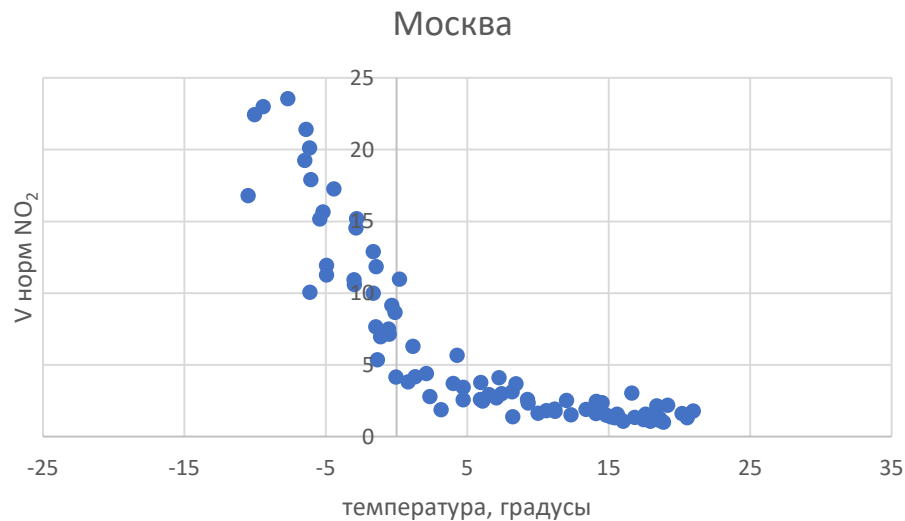
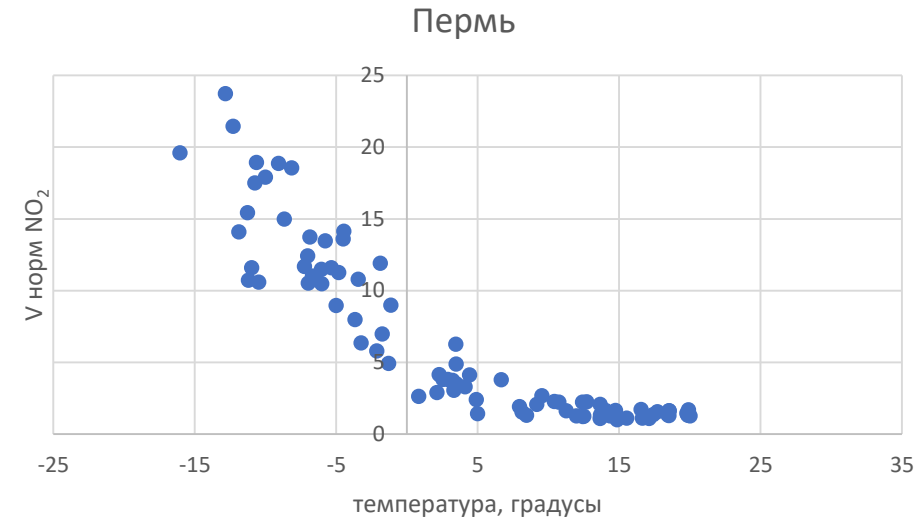
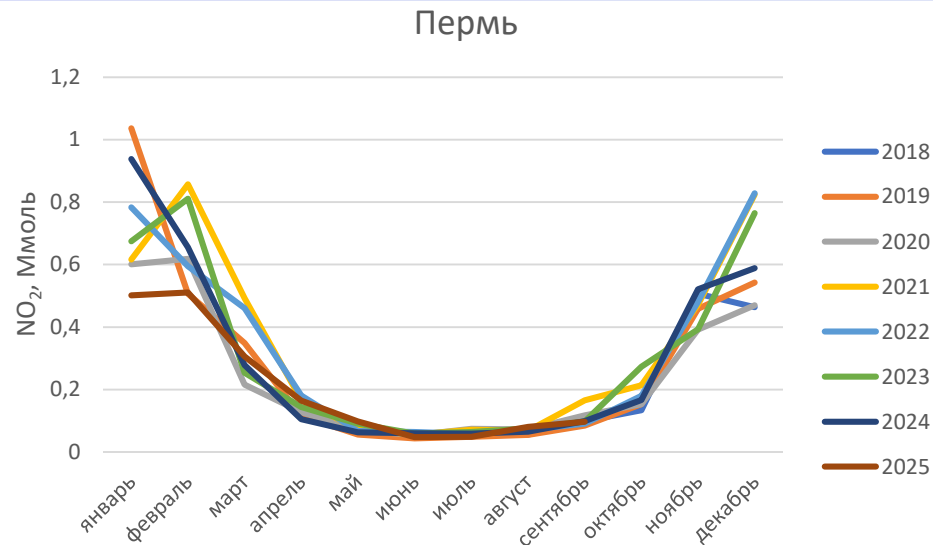
Пример годового композитного изображения со средней концентрацией  $\text{NO}_2$  (Европейская часть России)

