

Загрязнение воздуха в Беларуси. Исследование из Космоса

Исследование основано на данных спутниковых снимков Copernicus Sentinel 5p и других данных о загрязнении воздуха и контроле его качества, полученных от Службы мониторинга атмосферы Copernicus.

Прага- Минск, 2020



**Загрязнение воздуха в Беларуси.
Исследование из Космоса**

Загрязнение воздуха Беларуси. Исследование из Космоса



WORLD FROM SPACE

Мир из Космоса 2020

Главный редактор: Мгр. Ян Лабоги

Автор: Мгр. Вc. Симона Бочкова, Мгр. Вc. Роман Боговиц , Ph.D., Вc. et Вc. Матуш Грнчиар, Мгр. Николай Муронь, Иван Бетсун, Мартин Скальский.



Эта работа доступна по лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>). В соответствии с условиями этой лицензии вы можете копировать, распространять и адаптировать работу для некоммерческих целей при условии надлежащего цитирования работы, включая указание источника данных.

Исследование содержит модифицированные данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus [2017-2020] и модифицированные данные Copernicus Sentinel [2018-2020]. Карты содержат данные от © участников Доступной карты улиц (openstreetmap.org) и организации обмена гуманитарными данными (data.humdata.org).

Опубликовано: 2020

Языковые версии: English, Русский

Перевод: Вc.Madina Zariyeva

ISBN: 978-80-87651-86-5

Исследование финансировано Программой содействия переходному процессу (Transition Promotion Programme) Министерства иностранных дел Чешской Республики. Инвестор не несет ответственности за мнения, представленные в исследовании.

Загрязнение воздуха в Беларуси. Исследование из Космоса

Исследование основано на данных спутниковых снимков Copernicus Sentinel 5p и других данных о загрязнении воздуха и контроле его качества, полученных от Службы мониторинга атмосферы Copernicus.

Прага- Минск, 2020



Содержание

Аббревиатуры и акронимы	7
Ключевые выводы.....	8
Введение	9
Диоксид азот (NO ₂)	9
Окись углерода (CO).....	8
Диоксид серы (SO ₂)	11
Формальдегид (НСНО).....	11
Твердые частицы (ТЧ _{2.5} и ТЧ ₁₀).....	12
Данные и методология	14
Сентинел-5Р	14
Маркеры качества и частота наблюдений.....	14
Служба мониторинга атмосферы Коперника (CAMS)	15
Результаты.....	16
Диоксид азота	16
Окись углерода	19
Диоксид серы	21
Формальдегид.....	23
Твердые частицы ТЧ _{2.5}	24
Твердые частицы ТЧ ₁₀	26
Рекомендации	28
Приложение.....	30
Приложение 1. Средние концентрации по регионам	30
Приложение 2: Фото.....	30

АББРЕВИАТУРЫ И АКРОНИМЫ

ADS - Atmosphere Data Store (хранилище исследуемых данных состояния атмосферы)

API - application programming interface интерфейс прикладного программирования

ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

(Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды)

CAMS - Copernicus Atmosphere Monitoring Service

Служба мониторинга атмосферы Коперника

CH₄ - метан

CO - окись углерода

CO₂ - двуокись углерода

EEA - European Environment Agency (Европейское агентство по окружающей среде)

ЕС - Европейский Союз

ГИС - геоинформационная система

HCHO - формальдегид

НМЛОС - неметановые летучие органические соединения

NO₂ - диоксид азота

O₃ - озон

ТЧ- твердые частицы

ТЧ_{2,5} - твердые частицы диаметром 2,5 мкм или менее

ТЧ₁₀ - твердые частицы диаметром 10 мкм или менее

SP₅ - спутниковая система Sentinel 5P

SH - Sentinel Hub (система, которая обрабатывает спутниковые данные и делает их более доступными для просмотра или анализа в ГИС)

SO₂ - диоксид серы

ТРОПОМИ - Инструмент мониторинга тропосферы, который находится на спутнике Sentinel-5 Precursor

ООН - Организация Объединенных Наций

РКИК ООН - Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата

ВОЗ - Всемирная организация здравоохранения

Ключевые результаты

Загрязнение воздуха представляет серьезную угрозу здоровью человека. Ежегодно около **7 миллионов человек во всем мире умирают из-за загрязняющих воздух веществ.**

Согласно нашему анализу как спутниковых данных, так и смоделированных источников, показатели **концентрации исследуемых нами загрязняющих веществ на территории Беларуси в целом низкие**. Однако, низкое среднее значение в регионах не означает, что нет локальных горячих точек (где уровни загрязнения могут быть значительно выше). Более того, отличные от изученных нами загрязнители могут иметь серьезное влияние на здоровье человека. Такое загрязнение могут выявить только точечные локальные измерения.

С точки зрения экологии в городах, следует сосредоточить внимание на четырех основных районах: Брестском, Гомельском, Гродненском и Минском, в которых общая концентрация загрязняющих веществ выше, чем в других частях страны. Обычно здесь низкие уровни SO_2 и формальдегида. Точку с повышенным уровнем загрязнения формальдегидом можно наблюдать на

севере Беларуси над городом Новополоцк, где расположен крупный нефтеперерабатывающий завод.

Значительное загрязнение диоксидом азота (NO_2) и твердыми частицами (ТЧ), происходящее из Польши, можно обнаружить и на юго-западе Беларуси, особенно в зимние месяцы. Загрязняющие вещества распространяются по воздуху, в том числе через границы стран.

Количество ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀ уменьшается с юго-запада на северо-восток Беларуси. **Гродно - единственный город, где концентрация ТЧ_{2,5} превышает нормативный уровень, указанный ВОЗ.** Ни в одном другом городе или регионе нормативный уровень ТЧ₁₀ не превышает.

Политика в поддержку улучшения качества воздуха должна быть сосредоточена на четырех основных аспектах: улучшение мониторинга качества воздуха, содействие в составлении кадастров и планов выбросов загрязняющих веществ, внедрение инноваций в практику управления в ключевых секторах и вовлечение общественности в этот процесс.

Введение

В связи с быстрым ростом населения планеты и высоким потребительским спросом обостряется проблема загрязнения воздуха¹. Среди наиболее частых причин ухудшения качества окружающей среды - урбанизация, производство энергии, тяжелая промышленность (например, выплавка чугуна и стали, цементные печи, коксование, сжигание отходов или химическое производство), транспорт и моторизация. Кроме того, рост численности населения и подверженность воздействию загрязнителей воздуха отрицательно сказываются и на здоровье человека. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определила загрязнение воздуха как самую большую связанную с состоянием окружающей среды угрозу здоровью.

