

УДК: 504.054:528.8

DOI: 10.26907/rwp29.2025.468-471

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРЕ В 2000-2023 ГГ. НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Н.В. Родионова

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

E-mail: rnv1948123@yandex.ru

Аннотация. На основе базы данных CAMS-GLOB-ANT онлайн-сервиса ECCAD сделана оценка межгодовых вариаций антропогенных выбросов формальдегида (НСНО) в атмосферу четырех городов Республики Татарстан и определены основные секторы, ответственные за эти выбросы, за период 2000-2023 гг. с пространственным разрешением (ПР) $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Сделана оценка сезонных и межгодовых вариаций содержания НСНО в столбе воздуха для исследуемых территорий по спутниковым измерениям OMI/AURA.

Ключевые слова: формальдегид; антропогенные выбросы; спутниковые измерения

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC EMISSIONS AND SATELLITE MEASUREMENTS OF ATMOSPHERIC FORMALDEHYDE IN 2000-2023 USING THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

N.V. Rodionova

Abstract. Based on the CAMS-GLOB-ANT database of the ECCAD online service, an estimate of the interannual variations in anthropogenic formaldehyde emissions into the atmosphere of four cities of the Republic of Tatarstan region was made and the main sectors responsible for these emissions were identified for the period 2000-2023 with a spatial resolution of 0.1×0.1 degrees. Seasonal and interannual variations in the formaldehyde content in the air column for the studied territories are estimated using OMI/AURA satellite measurements.

Keywords: formaldehyde; anthropogenic emissions; satellite measurements

Введение

Формальдегид (НСНО) – сильный яд, канцероген. Поражает центральную нервную систему, особенно зрение, верхние дыхательные пути. Поражает почки, печень. В повседневной жизни встречается в следующем: мебель, ДСП, фанера; текстильная, кожевенная промышленность, производство резины и цемента, пластмасс, химикатов, красителей, лекарств, парфюмерии [1, 2]. Содержится в выхлопных газах и газовых выбросах заводов и мусоросжигательных фабрик. Используется в пищевой промышленности, как консервант, в виде пищевой добавки E240, причем формально E240 запрещен в России для применения в пищевых продуктах.

Источники поступления НСНО в атмосферу подразделяют на природные и техногенные [1]. В каждой из этих групп выделяют первичные и вторичные источники. Первичные источники выбрасывают непосредственно НСНО в свободном виде, вторичные – выделяют летучие органические соединения (ЛОС), которые при определенных условиях в результате комплекса фотохимических реакций трансформируются в НСНО.

К первичным природным источникам поступления НСНО относится прямая эмиссией НСНО от некоторых видов растений во время цветения или другой жизнедеятельности. К первичным техногенным источникам поступления НСНО относятся тепловые электростанции, металлургические и химические заводы, производство строительных материалов, а также транспорт, предприятия легкой и пищевой промышленности, котельные, печное отопление.

Вторичное образование НСНО в качестве промежуточного продукта в атмосферном воздухе происходит в процессе фотохимического окисления многих классов органических соединений [1]. Вторичные источники поступления формальдегида часто превышают прямую

эмиссию из техногенных источников, особенно летом. В глобальной тропосфере до 60% и более обнаружение НСНО может быть связано с фотоокислением метана [3].

Содержание НСНО возрастает в летний сезон при повышении температуры воздуха и интенсивности солнечного излучения, а также увеличения концентраций свободных радикалов, оксидов азота, озона, биогенных прекурсоров [1].

Важную роль в удалении высоко растворимого в воде формальдегида из атмосферного воздуха играют физические процессы, такие как влажное осаждение (дождь, снег) и сухое осаждение на подстилающую поверхность, на которое приходится значительная часть НСНО (выше 90%), выводимого из атмосферы в результате физических процессов [4].

Из-за основных путей физического и химического удаления, средняя продолжительность жизни НСНО в атмосферном воздухе летом в солнечные дни составляет несколько часов [3]. На время жизни также влияют метеоданные (температура, сила ветра, облачность, осадки) и концентрация реакционноспособных частиц. Из-за короткого времени жизни НСНО в атмосфере его перенос на расстояния весьма ограничен.

В данной работе сделана оценка антропогенных выбросов НСНО и НМЛОС (не метановые ЛОС) на основе онлайн сервиса ECCAD для 2000-2023 гг. и оценка содержания НСНО в столбе атмосферы по данным прибора OMI спутника AURA с пространственным разрешением (ПР) $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ для периода 2005-2021 гг. на примере четырех городов Республики Татарстан: Казани, Набережных Челнов, Нижнекамска и Бугульмы.

