

**Оценка сезонных и межгодовых вариаций антропогенных поверхностных выбросов в атмосферу отдельных загрязняющих соединений по данным онлайн-сервиса ECCAD для Владимирской области в 2000-2020 гг.**

Н.В. Родионова

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал 141190, г. Фрязино, Моск. обл., пл. Введенского, 1.*

*E-mail: rnv1948123@yandex.ru*

*На основе базы данных MACCity- anthro онлайн- сервиса ECCAD сделана оценка сезонных и межгодовых вариаций антропогенных поверхностных эмиссий загрязняющих соединений CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, HCHO, BC в атмосферу г. Владимира, и определены основные секторы, ответственные за эти выбросы, за период 2000-2020 гг. с пространственным разрешением (ПР) 0.5°x0.5° и временным разрешением один месяц. Для городов Киржач и Муром Владимирской области сделана оценка антропогенных поверхностных эмиссий CH<sub>4</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, BC, HCHO и определены основные секторы, ответственные за эмиссию, на основе базы данных CAMS-GLOB-ANT для 2000-2023 гг. с ПР=0.1°x0.1° и временным разрешением один год.*

*Ключевые слова: антропогенные поверхностные выбросы, загрязняющие вещества*

**Assessment of seasonal and interannual variations of anthropogenic surface emissions of individual pollutants into the atmosphere according to the ECCAD online service for the Vladimir region in 2000-2020**

N.V. Rodionova

*Institute of Radioengineering and Electronics, RAS.*

*Based on the MACCity- anthro database of the ECCAD online service, an assessment of seasonal and interannual variations of anthropogenic surface emissions of polluting compounds CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, HCHO, BC into the atmosphere was made, and the main sectors responsible for these emissions were identified for the city of Vladimir in the period 2000-2020 with a spatial resolution (SR) of 0.5°x0.5° and a temporary resolution of one month. For the cities of Kirzhach and Murom in the Vladimir region, an assessment of anthropogenic surface emissions of CH<sub>4</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, BC, HCHO was made and the main emission sectors were determined based on the CAMS-GLOB-ANT inventory for the period 2000-2023 with SR=0.1°x0.1° and the time resolution is a year.*

*Keywords: anthropogenic surface emissions, pollutants*

**Введение**

Выделяют несколько видов загрязнения атмосферы – по источникам, уровню контроля, характеру воздействия. Но в основе всех классификаций лежит первоначальное разделение на природные и техногенные (антропогенные) причины загрязнения атмосферы. Естественные источники загрязнения в меньшей степени влияют на окружающую среду. Деятельность человека напротив приносит выраженное нарушение экологического баланса. В источниках естественного загрязнения выделяют следующие группы: лесные пожары, горение торфяных болот; пылевые бури; вулканы; естественное разложение органических остатков. В антропогенные источники входят транспортные, производственные, бытовые, сельское хозяйство, отопление жилищ.

В списке регионов России по количеству выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу Владимирская область в 2000 году занимала 55 место (40 тыс. тонн) (<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1637663>). Лидер в списке - Красноярский край (2638 тыс. тонн). Для 2020 года количество выбросов ЗВ для Владимирской области - 101.2 тыс. тонн ([https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr\\_bul\\_2021.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.pdf)). За 20 лет выбросы ЗВ во Владимирской области выросли более, чем в 2.5 раза. Качество воздуха напрямую влияет на здоровье населения, уровень жизни и развитие городов. Количественная оценка эмиссии химических соединений в атмосферу необходима как входной параметр для моделирования климата [1, 2]. Все оценки эмиссий разрабатываются с использованием одного и того же общего метода, основанного на произведении оценок для данных о деятельности (например, расход топлива или производство товаров) и коэффициентов выбросов. Данные об активности обычно поступают либо из баз данных отдельных стран, либо из международных организаций, таких как ООН или Международное энергетическое агентство. Коэффициенты выбросов для большинства газообразных и всех видов твердых частиц зависят от процесса генерации. Эта зависимость выражается либо в определении типа технологии в каждом регионе мира («технологический базис»), либо в выборе факторов выбросов, которые считаются репрезентативными для каждого региона, особенно с учетом характеристик развития («репрезентативные факторы выбросов») [1].

Одним из источников информации об эмиссиях ЗВ является, находящийся в открытом доступе, онлайн-сервис ECCAD (Emissions of atmospheric Compounds & Compilation of Ancillary Data) (<http://eccad.aeris-data.fr>) [3]. Изначально ECCAD был разработан для того, чтобы обеспечить пользователям легкий доступ к большому количеству данных о выбросах вместе с инструментами анализа. ECCAD разработан как часть французского портала AERIS (<http://www.aeris-data.fr>), который предоставляет доступ к различным продуктам, связанным с науками об атмосфере, таким как наземные, спутниковые наблюдения, лабораторная и спектроскопическая информация, инструменты моделирования и выбросы с поверхности. Более 100 наборов данных об эмиссии ЗВ в глобальном и региональном масштабах, с различными пространственными и временными разрешениями и временными периодами доступны к настоящему времени на онлайн-сервисе ECCAD. Базы данных включают измерения спутников Metop, Envisat, AURA, NOAA, TERRA и других [3].