« 7 миллионов человек умирают каждый год из-за воздействия загрязненного воздуха. Источник: ВОЗ

Загрязнение воздуха представляет собой одну из самых серьезных угроз для здоровья людей во всем мире наряду с изменением климата. По оценкам ВОЗ, около 7 миллионов человек умирают каждый год из-за загрязненного воздуха, причем загрязнение атмосферного воздуха в городах и сельских районах вызывает около 4,2 миллиона преждевременных смертей ежегодно, в основном от болезней сердца, инсульта, хронической обструктивной болезни легких, рака легких и острых респираторных инфекций у детей.²

Крупнейшие загрязнители воздуха, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, - это твердые частицы (ТЧ), озон (O₃), диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂), монооксид углерода (CO) и диоксид углерода (CO₂). Из них самую большую

угрозу здоровью общества представляют ТЧ, O₃, NO₂ и SO₂. Более того, все более широко признается гипотеза о комбинированном воздействии на здоровье нескольких загрязнителей (синергетический токсический эффект).

По данным ВОЗ, Беларусь вошла в список стран с самым высоким ежегодным показателем смертности от загрязнения воздуха на 100 тыс. жителей. Общее количество смертей от загрязнения воздуха в Беларуси оценивается в 9 450 человек. Смертность может быть связана не только с качеством воздуха, на которое влияют исследуемые нами загрязняющие вещества (O₃, NO₂, SO₂, CO и твердые частицы). Неточности в подсчете могут быть связаны с чернобыльской катастрофой, которая на протяжении нескольких десятилетий влияет на экологию Беларуси.³

Целью данного исследования является оценка текущего уровня загрязнения воздуха в Беларуси. Концентрация вышеперечисленных шести загрязнителей в атмосфере была подсчитана с использованием данных европейской спутниковой миссии Sentinel-5P и ведущих европейских моделей, предоставленных Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF).

Диоксид азота(NO₂)

Диоксид азота (NO₂) является одним из распространенных газов, который в малых количествах присутствует как в тропосфере, так и в стратосфере. Но превысив норму, он становится главным загрязняющим веществом, производимым человеком. Согласно отчету Европейского агентства по окружающей среде о качестве воздуха⁴ за 2018 год, более 60% NO₂ в

1 <https://www.who.int/news-room/air-pollution>

2 <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>

3 <https://belarusdigest.com/story/environmental-protection-in-belarus-are-the-rankings-misleading/>

4 <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>

A1 Wagner H-M. Absorption von NO und NO₂ in MIK- und MAKKonzentrationen bei der Inhalation [Поглощение NO и NO₂ в микро и макро концентрациях при вдыхании]. Staub, Reinhaltung der Luft, 1970, 30:380-381.

A2 Berglund M. et al. Оценка риска оксидов азота для здоровья. Разоблачение. Скандинавский журнал труда, окружающей среды и здоровья, 1993, 19(Suppl. 2):14-20.

европейских городах выделяется с выхлопными газами. Также источниками NO_2 являются нефтеперерабатывающая и металлообрабатывающая промышленность, производство электроэнергии (в особенности угольными электростанциями), другие отрасли обрабатывающей промышленности и пищевая промышленность. Естественными источниками газа являются микробиологические процессы в почве, лесные пожары и молнии. При вдохе диоксида азота, в кровь проникает до 90% вещества.^{A1} Это загрязняющее вещество влияет на метаболизм клеток в легких, вызывает воспаление и отек тканей, повышает уязвимость дыхательной системы к бактериальным и вирусным заболеваниям, а также множеству инфекций.^{A2} По данным ВОЗ⁵, повышенный уровень диоксида азота может привести к респираторным инфекциям и ухудшению функции легких, а также обострению симптомов бронхита и астмы. Больные астмой - самая уязвимая группа. Воздействие даже малых концентраций диоксида азота вызывает у пациентов с астмой и хроническим бронхитом усиление симптомов и повышенную реакцию дыхательных путей.^{A3} Взаимодействие NO_2 с водой и другими химическими веществами в атмосфере приводит к образованию кислотных дождей, тем самым вызывая изменения в лесных и водных экосистемах. Высокое содержание диоксида азота в воздухе также тесно связано с глобальным изменением климата и фотохимическим смогом.^{A4}

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ NO_2 ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ:

- автомобильные выхлопы
- угольные электростанции
- переработка нефти и металлов
- производство стали и чугуна

Окись углерода(CO)

Окись углерода (CO) - это ядовитый газ без цвета, вкуса и запаха. CO обычно считается одним из важных составляющих парниковых газов, поскольку он усиливает воздействие таких парниковых газов как метан, галоидоуглерод и тро-

посферный озон. Это продукт неполного сгорания, выделяющийся во время эксплуатации транспортных средств, отопления, выработки угля, коксохимической и сталелитейной промышленности, а также при сжигании биомассы. Примерно 40% CO поступает из природных источников, таких как извержение вулканов, выбросы природного газа, распад растительности и животных и лесные пожары. Источником 60% CO в атмосфере являются автомобильные выхлопы, сжигание мусора, табачный дым и сжигание древесного угля.⁶ В экваториальных регионах наибольшее влияние на производство CO оказывают окисление изопрена и сжигание биомассы, в то время как в более высоких широтах основным источником является сжигание ископаемого топлива. Существует четкая причинно-следственная связь между частотой заболевания человека и влиянием высокой концентрации окиси углерода в воздухе.^{A5} CO оказывает токсическое воздействие на органы человека, которые наиболее всего нуждаются в кислороде - мозг, сердце и развивающийся плод. Доказано, что окись углерода напрямую воздействует на здоровье женщины во время беременности и развитие врожденных пороков сердца у младенцев. Высокие концентрации окиси углерода усиливают комбинированное действие других загрязнителей (O_3 , SO_2 , TC , NO_2) и повышают риск разного рода респираторных заболеваний.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ CO , ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ:

- потребление ископаемого топлива
- сжигание отходов
- пожары, сжигание биомассы

«*Имеется значительное количество данных о воздействии окиси углерода на человека. Наиболее подвержены воздействию такие органы и ткани как мозг, сердечно-сосудистая система, скелетные мышцы и развивающийся плод*»⁷ Источник: ВОЗ

A3 Devalia JL et al. Влияние диоксида азота и диоксида серы на реакцию дыхательных путей пациентов с легкой астмой на вдыхание аллергенов. Ланцет, 1994, 344:1668-1671.