# Метеопараметры, влияющие на концентрацию $\text{NO}_2$

- *температура воздуха*
- *скорость и направление ветра*

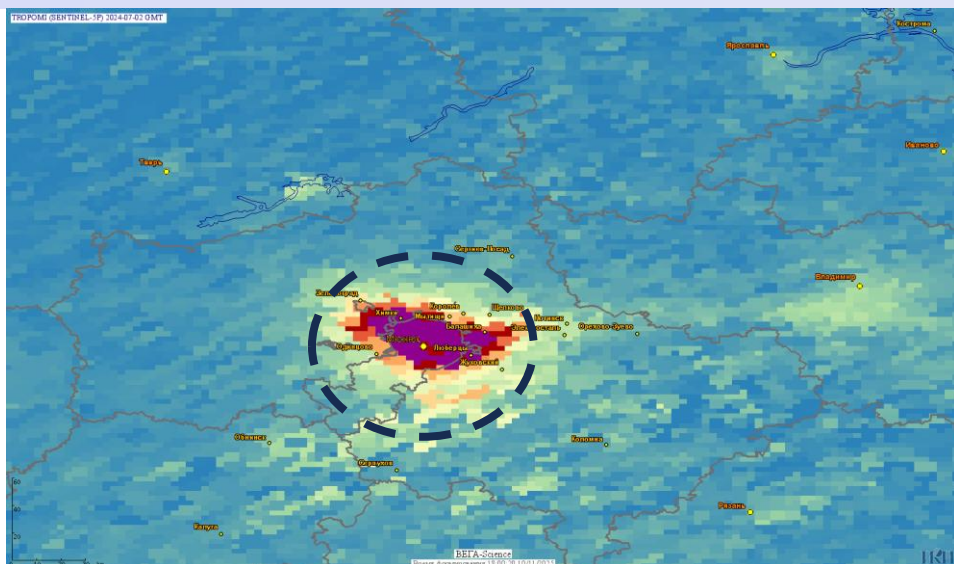


# Зависимость среднемесячных объёмов выбросов $\text{NO}_2$ от среднемесячной температуры

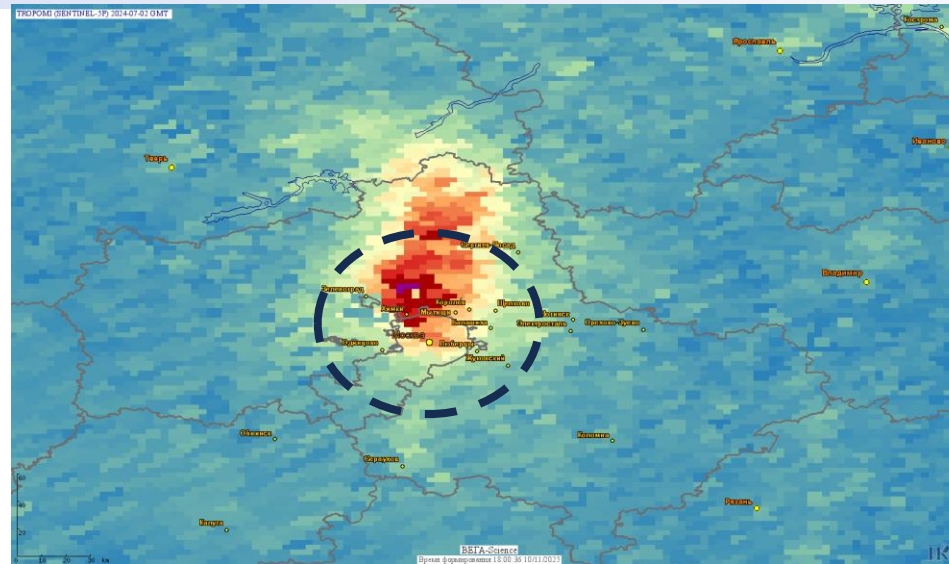


Виден рост концентраций при отрицательных температурах, что может быть связано с ростом времени жизни диоксида азота в атмосфере. Необходимо оценивать выбросы в «летний» период (с мая по сентябрь)

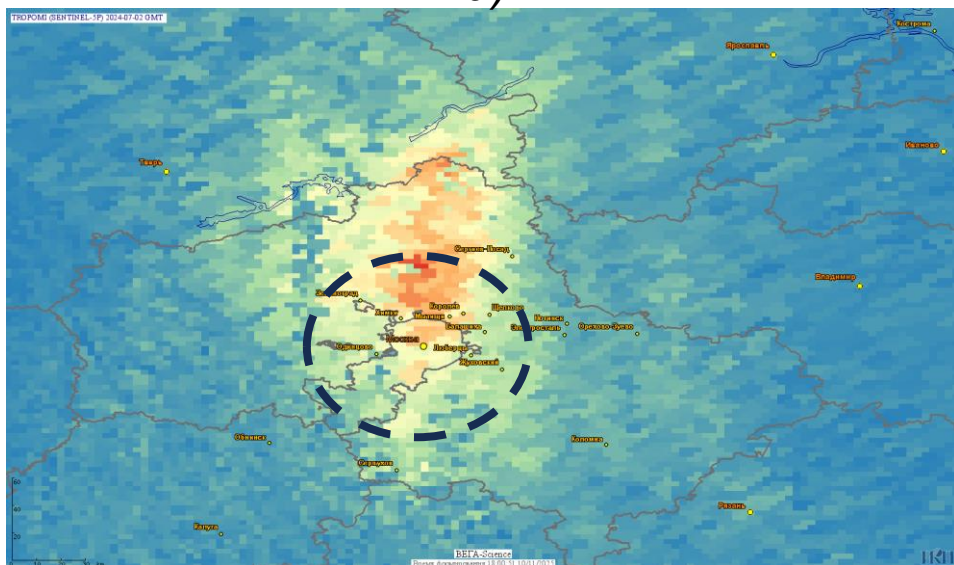
# Зависимость концентрации $\text{NO}_2$ от скорости ветра



а)



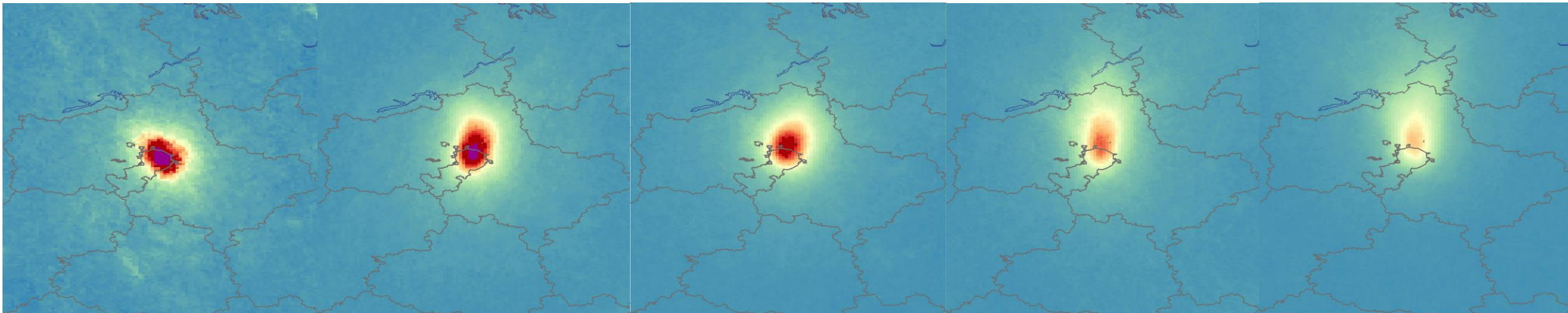
б)



в)

Распределение концентраций  $\text{NO}_2$  в районе Москвы в дни с разной скоростью ветра, но одинаковым направлением (на Север): а - 0,18 м/с, б - 3,48 м/с , в - 5,05 м/с