Антропогенные выбросы формальдегида в Республике Татарстан

Оценка антропогенных выбросов НСНО сделана на основе сервиса ECCAD (Emissions of atmospheric Compounds & Compilation of Ancillary Data) (<http://eccad.aeris-data.fr>) [5]. Сервис ECCAD разработан как часть французского портала AERIS (<http://www.aeris-data.fr>). В онлайн сервисе ECCAD в категорию антропогенных входят 9 проектов, каждый из которых включает в себя несколько баз данных. В настоящей работе использовалась база данных CAMS-GLOB-ANT, входящая в проект CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) (6 баз данных) с ПР $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ для периода 2000-2023 гг. В CAMS-GLOB-ANT v. 5.3 доступна информация о многовременных вариациях 36 параметров (CO , CH_4 и т.д.) и 21 секторе. Пространственное разрешение $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ соответствует размеру ячейки сетки на широте Казани $11.1 \text{ км} \times 6.2 \text{ км}$.

На рис. 1а показаны графики объемов выбросов НСНО в тысячах тонн в год по сумме секторов для 4 городов Республики Татарстан по данным кадастра CAMS-GLOB-ANT для ячейки сетки $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ за период 2000-2023 гг. ($\text{Tt}=10^6$ тонн). Данные для всех городов, кроме Бугульмы, приведены на основной шкале. Для Бугульмы – на вспомогательной шкале. Лидирует по выбросам НСНО Набережные Челны. Выбросы НСНО на единицу площади (размер ячейки) в Набережных Челнах более, чем на порядок, превосходят выбросы в Нижнекамске, более, чем в 30 раз – в Казани и в 300 раз в Бугульме. Почти 100% выбросов НСНО в Набережных Челнах и Нижнекамске связано с энергетическим сектором. Для Казани более 50% выбросов НСНО связано с бытовым сектором, 25% – с промышленностью, 10% – с транспортом. В Бугульме транспорт и бытовой сектор дают 80% выбросов НСНО, 13% – промышленность.

Вторичные источники поступления формальдегида ЛОС часто превышают прямую эмиссию из техногенных источников. ЛОС выделяются в виде газов из твердых или жидких веществ. Они легко испаряются при комнатной T° . Повреждают органы дыхания, повышают риск развития рака, влияют на репродуктивную функцию. Класс опасности 1÷4. По происхождению НМЛОС (не метановые ЛОС) подразделяются на природные и искусственные. Источниками последних являются химическая и пищевая промышленность, нефтепереработка, бытовые процессы: производство растворителей, лаков, пестицидов, фармацевтики. Автотранспорт – выхлопные газы содержат углеводороды, оксиды азота. Бензин и дизельное топливо содержат ароматические углеводороды (АУ), такие как бензол (C_6H_6) и толуол (C_8H_8), которые высвобождаются при сгорании топлива [1]. В перечень НМЛОС входят АУ: бензол, толуол, стирол, нафталин, которые используются в промышленности: производство пластмасс, лакокрасок, растворителей, фармацевтики, духов. АУ входит в состав автомобильных выбросов и табачного дыма. В перечень НМЛОС входят токсичные газы: НСНО, хлороводород, аммиак, оксиды азота и др., растворители: метиловый и этиловый спирты, ацетон, которые

используются в различных промышленных процессах и при изготовлении бытовых предметов. К ЛОС относятся растворители, которые содержатся во многих продуктах: клей, аэрозоль, краски, промышленные растворители, лаки, бензин, чистящие жидкости, приводящие к отравлению при высоких концентрациях [1].

На рис. 1б показаны графики объемов выбросов НМЛОС в тысячах тонн в год по сумме секторов для 4 городов Республики Татарстан по данным кадастра CAMS-GLOB-ANT для ячейки сетки $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ за период 2000-2023 гг. Лидирует по выбросам НМЛОС на единицу площади Набережные Челны, превышая выбросы в Казани почти в 2 раза, в Нижнекамске – в 5 раз, в Бугульме – в 8 раз. Более 60% выбросов НМЛОС в Набережных Челнах приходится на энергетический сектор, и почти поровну на транспорт и растворители. В Казани более 40% выбросов НМЛОС связано с растворителями, около 30% с транспортом, и далее почти в равной степени с промышленным, бытовым секторами и бытовыми отходами. В Нижнекамске ответственными за выбросы НМЛОС почти в равной степени являются энергетический сектор, растворители и транспорт. В меньшей степени бытовой сектор. В Бугульме почти 50% выбросов НМЛОС вызвано транспортом, несколько меньше растворителями.