A4 Критерии качества воздуха по оксидам азота. Парк Исследований Треугольника, Северная Каролина, Агентство по охране окружающей среды США, 1993 (EPA Report No. EPA/600/8-91/049aF-cF. 3v)

5 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/123083/AQG2ndEd_7_1nitrogendioxide.pdf?ua=1

6 Справочник по токсикологии боевых отравляющих веществ. Academic Press, апрель 2, 2009. eBook ISBN: 9780080922737

7 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/123059/AQG2ndEd_5_carbonmonoxide.PDF

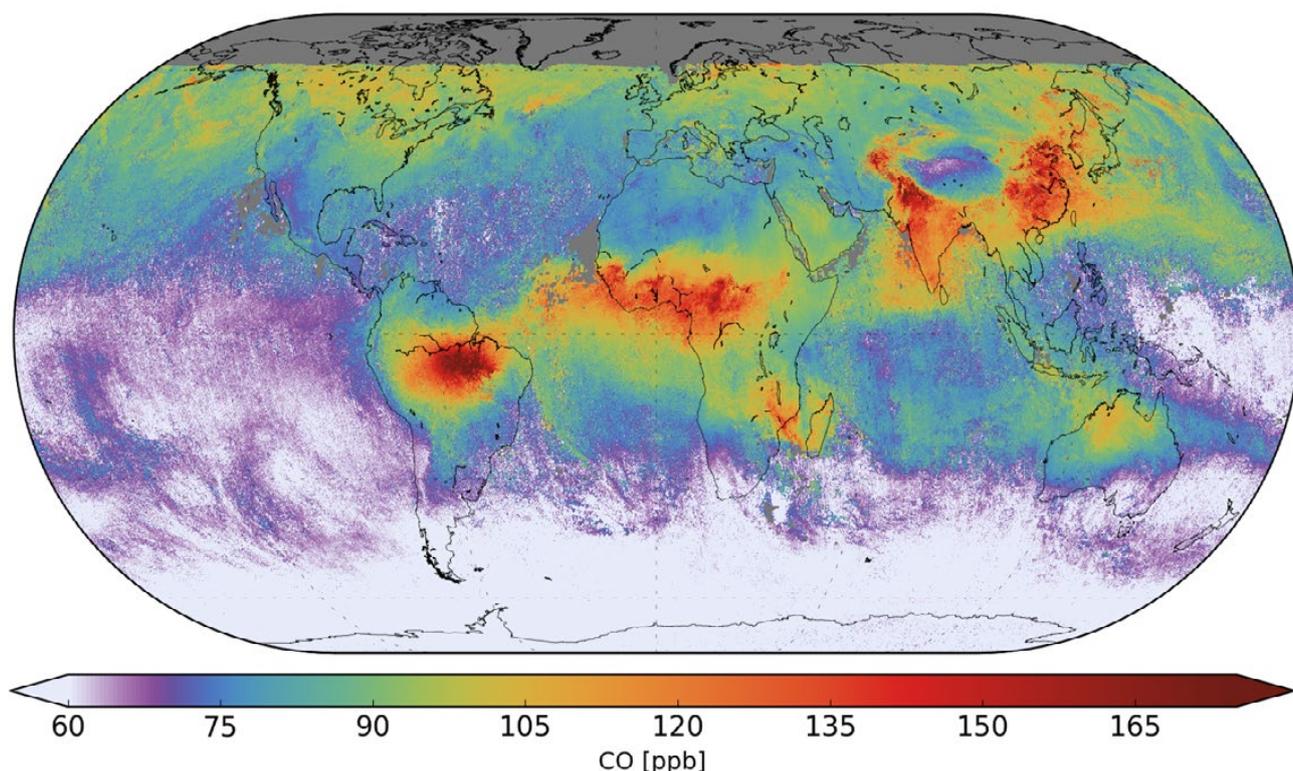


Рис.1: Глобальная средняя концентрация общего коэффициента вещества CO, созданная с помощью данных, полученных TROPOMI L2 (13-19 ноября 2017 г.). Данные ясно показывают увеличение содержания CO в результате лесных пожаров в Бразилии, Африке, Мадагаскаре и Австралии, а также антропогенное загрязнение воздуха в Индии и Китае.

В то время как зимой CO накапливается в атмосфере, весной он быстро истощается в результате естественных реакций. Таким образом, в северном полушарии концентрации CO обычно самые низкие в июне, июле и августе.⁸

Диоксид серы (SO₂)

Диоксидсеры (SO₂) в умеренных количествах содержится как в стратосфере, где вещество может существовать в течение нескольких недель, так и в тропосфере, где его продолжительность жизни составляет всего несколько дней. **Около 30% выбросов SO₂ поступает из природных источников, таких как вулканы. Антропогенные источники включают в себя угольные электростанции, промышленные процессы и другие виды деятельности по сжиганию ископаемого топлива.** По данным ВОЗ,⁹ «SO₂ может влиять на дыхательную систему и функционирование легких, а также вызывать раздражение глаз.

Воспаление дыхательных путей вызывает кашель, выделение слизи, обострение астмы и хронического бронхита и повышает риск попадания инфекции в дыхательные пути. Количество госпитализаций пациентов с заболеваниями сердца и смертность увеличиваются в дни с более высоким уровнем SO₂». При взаимодействии SO₂ с водой образуется сернистая и серная кислоты, которые являются основными компонентами кислотных дождей. Способность спутника S5P различать антропогенные выбросы диоксида серы от естественных ограничена. Таким образом, данными следует пользоваться с осторожностью.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ SO₂ ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ:

- угольные электростанции
- промышленные процессы
- отопление

8 <https://sos.noaa.gov/datasets/carbon-monoxide-2008-2011/>

9 [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

A6 Формальдегид, 2-бутоксизтанол и 1-трет-бутоксипропан-2-ол. Лион: Международное агентство по изучению рака; 2006. Формальдегид; С. 39–325. (Монографии МАИР по оценке канцерогенного риска химических веществ для человека, том 88)