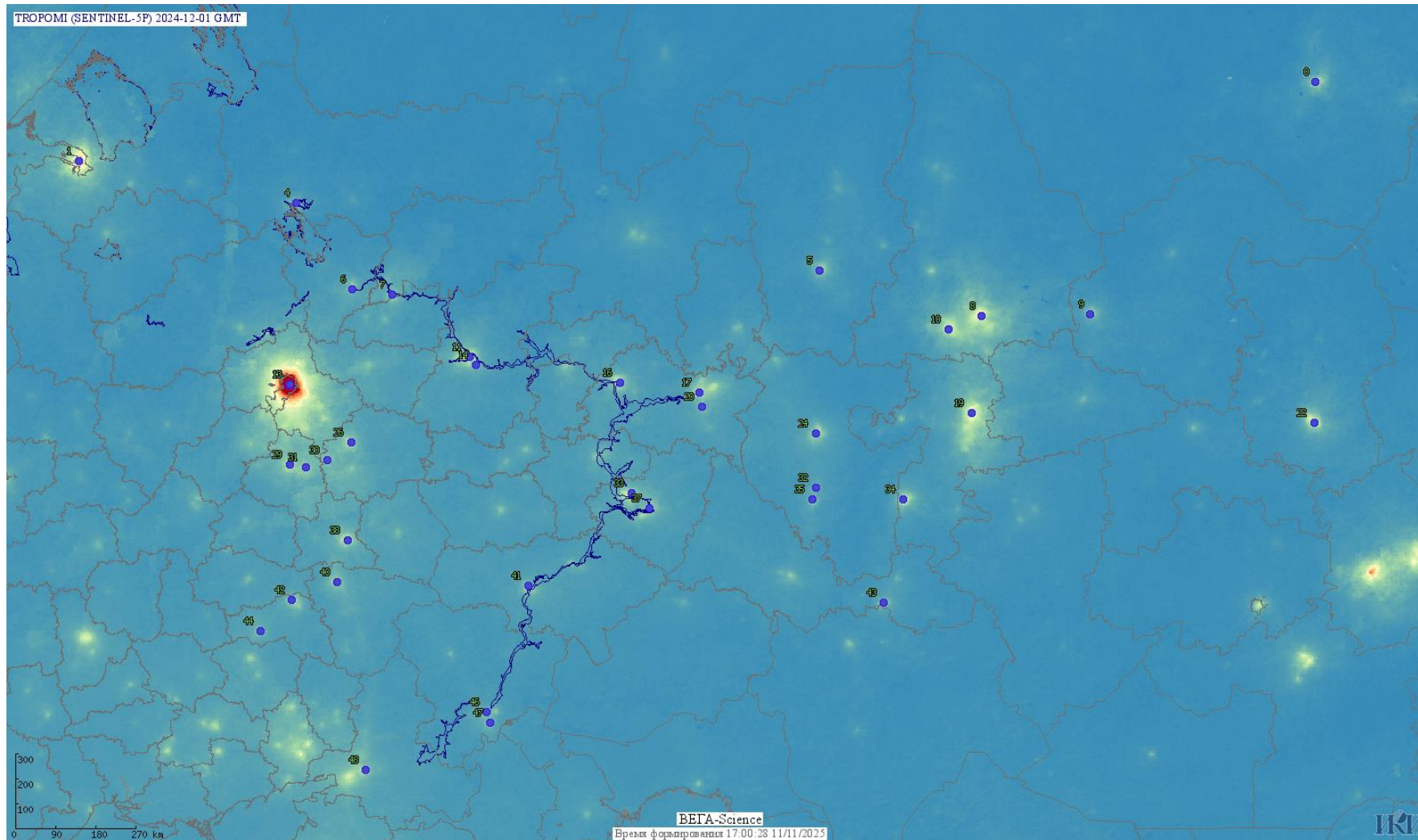
# Карты $\text{NO}_2$ , развёрнутые по направлению ветра в центре источника



Средняя концентрация  $\text{NO}_2$  для источника Москвы за летние периоды 2018-2023 годов с шагом скорости ветра 1 м/с: слева-направо 0-1 м/с, 1-2 м/с, 2-3 м/с, 3-4 м/с, более 4 м/с



# Выделение источников $\text{NO}_2$ по порогу



Карта источников на территории России на многолетнем «безветренном» композитном изображении со средней концентрацией  $\text{NO}_2$  по прибору TROPOMI (Sentinel-5P) за 2018-2025 года (период май-сентябрь)

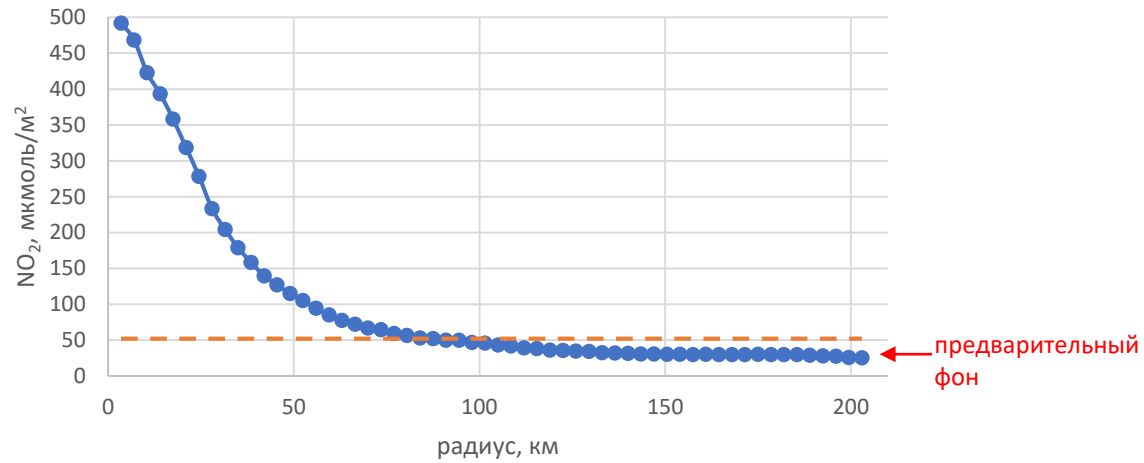


## **Какие задачи необходимо решить для оценки выбросов источников $\text{NO}_2$ , их мониторинга и сравнения**

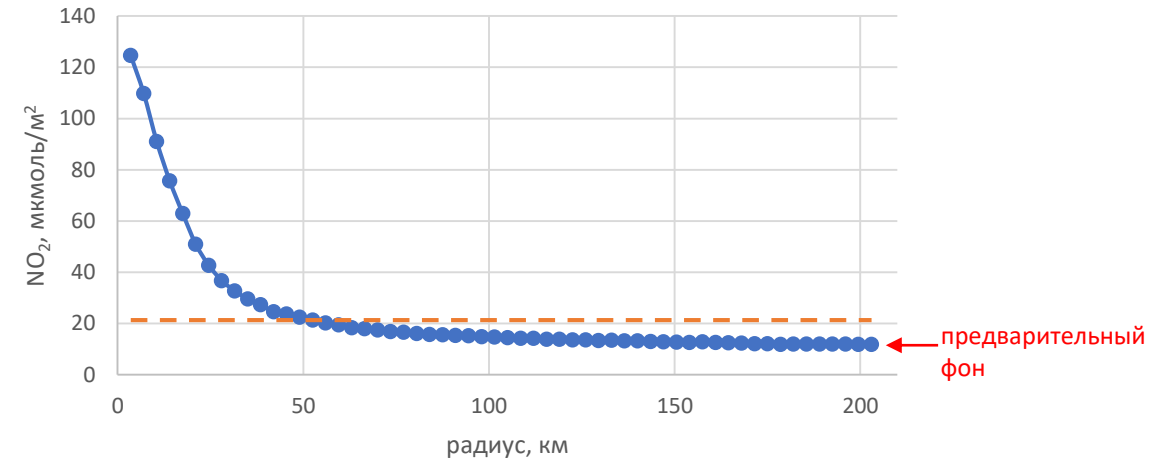
- *выбор зоны источника, в которой проводится оценка концентрации  $\text{NO}_2$*
- *определение значения фона для каждого источника*
- *определение коэффициента коррекции на ветер*