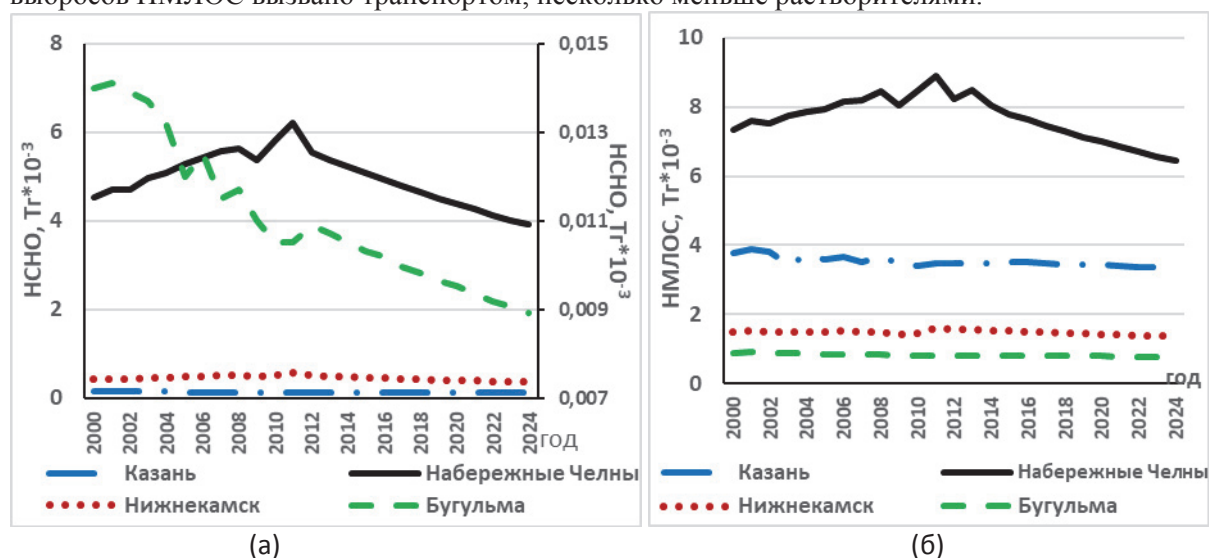


Рис. 1. Межгодовые антропогенные выбросы НСНО (а) и НМЛОС (б) в атмосферу по сумме секторов (в пределах ячейки сетки $0.1^\circ \times 0.1^\circ$)

Оценка содержания в атмосфере НСНО по данным прибора OMI/AURA

Спектрометр OMI (Ozone Monitoring Instrument) американского спутника AURA (2004 г.) использует ультрафиолет и видимый свет для составления ежедневных карт содержания различных химических соединений в вертикальном столбе тропосферы, включая НСНО.

На основе системы анализа и визуализации данных Giovanni (giovanni.gsfs.nasa.gov) по данным OMI/AURA (продукт OMI OMHCHOd v.003, ПР 0.1° , column amount) на рис. 2а показаны для Набережных Челнов сезонные вариации содержания НСНО в вертикальном столбе атмосферы за период 2005- 2021 гг. Пик содержания НСНО в столбе атмосферы приходится на июль. На рис. 2б показаны межгодовые вариации содержания НСНО в столбе атмосферы для Набережных Челнов при нахождении среднего значения за период апрель-сентябрь. Отметим отрицательный тренд в содержании НСНО в столбе атмосферы.

Следует отметить, что данные OMI/AURA весьма нестабильны, есть значительные пропуски, что приводит к существенным искажениям среднего значения за месяц. Практически отсутствуют данные за период с ноября по февраль.