В онлайн сервисе ECCAD в категорию антропогенных входят 9 проектов, каждый из которых включает в себя несколько баз данных. Так в настоящей работе использовалась база данных MACCity-anthro (MACC- Monitoring Atmospheric Composition and Climate), входящая в GLOBAL more datasets (12 баз данных), для оценки антропогенных выбросов во Владимире с ПР 0.5°x0.5°, временным разрешением месяц и год для периода 2000-2020 гг. Для оценки антропогенных выбросов в Киржаче и Муроме использовалась база данных CAMS-GLOB-ANT, входящая в проект CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) (6 баз данных) с ПР 0.1°x0.1° для периода 2000-2023 гг. Для каждой базы данных предоставляется информация о доступных параметрах (химических соединениях) и секторах, ответственных за выбросы ЗВ. Так в CAMS-GLOB-ANT v. 5.3 доступна информация о многовременных вариациях 36 параметров (CO, CH<sub>4</sub> и т.д.) и 21 секторе, в MACCity-anthro – 19 параметров и 10 секторах.

Следует отметить, что разные базы данных могут предоставлять разную информацию о выбросах ЗВ для одной и той же территории. В работе [1] при сравнении нескольких кадастров среди причин различий между ними приводятся такие:

1) данные о деятельности и подробные сведения о факторах выбросов, которые используются для составления кадастров, как правило, не предоставляются вместе с кадастрами;

2) кадастры выбросов регулярно обновляются с использованием самых последних данных о деятельности и коэффициентах выбросов, что может привести к значительным различиям между различными версиями одного кадастра;

3) каждый набор данных/модель отличается способом обработки данных и подготовки к расчетам. Такая информация либо не предоставляется, либо ее довольно сложно оценить, если она есть.

### **Антропогенные источники поверхностных выбросов загрязняющих соединений во Владимире**

На рис. 1 приведена карта Владимирской области, где отмечены города Владимир, Киржач и Муром, для которых построены многовременные данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу с использованием онлайн-сервиса ECCAD.



**Рис. 1. Карта Владимирской области. Выделены города Владимир, Киржач и Муром**

Для оценки сезонных и среднегодовых антропогенных выбросов ЗВ во Владимире используется база данных MACCity-anthro с ПР  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , где среди химических соединений есть CO-угарный газ, SO<sub>2</sub>-диоксид серы, NO<sub>x</sub>-оксиды азота, NH<sub>3</sub>- аммиак, HCHO-формальдегид, BC – черный углерод. На рис. 2 показаны графики объемов эмиссий ЗВ по сумме секторов, в которые входят energy- производство тепла и электричества, transportation- наземный транспорт, industries- промышленность, residential- бытовой сектор, agriculture- сельскохозяйственный сектор, agri. waste – отходы, связанные с с/х деятельностью, waste –отходы. Значения CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> (сплошные линии) даны на основной шкале, а BC, HCHO (пунктирные линии) – на вспомогательной шкале со значениями почти на два порядка меньше, чем на основной шкале.

Основным по объемам выбросов ЗВ является CO и далее, в порядке убывания, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, HCHO и BC (без учета лесных пожаров). Объемы выбросов диоксида серы и оксидов азота в сравнении с угарным газом меньше в 2 и более раз, аммиака в 10 раз, формальдегида – в 85 и более раз. По сумме секторов в межгодовых вариациях выбросов формальдегида отмечается положительный тренд, для BC-отрицательный тренд (не учитывались выбросы от лесных пожаров).

Далее показаны графики сезонных и межгодовых вариаций для каждого из рассматриваемых химических соединений (рис. 2) с конкретизацией источников эмиссий на основе базы данных MACCity-anthro.

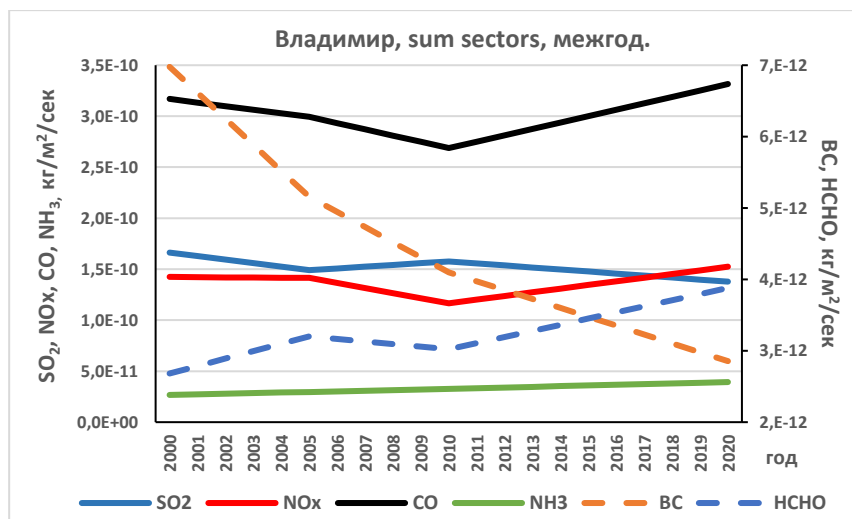


Рис. 2. Среднегодовые вариации ЗВ в атмосфере Владимира по сумме секторов

### СО (угарный газ)

Угарный газ поступает в атмосферу в результате неполного сгорания топлива. Главным источником оксида углерода является транспорт. СО содержится также в выбросах предприятий металлургии и нефтехимии. Время жизни СО в атмосфере около месяца. Вдыхаемый в больших количествах оксид углерода поступает в кровь, уменьшает приток кислорода к тканям, повышает количество сахара в крови, ослабляет подачу кислорода к сердцу [4].