# Поиск границ источника по средней концентрации в кольце

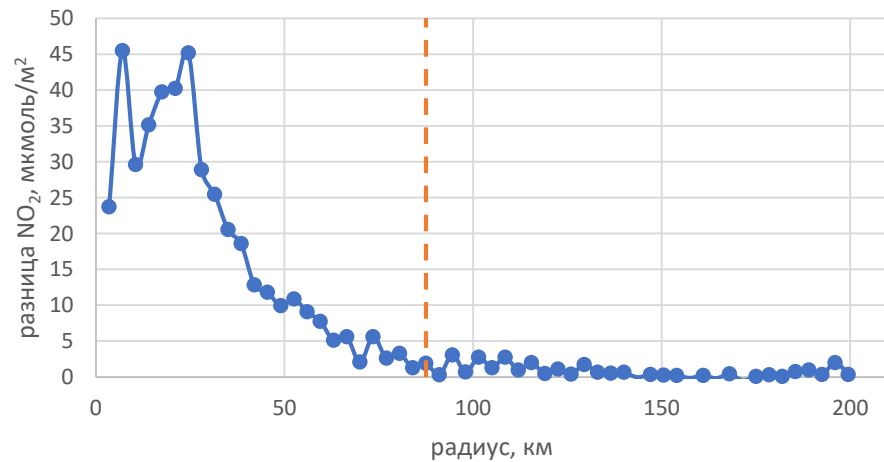
Москва



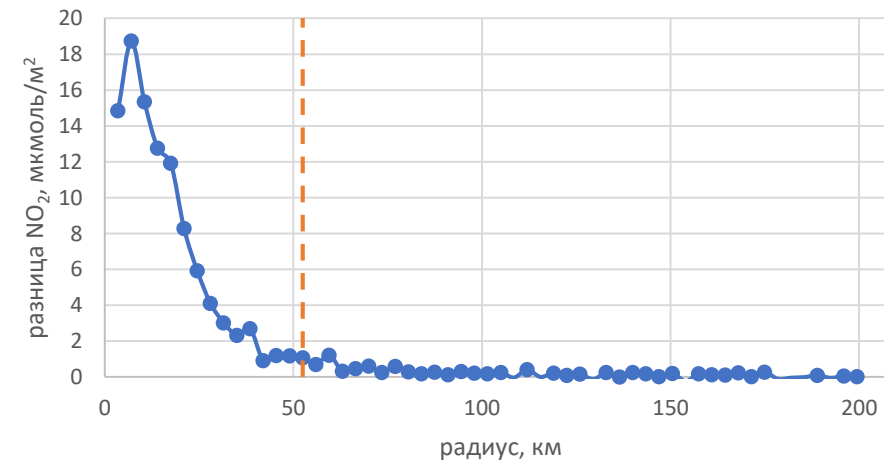
Омск