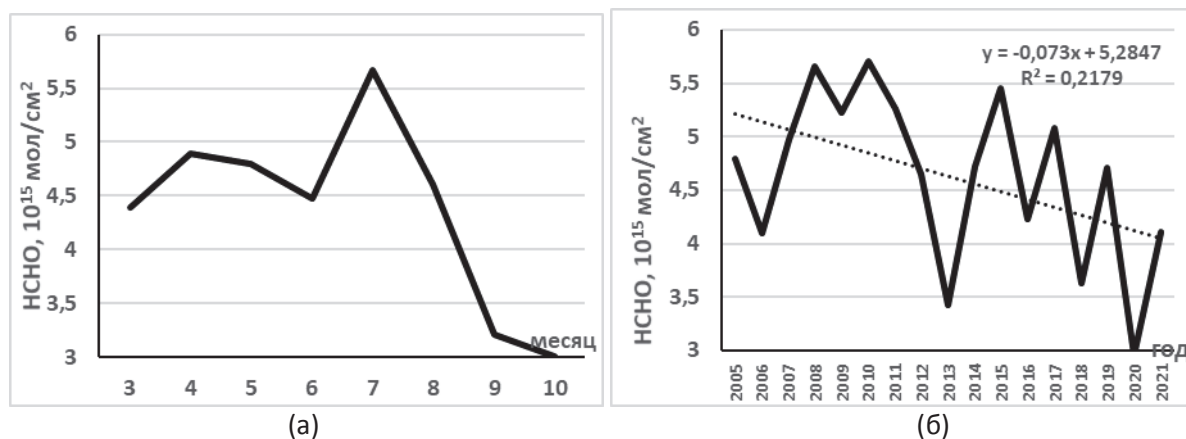


Рис. 2. Сезонные и межгодовые вариации содержания НСНО в столбе атмосферы по данным ОМІ за 2005-2021 гг. для Набережных Челнов

Заключение

Дана оценка антропогенных выбросов НСНО в 4 городах Республики Татарстан на основе кадастра CAMS-GLOB-ANT онлайн сервиса ECCAD с ПР $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ за период 2000–2023 гг. Лидируют по выбросам НСНО Набережные Челны. Выбросы НСНО на единицу площади (размер ячейки) в Набережных Челнах более, чем на порядок, превосходят выбросы в Нижнекамске, в 30 раз – в Казани и в 300 раз в Бугульме. Почти 100% выбросов НСНО в Набережных Челнах и Нижнекамске связано с энергетическим сектором. Для Казани более 50% выбросов НСНО связано с бытовым сектором, более 25% – с промышленностью, 10% – с транспортом. В Бугульме транспорт и бытовой сектор дают более 80% вклада в выбросы НСНО. Вторичные выбросы НСНО связаны с НМЛОС. Лидируют по выбросам НМЛОС на единицу площади Набережные Челны, превышая выбросы в Казани почти в 2 раза, в Нижнекамске – в 5 раз, в Бугульме – в 8 раз. Более 60% выбросов НМЛОС в Набережных Челнах приходится на энергетический сектор, и почти поровну на транспорт и растворители. В Казани более 40% выбросов НМЛОС связано с растворителями, около 30 % с транспортом, и почти в равной степени с промышленным, бытовым секторами и бытовыми отходами. В Нижнекамске ответственными за выбросы НМЛОС почти в равной степени являются энергетический сектор, растворители и транспорт. В Бугульме почти 50% выбросов НМЛОС вызвано транспортом, несколько меньше растворителями.

Спутниковая оценка сезонных и межгодовых вариаций содержания НСНО в вертикальном столбе атмосферы по данным спектрометра ОМІ/AURA для Набережных Челнов для периода 2005–2021 гг. показала, что пик содержания НСНО в столбе атмосферы приходится на июль. Прослеживается отрицательный тренд в содержании НСНО в столбе атмосферы для Набережных Челнов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Список литературы

1. Халиков И.С. Формальдегид в атмосферном воздухе: источники поступления и пути удаления // Экологическая химия. – 2019. – 28(6). – С. 307–317.
2. Вредные вещества в промышленности. – М.–Ленинград: Химия, 1965.
3. De Blas M., Ibáñez P., García J.A., Gómez M.C., Navazo M., Alonso L., Durana N., Iza J., Gangoiti G., de Cámara E.S., Summertime high resolution variability of atmospheric formaldehyde and non-methane volatile organic compounds in a rural background area // Sci. Total Environ. – 2019. – 647. – P. 862–877.
4. Luecken D.J., Hutzell W.T., Strum M.L., Pouliot G.A. Regional sources of atmospheric formaldehyde and acetaldehyde, and implications for atmospheric modeling // Atmos. Environ. – 2012. – 47. – P. 477–490.
5. Bessagnet C.B., et al. Evolution of anthropogenic and biomass burning emissions of air pollutants at global and regional scales during the 1980–2010 period // Climatic Change. – 2011. – 109. – No. 163.