На рис. 3 приведены графики сезонных (сумма секторов) и межгодовых вариаций поверхностных выбросов СО во Владимире. Для сезонных вариаций характерен минимум в июле-августе. Основными источниками выбросов СО являются транспорт, и, далее по убывающей, промышленный, энергетический и бытовой секторы. Общий тренд выбросов СО по сумме секторов до 2010 года – отрицательный, и после 2010 года – положительный. При этом в положительный тренд после 2010 года основной вклад вносит рост выбросов СО от транспорта, в меньшей степени от промышленности и энергетического сектора. Отметим снижение выбросов СО от бытового сектора более, чем в 10 раз, за период 2000-2020 гг.

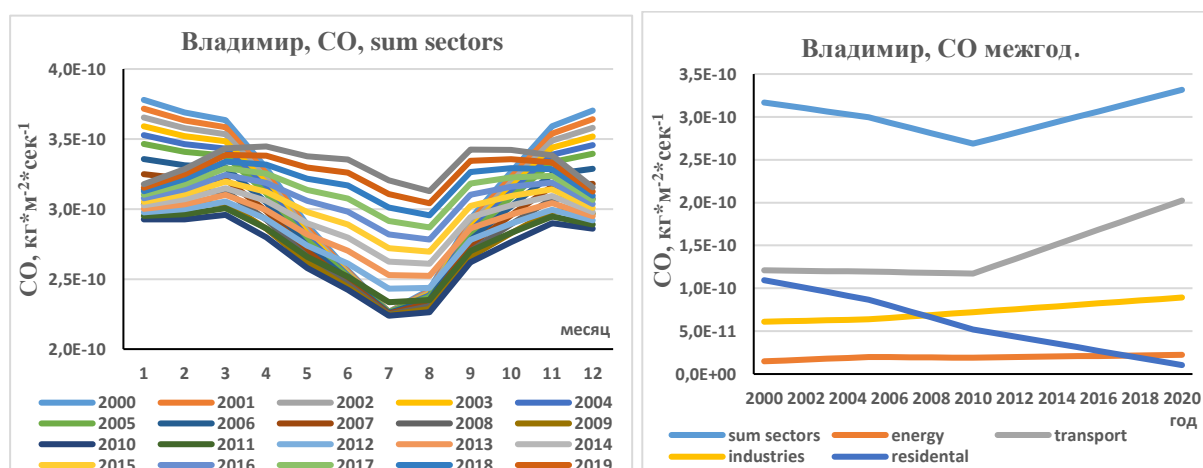


Рис.3. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов СО во Владимире

### SO<sub>2</sub> (диоксид серы)

Диоксид серы поступает в атмосферу при сгорании топлива, содержащего серу. Главным источником диоксида серы в воздухе городов являются электростанции,

котельные и предприятия металлургии. Воздействие диоксида серы в концентрациях выше предельно допустимых может приводить к существенному увеличению различных болезней дыхательных путей. Срок жизни диоксида серы в атмосфере составляет менее недели, в течение которой он вступает в реакцию с другими атмосферными загрязнителями и образует различные соединения.

На рис. 4 приведены графики сезонных и межгодовых вариаций антропогенных выбросов диоксида серы во Владимире. Как и для CO, в сезонных вариациях минимум приходится на июль-август. Основными источниками эмиссии SO<sub>2</sub> являются промышленный, энергетический, транспортный и бытовой секторы. Тренд по выбросам диоксида серы по сумме секторов за период 2000-2020 гг. отрицательный с коэффициентом детерминации R<sup>2</sup>=0.73. Отметим увеличение почти в 2.5 раза выбросов SO<sub>2</sub> от промышленности за 5-летний период с 2005 по 2010 гг. и общий положительный тренд для промышленных выбросов SO<sub>2</sub>. Основным вкладом в отрицательный тренд выбросов SO<sub>2</sub> по сумме секторов стало уменьшение более, чем в 3.5 раза, выбросов от энергетического сектора и несколько меньше (в 2 раза) от бытового сектора, при незначительном увеличении эмиссии SO<sub>2</sub> от транспорта.