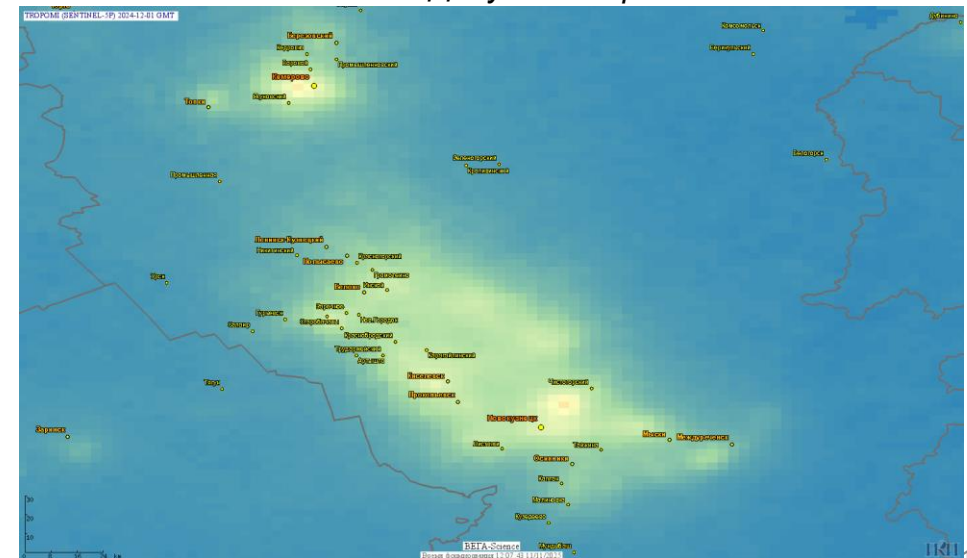
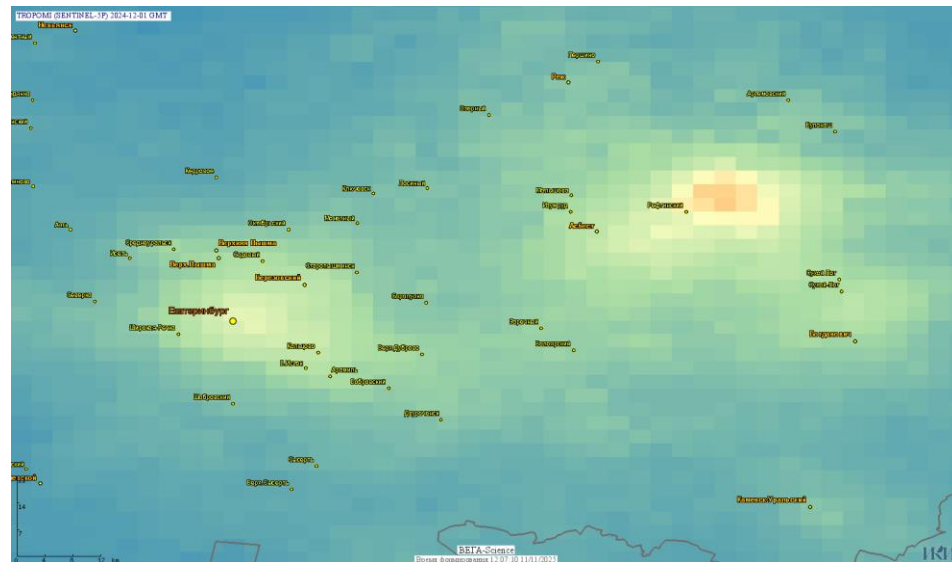
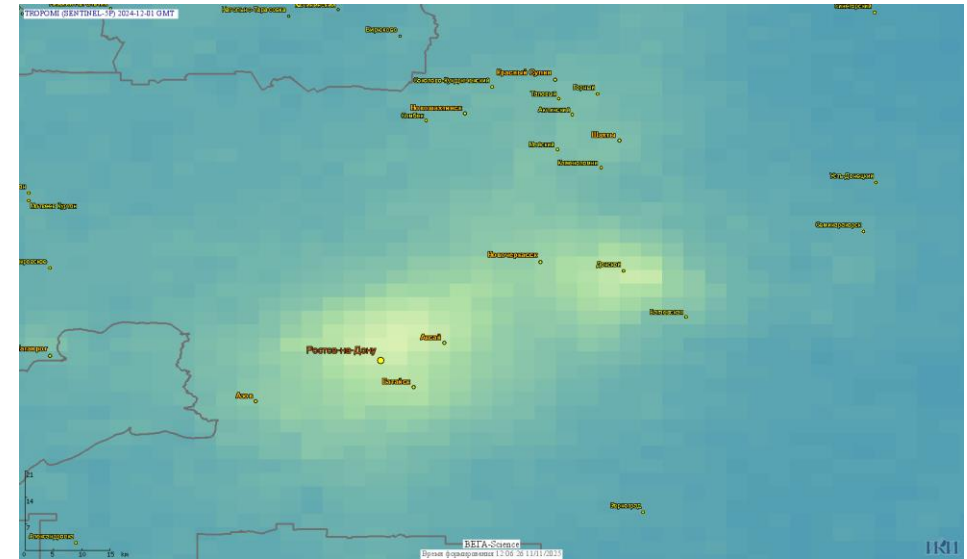
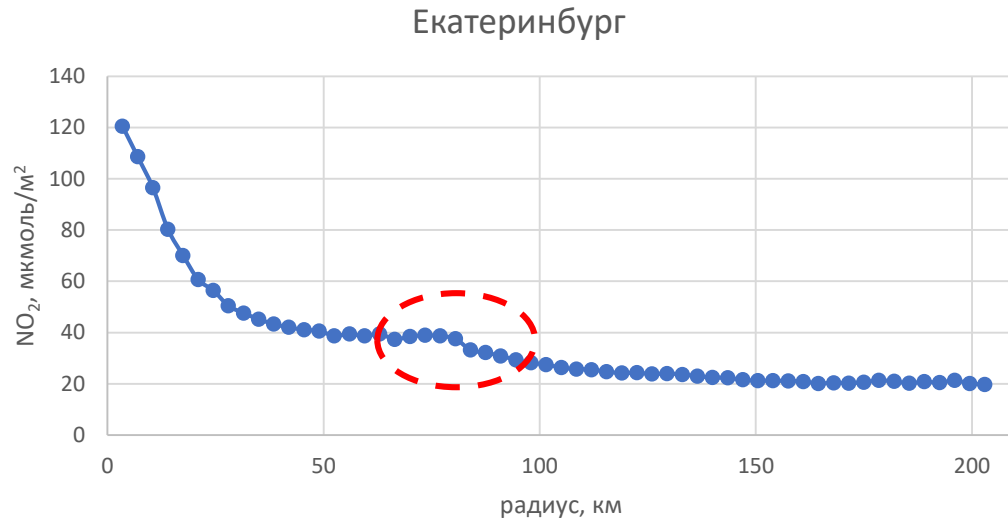
Москва