A7 https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicada_40.pdf

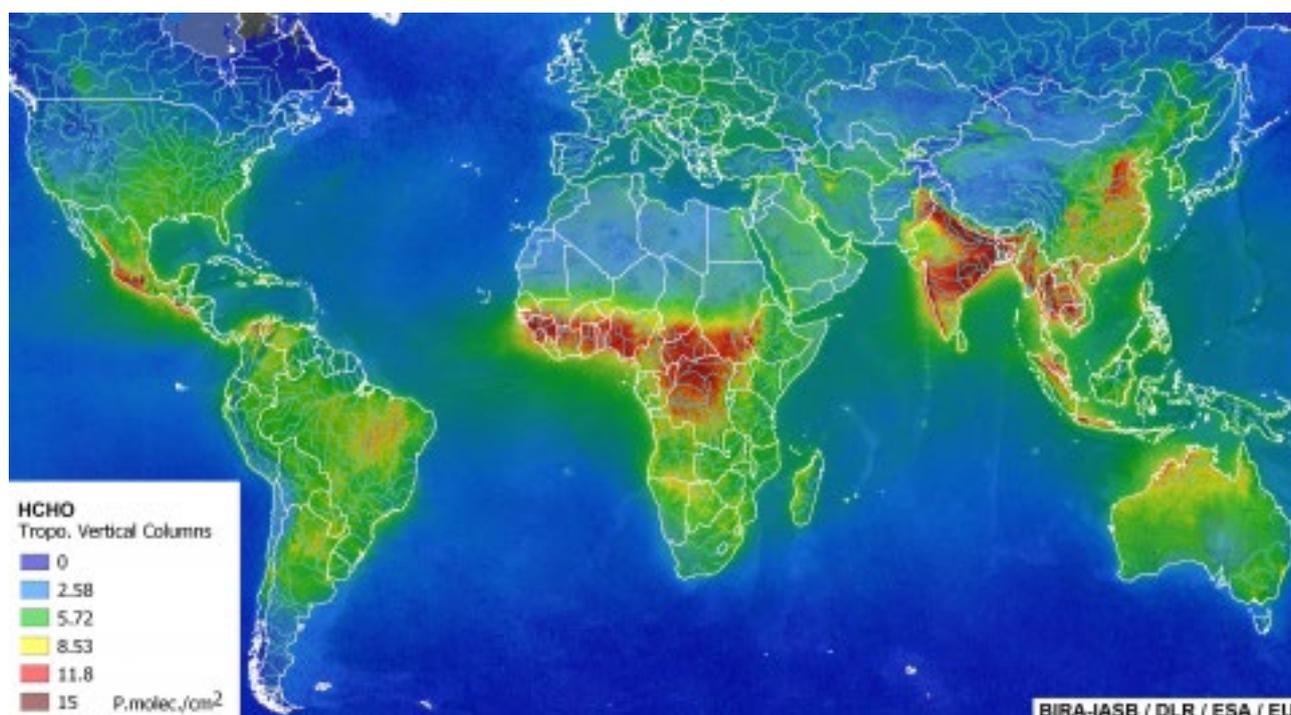


Рис.2: Глобальные концентрации HCHO, смоделировано с помощью данных TROPOMI L2 (ноябрь 2017 г. - июнь 2018 г.) <http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde>

Формальдегид (НСНО)

Формальдегид (НСНО) - это бесцветный, легковоспламеняющийся газ с резким запахом. Он является канцерогеном и, как таковой, представляет значительную угрозу для здоровья человека^{A6} НСНО является промежуточным газом почти во всех цепях окисления неметановых летучих органических соединений (НМЛОС); его химическая цепь состоит из различных летучих органических соединений. Поскольку это вещество может существовать в атмосфере всего несколько часов, мониторинг концентрации вещества позволяет относительно точно определить местонахождение его источников.^{A7} Основным источником на более высоких слоях атмосферы является окисление CH_4 . На континентах естественными источниками НСНО являются некоторые виды растений (естественно, самые высокие концентрации наблюдаются в тропических лесах из-за большого количества биогенных выбросов) и лесные пожары. «Это зависит от региона, но 50-80% сигналов [полученных спутником SP5] об образовании точки с высоким уровнем загрязнения имеет биогенное происхождение».¹⁰ Антропогенными источника-

ми НСНО являются **транспорт, промышленные процессы и нефтехимические промышленные источники** (производство удобрений, бумаги, фанеры, древесностружечных плит и многих других потребительских товаров). Сезонные колебания в распределении формальдегида в основном связаны с изменениями температуры, пожарами и изменениями в антропогенной деятельности.¹¹

«**Самые высокие концентрации (формальдегида) в окружающей среде наблюдаются вблизи антропогенных источников загрязнения; они вызывают наибольшую проблему с точки зрения воздействия на человека и другие биологические виды**». Источник: ВОЗ¹²

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ НСНО, ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ:

- нефтехимические промышленные источники
- промышленные процессы
- отопление

10 <https://www.bbc.com/news/science-environment-44550091>

11 <http://www.tropomi.eu/data-products/formaldehyde>

12 <https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad40.pdf>

Твердые частицы (ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀)

Твердые частицы или атмосферные аэрозоли - это твердые или жидкие мельчайшие частицы, находящиеся в воздухе или газе в взвешенном состоянии и способные свободно перемещаться в атмосфере. Их классифицируют по размеру, а не по химическим свойствам. В зависимости от размера твердые частицы часто делятся на две основные группы: крупная фракция содержит большие по размеру частицы от 2,5 до 10 мкм (ТЧ_{2,5} - ТЧ₁₀), а мелкая фракция содержит частицы с меньшим размером, до 2,5 мкм (ТЧ_{2,5}). В основном частицы образуются в результате механических процессов, таких как **строительные работы**, поднятие **дорожной пыли**, возникающего в основном из-за источников горения, таких как **домашнее отопление и транспорт, ветра**. Другие, не менее серьезные источники тяжелых частиц - **промышленные работы и электростанции**. ТЧ выбрасываются в атмосферу естественным образом во время вулканической активности, пожаров, эрозии почвы и из морской воды.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ, ВЫРАБАТЫВАЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ:

- строительная деятельность
- транспорт
- домашнее отопление
- промышленные процессы
- электростанции

« Длительное воздействие ТЧ_{2,5} связано с увеличением риска смертности от сердечно-легочных заболеваний на 6–13% на каждые 10 мкг / м³ ТЧ_{2,5}». ¹³ Источник: ВОЗ

Концентрация твердых частиц оказывает прямое негативное влияние на здоровье человека. ^{A8 A9} Воздействие зависит от размера, химического состава и формы, но в целом затрагивает дыхательную и сердечно-сосудистую системы. Твердые частицы обладают токсическим и генотоксическим действием, которые повышают риски заболевания раком, ^{A10} влияют на структуру и целостность эндотелиальных клеток, увеличивают вероятность тромбоза сосудов, ^{A11} а также свертываемость крови и риск инсульта, инфаркта миокарда, ^{A12} и атеросклероза. ^{A13}

ТЧ могут действовать как катализаторы химических реакций. ^{A14} Таким образом, токсическое действие ТЧ усиливается за счет содержания в воздухе других загрязняющих веществ. Все эти особенности не позволяют однозначно определить «безопасную» концентрацию ТЧ в воздухе. Вот почему эксперты ВОЗ рекомендуют значения, которые представляют минимальный риск для здоровья населения.