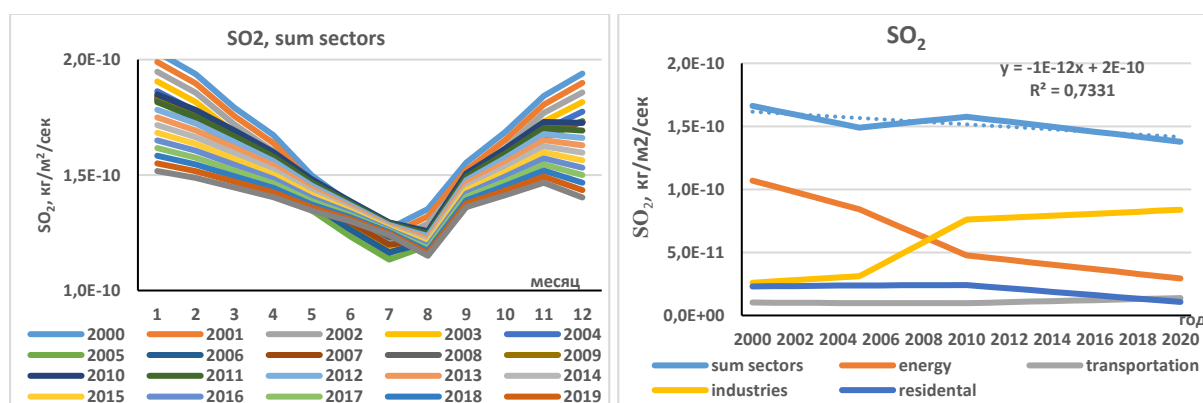


Рис.4. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов SO<sub>2</sub> во Владимире

### NO<sub>x</sub> (оксиды азота)

Под общей формулой NO<sub>x</sub> рассматриваются обычно оксид азота NO и диоксид азота NO<sub>2</sub>. Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами от промышленности, электростанций и транспорта, оксиды азота относятся к наиболее важным. Они образуются в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах. Оксиды азота способствуют образованию смога и кислотных дождей. Они также являются причиной разрушения озонового слоя и усиления парникового эффекта. Оксид азота NO — сильный яд, оказывающий влияние на центральную нервную систему, а также вызывающий поражение крови за счёт связывания гемоглобина. Длительное воздействие оксидов азота может привести к хроническим заболеваниям дыхательной системы и сердечно-сосудистой системы.

На рис. 5 приведены графики сезонных и межгодовых вариаций антропогенных поверхностных выбросов NO<sub>x</sub> для г. Владимир за период 2000-2020 гг.

Для сезонных вариаций характерен минимум в июле-августе, так же, как и для CO и SO<sub>2</sub>. Основными источниками выбросов NO<sub>x</sub> являются транспорт, энергетический, промышленный и бытовой секторы. После 2010 года общий тренд эмиссии NO<sub>x</sub> по сумме секторов положительный, наибольший вклад в который вносит транспорт.

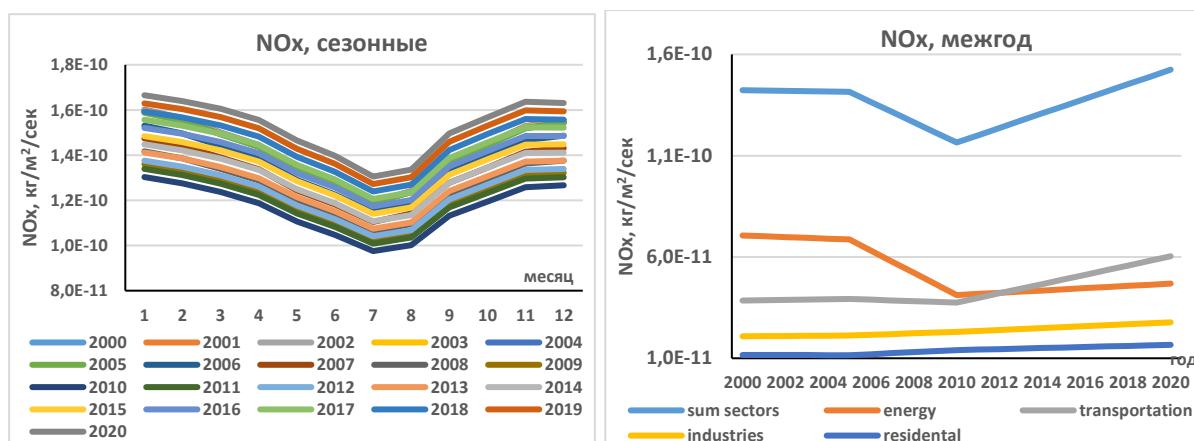


Рис.5. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов NOx во Владимире

### NH<sub>3</sub> – аммиак

Газообразный аммиак является побочным продуктом сельского хозяйства (животноводство, производство удобрений, гниение остатков растений) и промышленности. Газообразный аммиак в малой концентрации вызывает жжение в глазах и слезоточивость, при увеличении дозы — химический ожог роговицы и даже слепоту. Вдыхание аммиачных испарений может губительно отразиться на дыхательных путях организма. Влияет на органы слуха.

На рис. 6 показаны графики сезонных и межгодовых вариаций антропогенных выбросов аммиака для Владимира за 2000-2020 гг. (значения выбросов аммиака для суммы секторов и с/х сектора показаны на основной оси; значения выбросов для сектора, связанного с отходами по переработке продуктов с/х и для энергетического сектора- по вспомогательной оси). Основным источником выбросов NH<sub>3</sub> является с/х и отходы его переработки. В связи с этим очевидным становится сезонный ход выбросов аммиака с двумя максимумами: в марте и в сентябре. Оба максимума связаны с пиками с/х работ весной и осенью. Тренд выбросов аммиака положительный с коэффициентом детерминации R<sup>2</sup> близким к 1. Количество выбросов аммиака за 20 лет с 2000 года выросло почти в 1.47 раз.