Омск

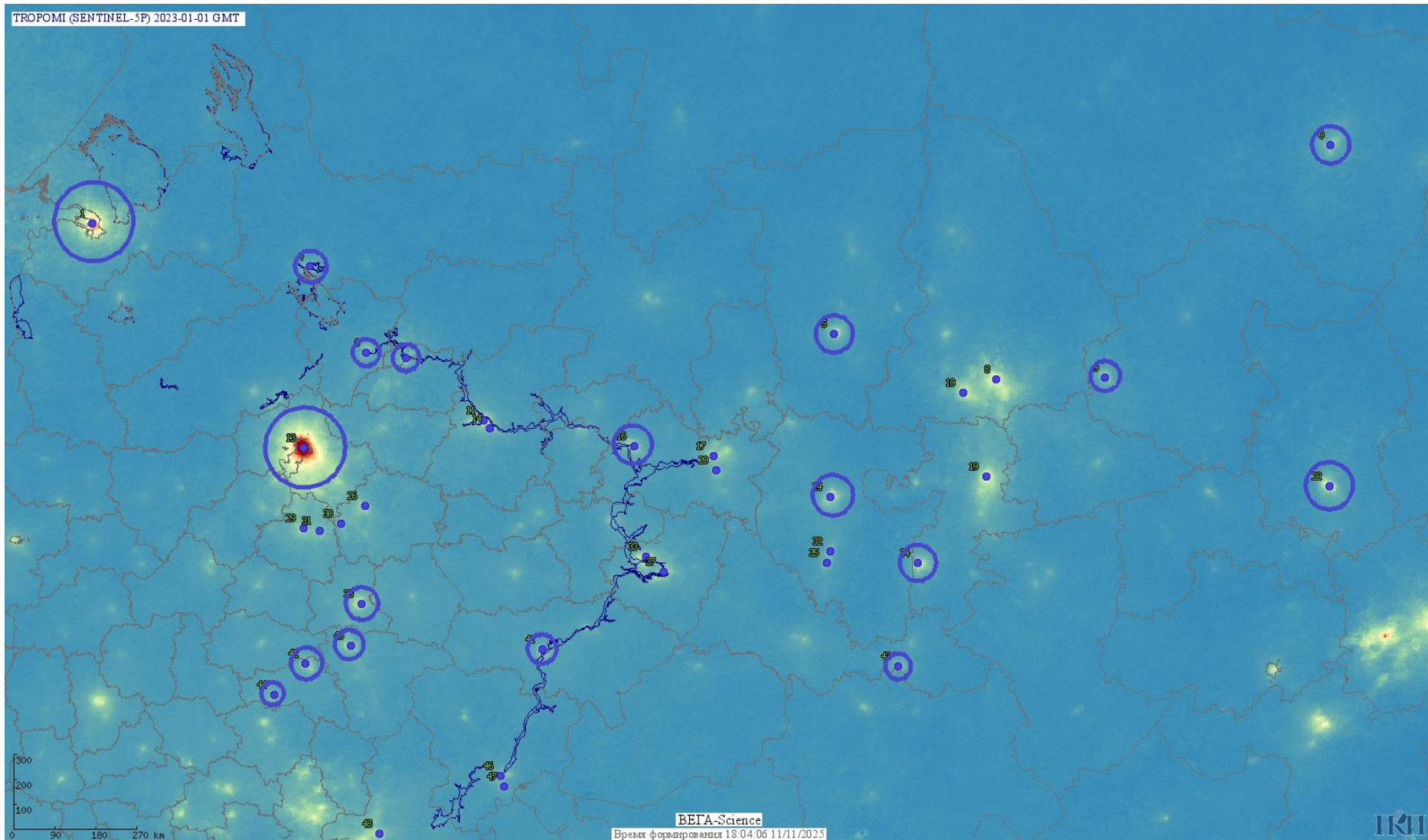


# Проблема объединённых источников



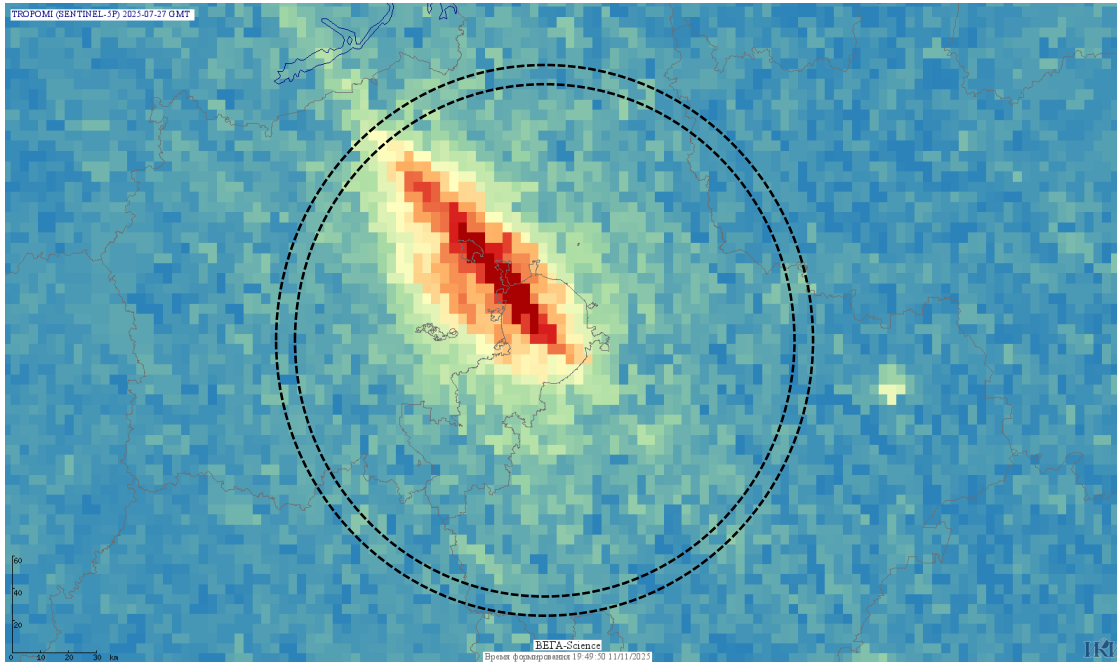


# Радиусы для выбранных источников



Радиусы источников на многолетнем «безветренном» композитном изображении

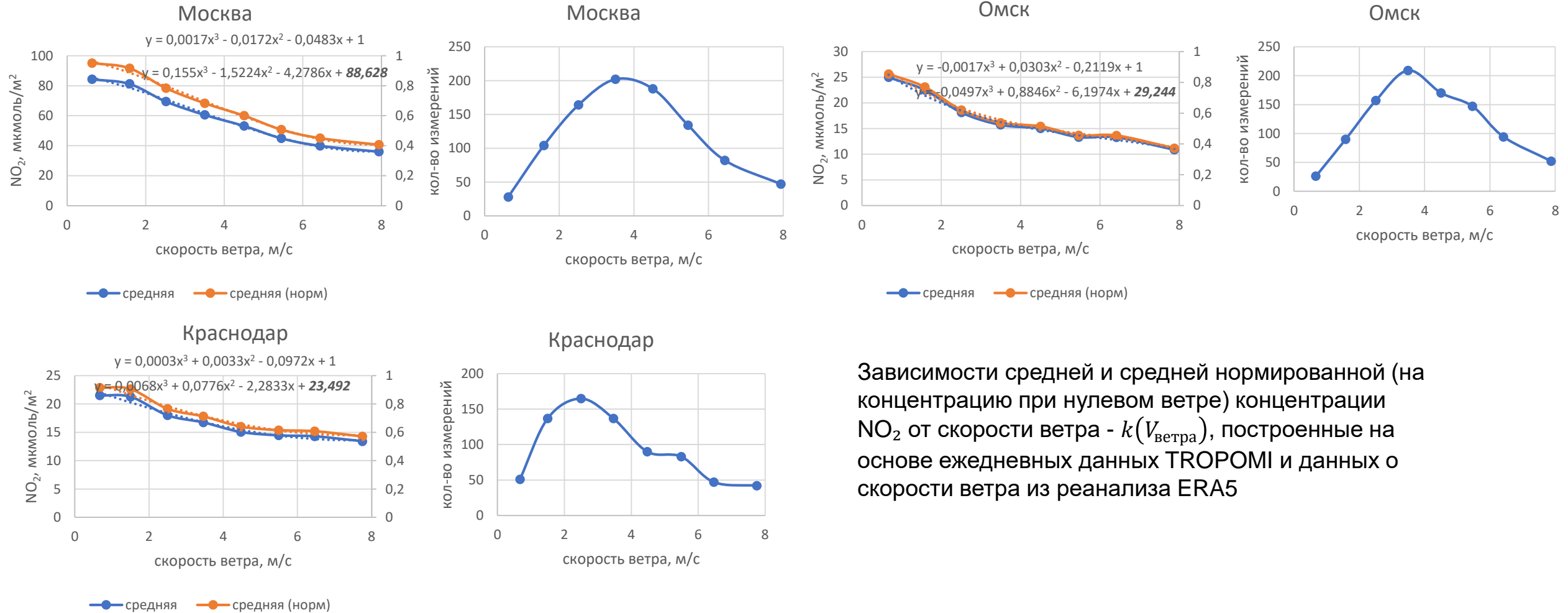
# Определение динамического фона источника