ВОЗ рекомендует среднегодовые значения концентраций твердых частиц в воздухе, которые могут служить руководством по снижению воздействия загрязнения воздуха на здоровье. В случае мелких частиц ТЧ_{2,5}, ориентировочные значения составляют **10 мкг / м³**, а для крупных твердых частиц - (ТЧ₁₀) - значение составляет **20 мкг / м³**. Однако, согласно ВОЗ, рекомендуется использовать среднее значение как для ТЧ_{2,5}, так и для ТЧ₁₀. ¹⁴ Кратковременный уровень загрязнения не должен превышать в среднем 25 мкг / м³ (ТЧ_{2,5}) и 50 мкг / м³ (ТЧ₁₀) за 24 часа. ¹⁵ По данным ВОЗ, «длительное воздействие ТЧ_{2,5} связано с увеличением долгосрочного риска смертности из-за сердечно-легочных заболеваний на 6–13% на каждые 10 мкг / м³ ТЧ_{2,5}». ¹⁶ Данные и методология

13 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

14 https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?sequence=1

15 [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

16 https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

A8 Рекомендации по качеству воздуха. Глобальные обновления 2005 г. Твердые частицы, озон, диоксид азота и диоксид серы. ВОЗ, 2005 г.

A9 Комплексная научная оценка твердых частиц. Декабрь 2009 г. EPA / 600 / R-08 / 139F.

A10 Карлссон Х.Л., Нигрен Дж., Моллер Л. Генотоксичность переносимых по воздуху твердых частиц: роль взаимодействия между клетками и частицами, а также веществ с аддукты образующей и окислительной способностью. Исследование мутаций, 2004, 565: 1–10

A11 Гилмор П.С. и др. Прокоагулянтный потенциал частиц окружающей среды (ТЧ₁₀). Охрана труда и окружающей среды, 2005, 62: 164–171.

A12 Peters A et al. Повышенное загрязнение воздуха частицами и провоцирование инфаркта миокарда. Тираж 2001 г., 103: 2810–2815.

A13 Кунзли Н. Загрязнение атмосферного воздуха и атеросклероз в Лос-Анджелесе. Перспективы гигиены окружающей среды, 2005 г., 113: 201–206

A14 Браун Дж. С., Земан К. Л., Беннетт В. Д.. Осаждение и удаление ультратонких частиц в здоровом и поврежденном легком. Американский журнал респираторной медицины и реанимации, 2002, 166: 1240–1247.

Данные и методология

Sentinel-5P

Миссия Sentinel-5P (S5P) - это спутник, предназначенный для мониторинга атмосферы, запущенный в октябре 2017 года в рамках программы EU Copernicus. Он оснащен спектрометром TROPOMI (инструмент для мониторинга атмосферы), который охватывает диапазоны длин волн между ультрафиолетом и коротковолновым инфракрасным излучением. S5P собирает данные о газах, таких как NO_2 , озон, формальдегид, SO_2 , метан, окись углерода и аэрозоли. Замеры делаются ежедневно с пространственным разрешением около 5,5 км x 3,5 км (от 7 км до 5,5 км до августа 2019 г.).

Спутниковые данные с Sentinel-5P поступают через Sentinel Hub (SH), управляемый Sinergise. Sentinel Hub поддерживает данные 2-го уровня (L2) Sentinel-5P, т.е. предварительно обработанные данные с определенным географическим положением со значением «qa_value». «Qa_value» означает «значение контроля качества» и указывает состояние и качество каждого пикселя земли. Это непрерывная переменная в диапазоне от 0 (ошибка) до 1 (без ошибок). Для большинства продуктов Sentinel-5P пиксели со значениями ниже 0,5 отсеиваются (для продуктов с NO_2 - ниже 0,75). «Qa_value» является важным параметром, который снижает охват интересующих областей данными S5P, что принимается к сведению предлагаемой методологией. Продукты NO_2 , SO_2 , HCHO и CO (с мая 2018 г. по апрель 2020 г.) получают через SH.

«*Распределение загрязнения воздуха, измеренного со спутников, учитывает не только антропогенные источники; также учитываются данные выбросов природных процессов.*»

Спутниковые данные S5P в основном измеряются и предоставляются в единицах моль / м². Продукт

NO_2 дает общий атмосферный столб NO_2 между поверхностью и верхней частью тропосферы¹⁷ (тропосферный столб). Наблюдения TROPOMI чистого неба с CO позволяют получить итоговый столб CO с чувствительностью к тропосферному пограничному слою¹⁸. Наблюдения за HCHO и SO_2 позволяют узнать общий атмосферный столб между поверхностью земли и тропопаузой.¹⁹ Из-за нескольких выявленных ошибок спутниковых изображений для наблюдений SO_2 вместо средних значений концентрации использовались медианные.

При использовании спутниковых данных S5P важно учитывать разницу в способах измерения значений. Предельно допустимые для здоровья значения обычно указываются в единицах, используемых наземными измерительными приборами. Поэтому преобразование значений из спутниковых изображений (моль / м²) в наземные единицы (мкг / м³) не рекомендуется.²⁰

Маркеры качества и частота наблюдений

Важно учитывать, что качество доступных спутнику пикселей сильно зависит от погодных условий, ошибок датчиков и других параметров, включая облачность. Все это обычно определяется как «qa_value». Периодичность сбора данных S5P для Европы (включая территорию Беларуси) - более одного раза в день. На более высоких широтах сканирование перекрывается из-за околополярной солнечно-синхронной орбиты спутника. Таким образом, обработанные данные включают все доступные спутниковые измерения. Использование всех доступных данных означает объединение данных с нескольких спутниковых орбит с различными размерами сетки и ориентировками. Чтобы решить эту проблему, все спутниковые наблюдения S5P были уменьшены в размере, чтобы получить через SH регулярную сетку с разрешением

17 <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Nitrogen-Dioxide-Level-2-Product-Readme-File>

18 <http://www.tropomi.eu/data-products/carbon-monoxide>

19 <https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Formaldehyde-Readme.pdf>

20 https://www.researchgate.net/post/How_can_I_convert_the_unit_from_molecules_cm2_to_ppm

1 км x 1 км. Данные были автоматически предварительно обработаны и загружены в облачное пространство с помощью наших запатентованных скриптов Python с использованием SH. Заключительные этапы обработки были выполнены на настольной ГИС, с целью получать **ежемесячные и выбранные средние сезонные** значения на пиксель по всей области. Сезон был определен как трехмесячный период зимой (декабрь-февраль) и летом (июнь-август), чтобы упростить изменения в качестве воздуха, вызванные погодными условиями. Для каждого отдельного загрязняющего вещества **также обрабатывается общее среднее значение на пиксель за весь учетный период.**

Служба мониторинга атмосферы Коперника (CAMS)

Поскольку Sentinel-5P не обеспечивает мониторинг концентраций твердых частиц ($ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$), их получают через Службу мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS). CAMS, часть программы Copernicus, реализуемой Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF)²¹, предоставляет глобальную информацию, прошедшую контроль качества, которая касается загрязнения воздуха, солнечной энергии, парниковых газов и внешнего воздействия на климат.