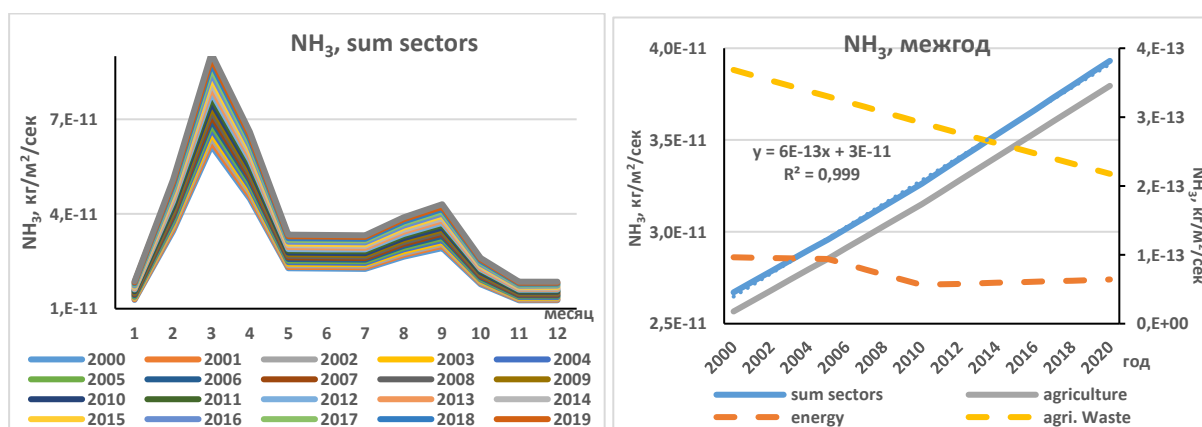


Рис.6. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов NH<sub>3</sub> во Владимире

### НСНО – формальдегид

Среди загрязняющих веществ, содержащихся в атмосфере городов, важное место занимает формальдегид. В промышленности он образуется в небольшом количестве при неполном сгорании жидкого топлива, при изготовлении искусственных смол, пластических масс, при выделке кож и т.д. В атмосферу формальдегид поступает от

предприятий деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной, химической и нефтехимической промышленности, а также цветной металлургии и др. Формальдегид обладает высокой токсичностью. При концентрациях существенно выше ПДК (предельная допустимая концентрация) формальдегид действует на центральную нервную систему, особенно на органы зрения [4, 5]. Для большинства городов формальдегид является одним из основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Минимум сезонных выбросов формальдегида во Владимире приходится на август (рис. 7). Главными источниками выбросов является промышленность и в несколько меньшей степени энергетический сектор. Оба эти сектора вносят основной вклад в увеличение выбросов НСНО с 2000 по 2020 год в 1.44 раза. Линия тренда по сумме секторов положительная с коэффициентом детерминации  $R^2=0.86$ .

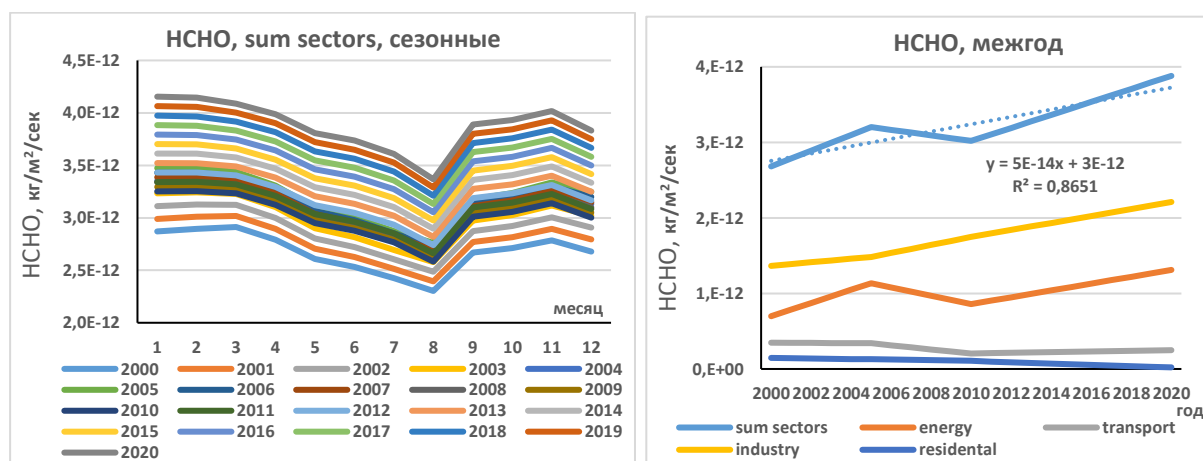


Рис.7. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов НСНО во Владимире

### ВС- черный углерод

Черный углерод состоит из чистого углерода в нескольких связанных формах. Он образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива, биотоплива и биомассы и является одним из основных типов частиц в саже. В климатологии черный углерод является фактором, влияющим на изменение климата, способствующим глобальному потеплению. Черный углерод согревает Землю, поглощая солнечный свет и нагревая атмосферу, а также уменьшая альбедо при осаждении на снег и лед. Являясь компонентом взвешенных частиц PM2.5, черный углерод загрязняет атмосферу и, попадая в организм человека приводит к заболеваниям, связанным с нарушением кровообращения сердца и мозга из-за кислородного голодания. Время жизни ВС в атмосфере – от нескольких дней до недели.