скорость ветра, м/с	фон, мкмоль/м2
0,58	15,18
1,55	14,60
2,49	14,09
3,55	13,60
4,46	12,94
5,45	10,17
6,40	11,00
7,72	11,25

Динамический фон источника определяется для каждого дня по ежедневным композитным изображениям. Фон определяется как 10-ый процентиль в кольце за источником, если он не превышает фон, полученный по «безветру»

# Определение коэффициента коррекции на ветер



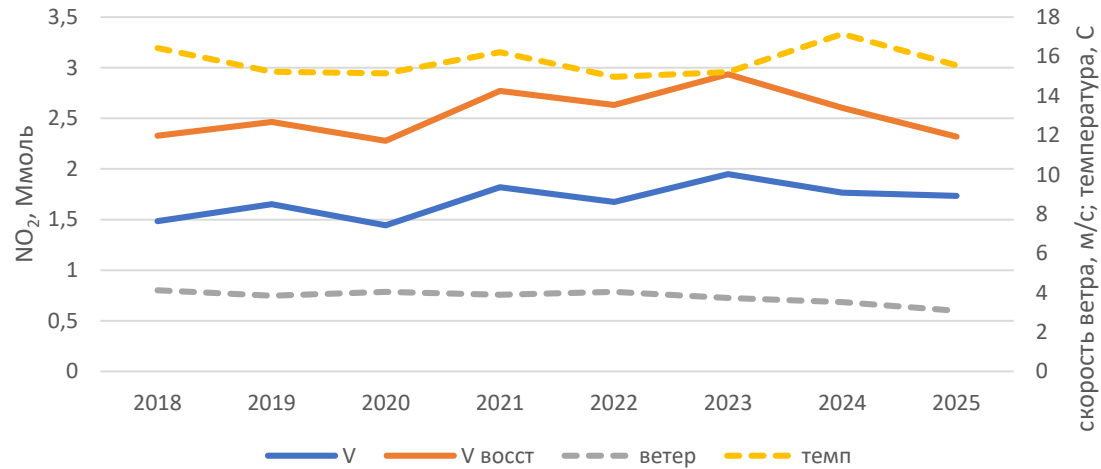
Зависимости средней и средней нормированной (на концентрацию при нулевом ветре) концентрации  $NO_2$  от скорости ветра -  $k(V_{\text{ветра}})$ , построенные на основе ежедневных данных TROPOMI и данных о скорости ветра из реанализа ERA5



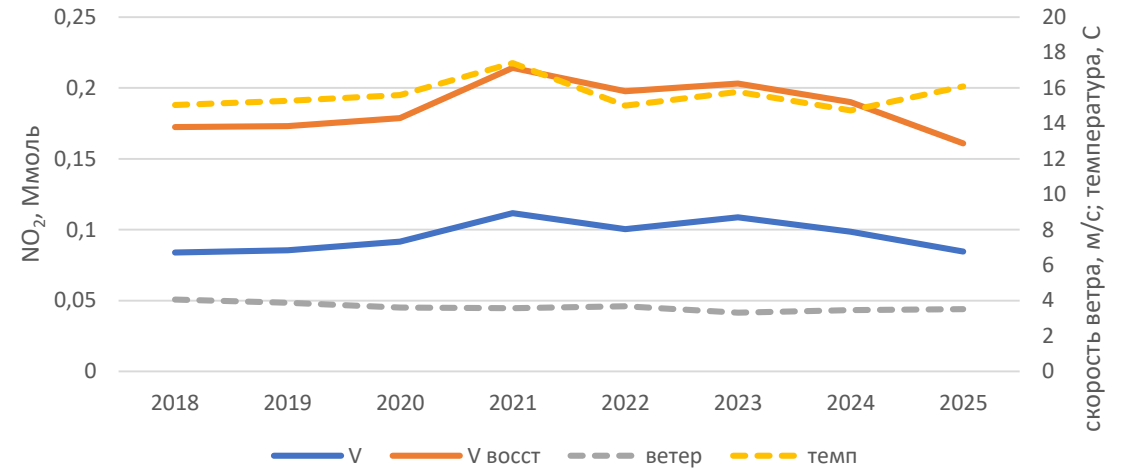
# Восстановление среднегодовых объёмов выбросов $NO_2$

$$\text{Объём выброса: } V = S_{px} * \sum_{i=1}^n (C_i - C_{\phi}) = \pi R^2 * (C_{\text{ср}} - C_{\phi}), \quad V_{\text{восст}} = V / k(V_{\text{ветра}})$$