В Европе CAMS производит ежедневные анализы и прогнозы качества воздуха с пространственным разрешением 0.10.1 градуса (примерно 1010 км). В производстве используются девять европейских систем прогнозирования качества воздуха с использованием согласования медианного значения по отдельным выходным данным.²² Кроме того, анализ объединяет модельные данные с реальными наземными наблюдениями, предоставленными Европейским агентством по окружающей среде (ЕАОС), в полный и последовательный набор

данных с использованием различных методов ассимиляции данных. Параллельно с этим один раз в день составляются прогнозы качества воздуха на следующие четыре дня. И анализ, и прогноз доступны с почасовыми временными шагами на восьми уровнях высоты: на уровне поверхности, 50 м, 250 м, 500 м, 1000 м, 2000 м, 3000 м и 5000 м.

Для целей настоящего анализа концентрации $ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$ на приземном уровне были получены через **хранилище данных об атмосфере (ADS)** - децентрализованную систему данных и информации, которая обеспечивает доступ ко всем наборам данных CAMS через унифицированный веб-интерфейс и интерфейсы API. Чтобы время наблюдений соответствовало значениям, отслеживаемым спутником S5P, использовались суточные концентрации, смоделированные для 13:00 универсального координированного времени. Поскольку база данных CAMS, предлагаемая через ADS, хранит данные за последние три года (так называемый подвижный архив), наш анализ концентраций $ТЧ_{2,5}$ и $ТЧ_{10}$ охватывает период с 15 июля 2017 года по 14 июля 2020 года.

Более того, чтобы сравнить результаты из двух независимых источников, мы используем смоделированные поверхностные значения концентраций SO_2 , предоставленные службой CAMS, вместе со значениями, измеренными спутником Sentinel-5P. Для этих загрязнителей использовался тот же период наблюдения, что и в случае мониторинга Sentinel-5P, то есть с 1 января 2018 г. по 30 апреля 2020 г.

« CAMS, часть программы Copernicus, предоставляет глобальную информацию по контролю качества и уровню загрязнения воздуха.

21 <https://www.ecmwf.int/>

22 https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2020-01/ENSEMBLE_Fact_Sheet_2020.pdf

Полученные результаты

Диоксид азота

Согласно нашему анализу, средняя концентрация NO_2 по Беларуси относительно низкая, $0,24 * 10^{-4}$ моль / м^2 . В целом, самые низкие концентрации NO_2 находятся на севере Беларуси. В нескольких горячих точках показатели значительно выше, в том числе в городской зоне столицы, Минска, где показатели NO_2 превышают $0,50 * 10^{-4}$ моль / м^2 (более чем в два раза выше, чем в среднем по стране). Воздух в важных промышленных городах, таких как Гродно, Брест и Гомель (как видно на Рисунке 3), также загрязнен выше среднего (более $0,3 * 10^{-4}$ моль / м^2).

Показатели NO_2 достигли наивысшего уровня в конце осени 2019 года и в зимний сезон 2020 года (Рисунок 4), а самые низкие концентрации наблюдались в летние месяцы (2018, 2019). Концентрация диоксида азота в различных областях обычно менее изменчива в летний сезон. Однако зимой можно наблюдать значительные различия между областями. Уменьшение в январе 2019 года связано с более низкой плотностью пикселей в этом месяце по всей Беларуси.²³

«*Уровень загрязнения NO_2 в столице страны Минске более чем в два раза превышает средний показатель по стране.*

Перенос загрязнения NO_2 в Беларусь из-за границы происходит в основном в зимние месяцы. Как видно на Рисунке 6, наблюдается значительное увеличение концентраций на границе с Польшей. Поскольку на территории Польши рядом с границей нет крупных городов, можно предположить, что источником загрязнения может быть большой Люблинский угольный бассейн, который расположен на востоке Польши, недалеко от границы с Беларусью и

Украиной. Угольная шахта Богданка (расположенная в бассейне) является одним из ведущих производителей угля в Польше, и ее воздействие на загрязнение и окружающую среду достаточно значительно.²⁴ Каменный уголь также используется для работы близлежащей электростанции Козенице, второй по величине тепловой электростанции в Польше.²⁵ Из-за изменчивости, пересеченной местности и преобладающих западных ветров²⁶ именно это может быть причиной увеличения концентраций в западной Беларуси в зимний период.

Брестская область, расположенная в непосредственной близости от угольного бассейна, в зимние месяцы достигла концентрации ($0,37 * 10^{-4}$ моль / м^2), что вдвое выше, чем за летний сезон ($0,18 * 10^{-4}$ моль / м^2).

При более детальном рассмотрении, самые высокие средние концентрации достигаются в районах, близких к границе с Польшей в направлении бассейна. Это районы Бреста ($0,49 * 10^{-4}$ моль / м^2), Каменца ($0,44 * 10^{-4}$ моль / м^2), Жабинки ($0,47 * 10^{-4}$ моль / м^2), Малориты ($0,44 * 10^{-4}$ моль / м^2) и Кобрин ($0,43 * 10^{-4}$ моль / м^2). Во всех этих районах летняя концентрация NO_2 составляет около $0,20 * 10^{-4}$ моль / м^2 (общая концентрация около $0,25 * 10^{-4}$ моль / м^2). Таким образом, зимой в этих районах наблюдается значительное ухудшение качества воздуха.

Ощутимый рост значений NO_2 на границе с Польшей наблюдается как в Беларуси, так и в Украине. Как было сказано выше, снижение концентраций в январе 2019 года произошло в результате более низкой плотности пикселей за месяц.

В целом, сезонность закономерна; низкие концентрации NO_2 по всей Беларуси наблюдаются летом,

23 Как правило, в зимние сезоны больше пикселей ниже предела «qa_value» 0,75 (которые позже отфильтровываются), в основном из-за плохих погодных условий.