На рис. 8 для Владимира приведены графики сезонных и межгодовых вариаций эмиссии ВС от антропогенных источников (без учета сжигания биомассы). Минимум сезонных вариаций черного углерода приходится на июль месяц

Основным источником антропогенных выбросов ВС до 2010 года являлся бытовой сектор, и после 2010 года – транспорт. Несмотря на рост выбросов ВС от транспорта, общий тренд выбросов ВС по сумме секторов отрицательный с коэффициентом детерминации  $R^2=0.94$  из-за значительного (в 13 раз) уменьшения выбросов ВС от бытового сектора за период 2000-2020 гг.

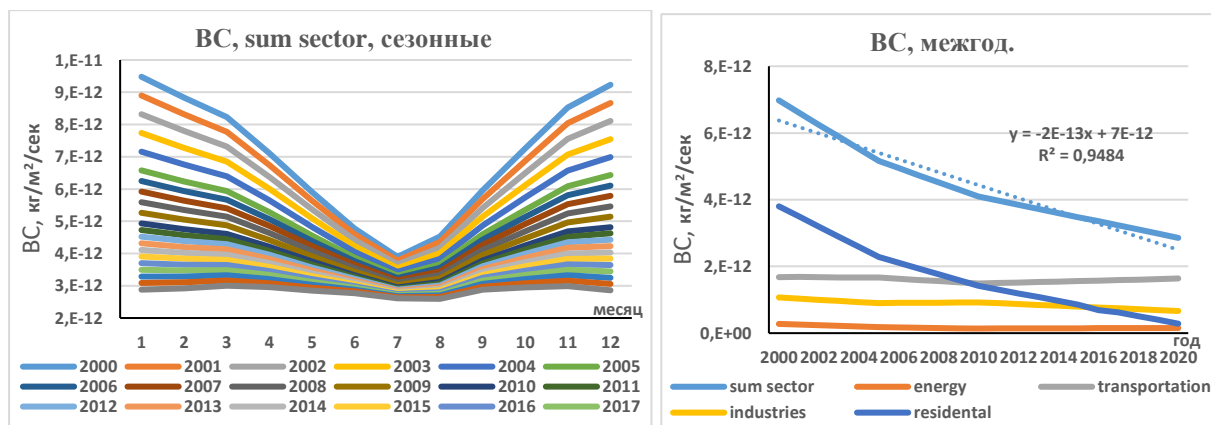


Рис.8. Сезонные и среднегодовые вариации выбросов ВС во Владимире

### Антропогенные источники поверхностных выбросов загрязняющих соединений в Киржаче и Муроме

Для оценки межгодовых антропогенных поверхностных выбросов ЗВ в Киржаче и Муроме использовалась база данных CAMS-GLOB-ANT v. 5.3, 2000-2023 гг., ПР  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , временное разрешение месяц или год, для семи химических соединений  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{BC}$ ,  $\text{НСНО}$ . Добавлением к уже рассмотренным ЗВ является метан ( $\text{CH}_4$ ). Метан — газ, не имеющий ни вкуса, ни запаха. Только 40% выбросов этого газа вырабатывается в результате естественных природных процессов, остальные же имеют антропогенный характер. При этом до 80% от природных выбросов приходится на болота. Естественными источниками выбросов метана являются также лесные пожары, дикие животные, таяние вечной мерзлоты. Антропогенные выбросы метана связаны с его использованием в качестве топлива для обогрева и приготовления пищи, а также в автомобильных и ракетных двигателях. Большая часть метана вырабатывается в ходе хозяйственной деятельности человека. В первую очередь (порядка 30%) это разведение с/х животных — так же, как и дикие, домашние жвачные животные производят в процессе пищеварения метан. Время жизни метана в атмосфере порядка 10 лет.

На рис. 9 приведены графики среднегодовых антропогенных поверхностных выбросов в атмосферу  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  (тыс. тонн, сплошные линии, основная ось),  $\text{NH}_3$ ,  $\text{BC}$ ,  $\text{НСНО}$  (тыс. тонн, пунктирные линии, вспомогательная ось) по сумме секторов за период 2000-2024 гг. (01.01.2024) с временным разрешением — один год, для Киржача и Мурома.