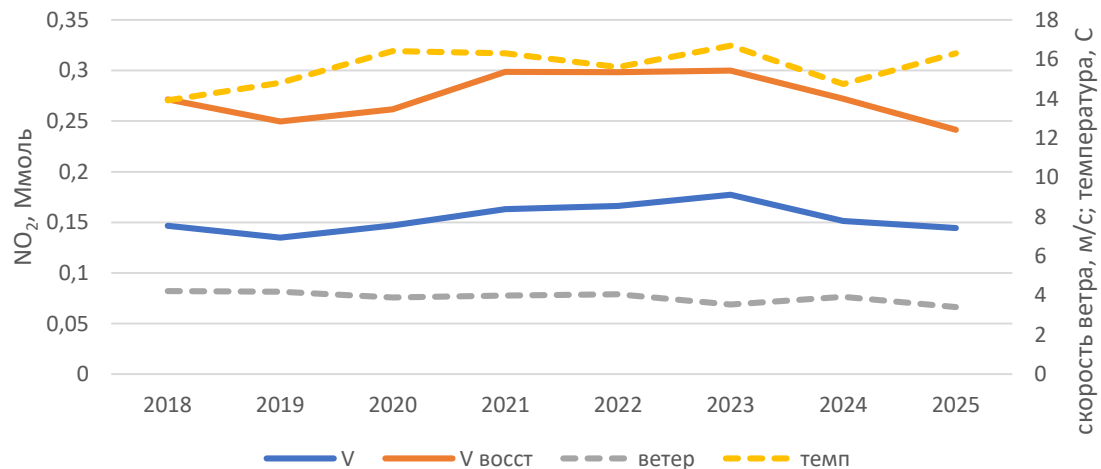
Москва



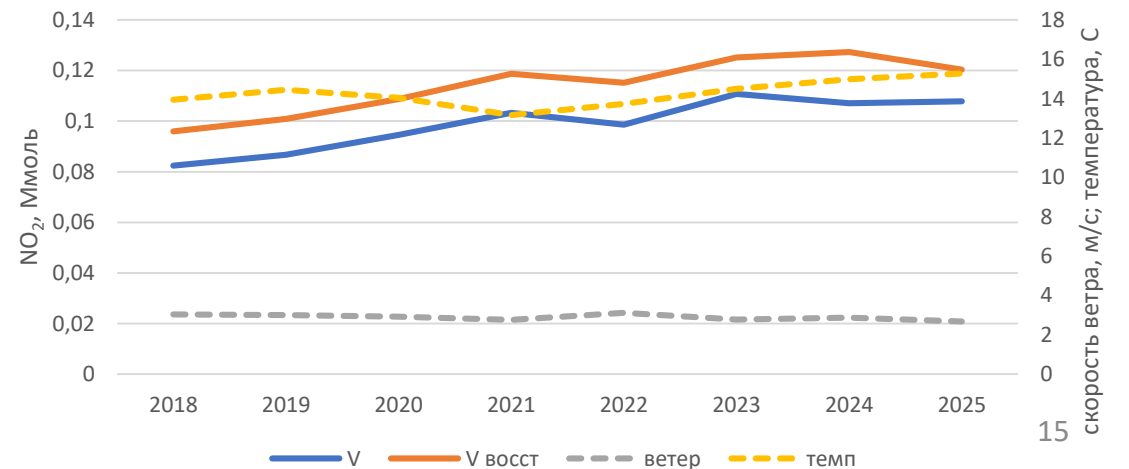
Магнитогорск



Омск



Красноярск



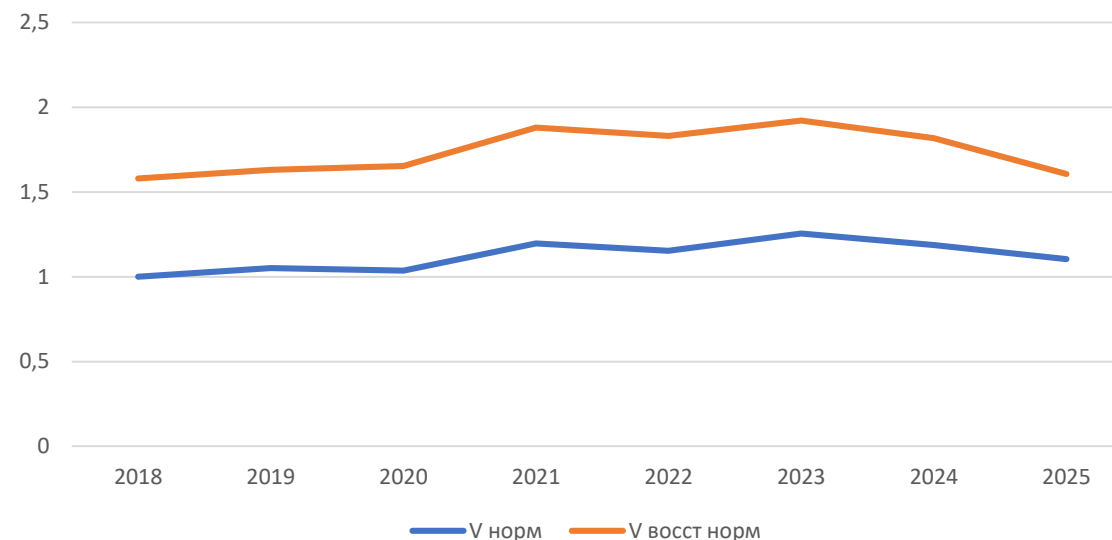
# Сравнение средних многолетних объёмов выбросов NO<sub>2</sub>

N	Источник	V, Ммоль	V/ Vвосст
1	Москва	1,690	0,66
2	Санкт-Петербург	0,564	0,61
3	Ачинск	0,157	0,71
4	Омск	0,154	0,56
5	Уфа	0,111	0,71
6	Барнаул	0,103	0,66
7	Казань	0,100	0,68
8	Красноярск	0,099	0,87
9	Магнитогорск	0,096	0,51
10	Липецк	0,088	0,69
11	Старый Оскол	0,079	0,64
12	Краснодар	0,074	0,74
13	Пермь	0,072	0,55
14	Воронеж	0,065	0,75
15	Сургут	0,062	0,60
16	Саратов	0,060	0,74
17	Норильск	0,060	0,78
18	Череповец	0,056	0,50
19	Волгоречинск	0,053	0,52
20	Ярославль	0,050	0,70
21	Тюмень	0,050	0,49
22	Орск	0,041	0,57
23	Белгород	0,038	0,53
24	Невинномысск	0,026	0,86
25	Чита	0,022	0,72

Рейтинг без коррекции  
на ветер

N	Источник	Vвосст, Ммоль	V/ Vвосст
1	Москва	2,542	0,66
2	Санкт-Петербург	0,927	0,61
3	Омск	0,274	0,56
4	Ачинск	0,221	0,71
5	Магнитогорск	0,186	0,51
6	Уфа	0,155	0,71
7	Барнаул	0,155	0,66
8	Казань	0,149	0,68
9	Пермь	0,131	0,55
10	Липецк	0,126	0,69
11	Старый Оскол	0,124	0,64
12	Красноярск	0,114	0,87
13	Череповец	0,112	0,50
14	Сургут	0,104	0,60
15	Волгоречинск	0,102	0,52
16	Тюмень	0,101	0,49
17	Краснодар	0,100	0,74
18	Воронеж	0,087	0,75
19	Саратов	0,081	0,74
20	Норильск	0,077	0,78
21	Орск	0,072	0,57
22	Белгород	0,071	0,53
23	Ярославль	0,071	0,70
24	Чита	0,030	0,72
25	Невинномысск	0,030	0,86

Рейтинг с учётом коррекции  
на ветер



Видно, что значительный объём выбросов (в некоторых случаях **до 50%**) уносится ветром от источника. Доля выноса зависит от конкретного источника, его географического положения, наличия рельефа и метеоусловий

- 1. На концентрацию  $\text{NO}_2$  влияют температура и ветер*
- 2. Для исключения влияния температуры необходимо анализировать «летний» период*
- 3. Детальный анализ объёмов выбросов различных источников возможен только с учётом поправки на ветер*
- 4. Полученные данные показали, что значительная доля выбросов уносится ветром от источника, а учёт ветра влияет на формирование рейтинга*



# ***Спасибо за внимание !***

*Работа выполнена с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг», поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» Минобрнауки (госрегистрация № 122042500031-8), и при поддержке темы «Эмиссия» (госрегистрация № 122101700045-7)*

*Контактная информация:  
Константинова Анна Михайловна  
e-mail: [konstantinova@d902.iki.rssi.ru](mailto:konstantinova@d902.iki.rssi.ru)*

**Отдел «Технологий  
спутникового  
Мониторинга»**