24 <https://euracoal.eu/library/archive/poland/>

25 <https://www.power-technology.com/projects/kozienice-coal-fired-power-station-unit-11/>

26 <https://nerc.ukri.org/planetearth/stories/881/>

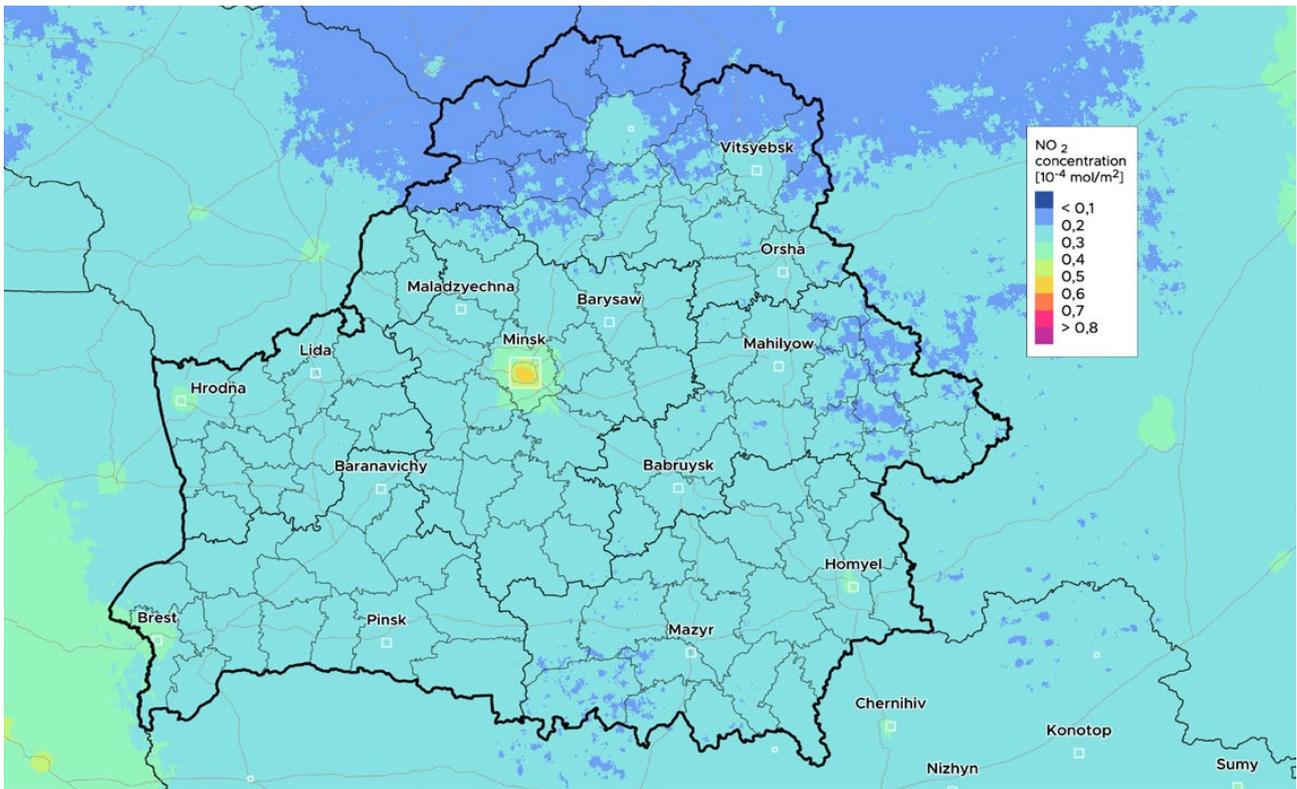


Рис. 3: Средние концентрации NO_2 в Беларуси в период с мая 2018 года по апрель 2020 года. Крупные города показаны в виде темно-красных квадратов, классифицированных по населению.

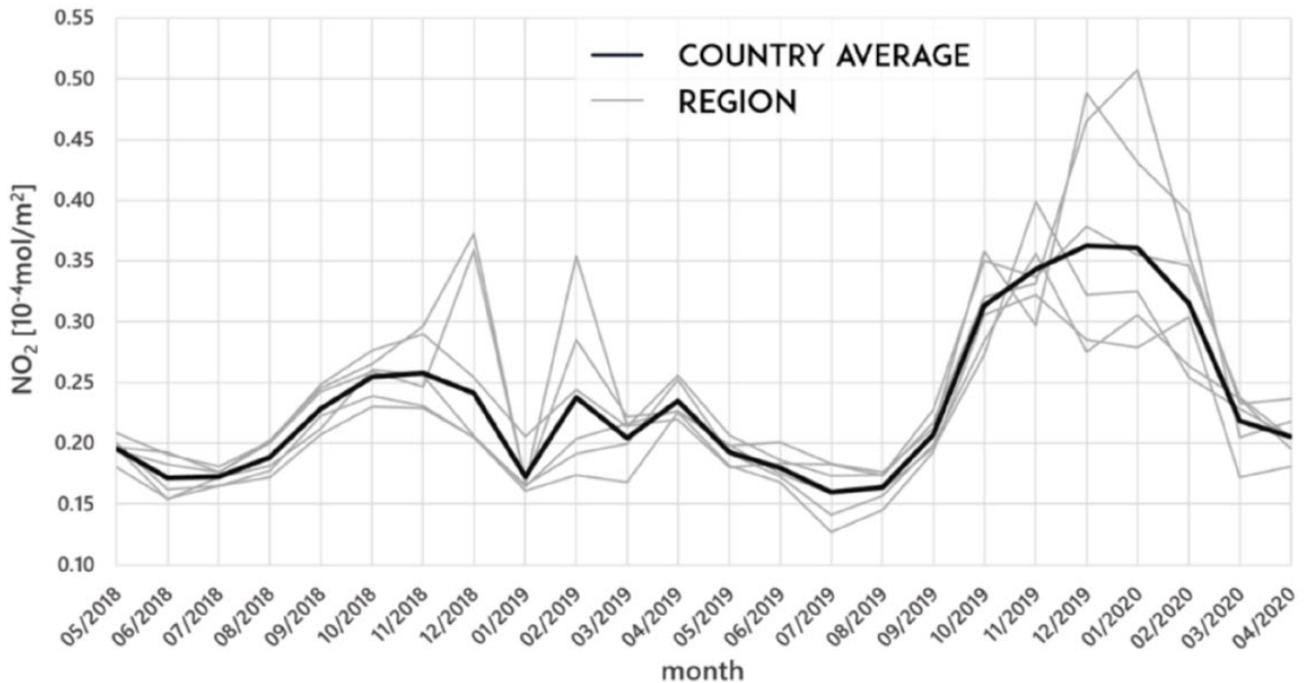


Рис. 4: Средние концентрации NO_2 в Беларуси в период с мая 2018 года по апрель 2020 года.

тогда как увеличение концентраций NO_2 наблюдается с запада на восток страны. В Минском городском округе средние концентрации за год самые высокие - $0,35 \cdot 10^{-4}$ моль / м^2 (летние месяцы - $0,26 \cdot 10^{-4}$ моль / м^2 , зимние месяцы - $0,42 \cdot 10^{-4}$ моль / м^2).