В Киржаче по объемам выбросов до 2010 года лидировал угарный газ, после 2010 года — метан. За десять лет с 2000 года произошло уменьшение в 1.7 раз выбросов  $\text{CO}$ , основными источниками эмиссии которого являются транспорт и бытовой сектор. Основными источниками эмиссии  $\text{CH}_4$  являются твердые отходы и сточные воды (solid waste and waste water) и летучий газ (fugitive gas). За 2023 год эмиссия  $\text{CH}_4$  составляла 0.79 тыс. тонн, а  $\text{CO}$  — 0.71 тыс. тонн. С 2010 года заметного тренда в выбросах  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$  не отмечается. Объемы эмиссий оксидов азота и диоксида серы значительно уступают  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$  и составляют для 2023 года порядка 0.13 тыс. т для  $\text{NO}_x$  и в 2 раза меньше для  $\text{SO}_2$ . Тренд для обоих ЗВ незначительный. Основными источниками выбросов  $\text{NO}_x$  являются транспорт (дорожный и внедорожный) и бытовой сектор. Главным источником выбросов  $\text{SO}_2$  является бытовой сектор. Объемы выбросов аммиака почти на 2 порядка меньше, чем  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$ , и на порядок меньше, чем  $\text{NO}_x$ , и составляют в 2023 году 0.015 тыс. тонн. Тренд выбросов положительный с коэффициентом детерминации  $R^2=0.85$ . Главными источниками выбросов аммиака являются транспорт, бытовой сектор, сельское хозяйство, отходы. Объем выбросов формальдегида в 5 раз меньше, чем



аммиака, и составляет в 2023 году 0.0031 тыс. тонн. Тренд отрицательный с  $R^2=0.9$ . Основными источниками эмиссий НСНО являются транспорт (более половины выбросов) и бытовой сектор. Наименьшие выбросы связаны с ВС (не учитывалась эмиссия из-за лесных пожаров), которые составляли в 2023 году 0.002 тыс. тонн. Основные источники выбросов – бытовой сектор и дорожный транспорт.

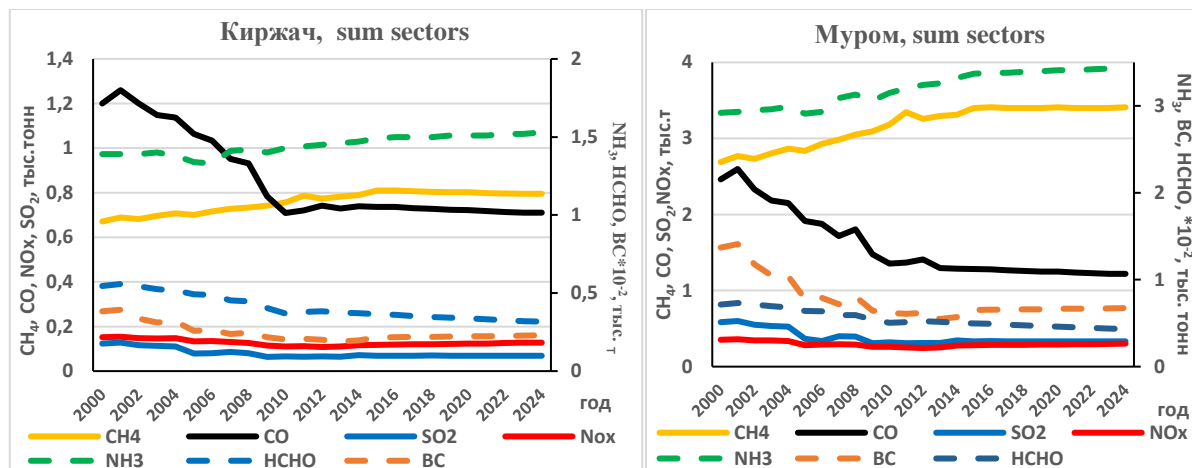


Рис. 9. Среднегодовые вариации антропогенных эмиссий CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, BC, НСНО в Киржаче и Муроме

В Муроме по объемам выбросов лидирует метан с положительным трендом при  $R^2=0.87$ . Основной источник выбросов CH<sub>4</sub>– твердые отходы и сточные воды. Далее со значительно меньшим объемом эмиссий метана (в 10 раз) следует бытовой сектор. За последние 10 лет объем выбросов CH<sub>4</sub> стабилизировался и находится в пределах 3.4. тыс. тонн в год. Угарный газ является вторым по объему выбросов ЗВ в Муроме. Более половины выбросов CO вызвано транспортом. Второй по объему источник выбросов CO связан с бытовым сектором. Тренд многолетних выбросов CO отрицательный с коэффициентом детерминации  $R^2=0.8$ . За 2023 год объем выбросов CO составлял порядка 1.2 тыс. тонн. В значительно меньших объемах происходят выбросы SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>. Основным источником выбросов SO<sub>2</sub> является промышленность (industry) – больше 40%, далее бытовой сектор- около 35% и перерабатывающие предприятия (refineries) – около 20%. Основными источниками выбросов NO<sub>x</sub> являются в равной степени транспорт, бытовой и промышленный секторы. Выбросы аммиака имеют положительный тренд и составляют за 2023 год 0.03 тыс. тонн. Главными источниками выбросов аммиака являются процессы, связанные с производством, в меньшей степени – бытовой сектор. Выбросы ВС (без учета лесных пожаров) имеют отрицательный тренд и составляют за 2023 год 0.0066 тыс. тонн. Главный источник выбросов ВС (без учета лесных пожаров) – бытовой сектор. Выбросы формальдегида имеют отрицательный тренд. Основными источниками выбросов НСНО являются транспорт и бытовой сектор (в 3 раза меньше, чем транспорт). Объем выбросов НСНО за 2023 год составил 0.004 тыс. тонн.

### Выводы

На основе базы данных MACCity- anthro онлайн- сервиса ECCAD сделана оценка сезонных и межгодовых вариаций антропогенных поверхностных эмиссий загрязняющих соединений CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, НСНО, ВС в атмосферу города Владимира за период 2000-2020 гг. с ПР 0.5°x0.5° и временным разрешением один месяц. Для Владимира за период 2000-2020 гг. по сумме секторов основным антропогенным ЗВ является CO -угарный газ, главный источник выбросов которого - транспорт.

Следующим по объемам выбросов стал  $\text{SO}_2$  -диоксид серы, главным источником эмиссии которого являются промышленный и энергетические секторы; далее следуют  $\text{NO}_x$  – оксиды азота, источник выбросов которых принадлежит энергетическому и транспортному секторам; сельское хозяйство является основным источником выбросов  $\text{NH}_3$ -аммиака; основным источником выбросов  $\text{НСНО}$ - формальдегида- стали промышленный и энергетический секторы; транспорт является главным источником выбросов  $\text{BC}$  (черного углерода) (без учета эмиссии  $\text{BC}$  от лесных пожаров и пала).

Для оценки межгодовых антропогенных поверхностных выбросов ЗВ в Киржаче и Муроме использовалась база данных CAMS-GLOB-ANT v. 5.3, 2000-2023 гг., ПР  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , временное разрешение месяц или год, для семи химических соединений:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{BC}$ ,  $\text{НСНО}$ .

В Киржаче по объемам выбросов до 2010 года лидировал угарный газ, после 2010 года- метан. За десять лет с 2000 года произошло уменьшение в 1.7 раз выбросов  $\text{CO}$ , основными источниками эмиссии которого являются транспорт и бытовой сектор. Основным источником эмиссии  $\text{CH}_4$  являются твердые отходы и сточные воды. С 2010 года заметного тренда в выбросах  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$  не отмечается. Объемы эмиссий оксида азота и диоксида серы значительно уступают  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$ . Тренд для обоих ЗВ незначительный. Основными источниками эмиссии  $\text{NO}_x$  являются транспорт и бытовой сектор. Главным источником эмиссии  $\text{SO}_2$  является бытовой сектор. Тренд выбросов аммиака положительный, а объемы почти на 2 порядка меньше, чем  $\text{CO}$  и  $\text{CH}_4$ , и на порядок меньше, чем  $\text{NO}_x$ . Главными источниками эмиссии аммиака являются транспорт, бытовой сектор, сельское хозяйство, отходы. Тренд выбросов  $\text{НСНО}$  отрицательный, объемы выбросов в 5 раз меньше, чем аммиака. Основными источниками эмиссий  $\text{НСНО}$  является транспорт и бытовой сектор. Наименьшие выбросы связаны с  $\text{BC}$ , основной источник- бытовой сектор (не учитывались выбросы из-за лесных пожаров).

В Муроме по объемам выбросов лидирует  $\text{CH}_4$  с положительным трендом. Основной источник эмиссии  $\text{CH}_4$ – твердые отходы и сточные воды. За последние 10 лет объем выбросов  $\text{CH}_4$  стабилизировался и находится в пределах 3.4. тыс. тонн в год. Угарный газ является вторым по объему выбросов ЗВ в Муроме. Более половины эмиссии  $\text{CO}$  вызвано транспортом. Тренд многолетних выбросов  $\text{CO}$  отрицательный. За 2023 год объем выбросов  $\text{CO}$  составлял порядка 1.2 тыс. тонн. В значительно меньших объемах идут выбросы  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . Основным источником эмиссии  $\text{SO}_2$  является промышленность – больше 40%, бытовой сектор- около 35% и перерабатывающие предприятия – около 20%. Основными источниками эмиссии  $\text{NO}_x$  являются в равной степени транспорт, бытовой и промышленный секторы. Выбросы аммиака имеют положительный тренд и составляют за 2023 год 0.03 тыс. тонн. Главными источниками эмиссии аммиака являются процессы, связанные с производством, в меньшей степени – бытовой сектор. Выбросы  $\text{BC}$  (без учета лесных пожаров) имеют отрицательный тренд и составляют за 2023 год 0.0066 тыс. тонн. Главный источник выбросов  $\text{BC}$  (без учета лесных пожаров) – бытовой сектор. Выбросы формальдегида имеют отрицательный тренд. Основными источниками эмиссии  $\text{НСНО}$  являются транспорт и бытовой сектор. Объем выбросов  $\text{НСНО}$  за 2023 год составил 0.004 тыс. тонн.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по теме “Космос-2”.*

### **Литература**

1. Bessagnet, C.V., et al. (2011), Evolution of anthropogenic and biomass burning emissions of air pollutants at global and regional scales during the 1980–2010 period, Climatic Change, 109. No. 163.

2. Lamarque J.-F., et al. (2010), Historical (1850–2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7017–7039.
3. Peuch, V.-H., et al. (2014), Final Report МАСС-II Monitoring Atmospheric Composition and Climate - Interim Implementation, МАСС-II Final Report – October 2014.
4. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 год. Ежегодник. СПб. 2021. ФГБУ, “ГГО” Росгидромета. 2021 [http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2021/ejegodnik\\_zagr\\_atm\\_2020.pdf](http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2021/ejegodnik_zagr_atm_2020.pdf)
5. Вредные вещества в промышленности. - М.:, Л.: Изд. «Химия», 1965.