« Наблюдения подтверждают, что загрязняющие вещества NO_2 переносятся в зимние месяцы через границу по воздуху из Польши в Беларусь.

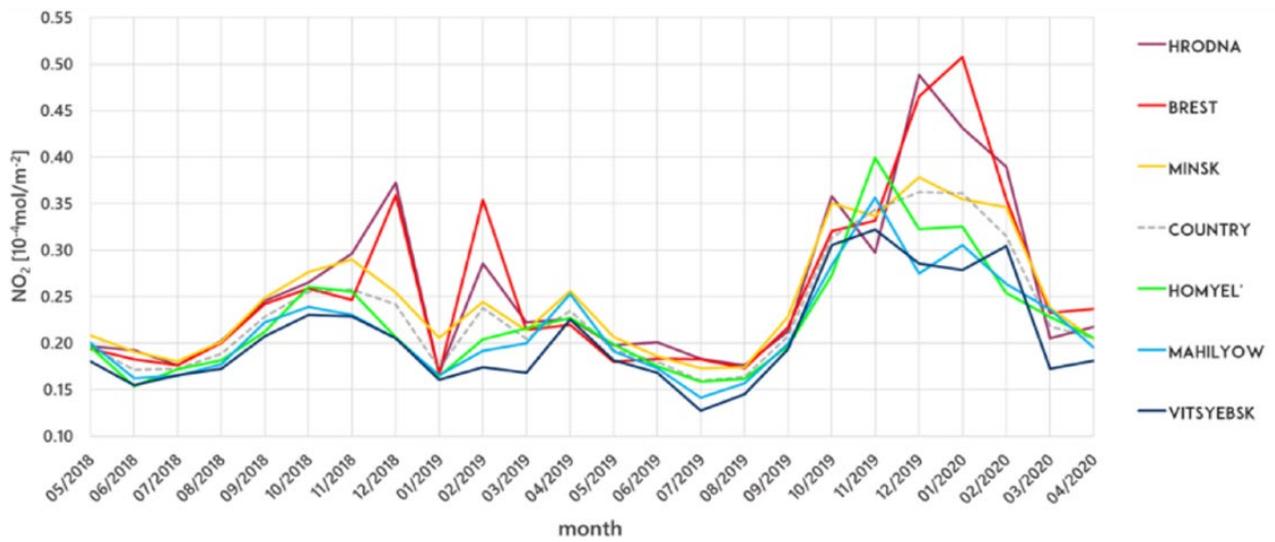


Рис.5: Динамика средних концентраций NO_2 в областях Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г.

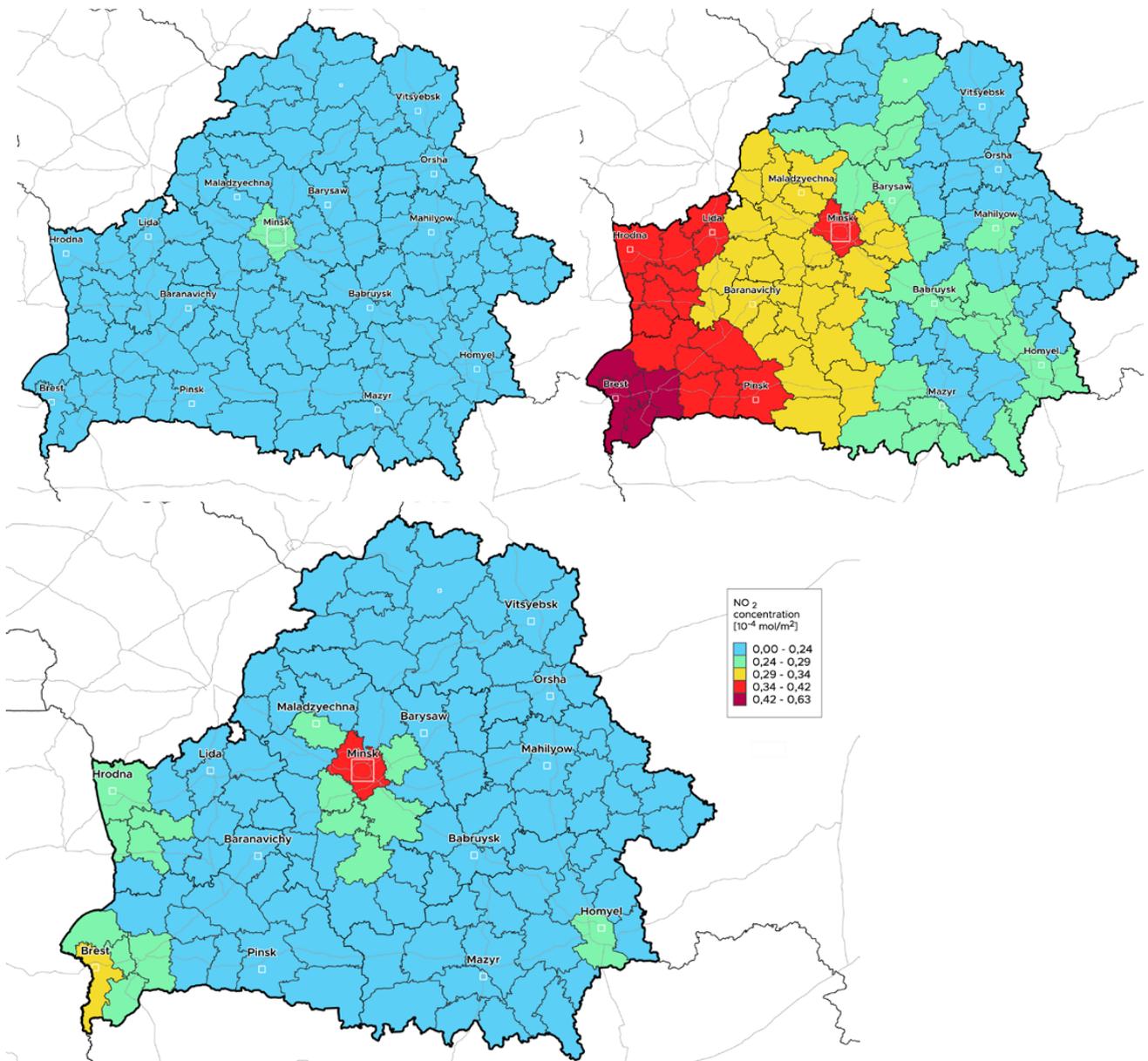


Рис. 6: Средние концентрации NO_2 в областях Беларуси; с мая 2018 г. по апрель 2020 г. (внизу), летний сезон (слева) и зимний сезон (справа)

Монооксид углерода

На расположенных ниже картах вы можете увидеть насколько высока концентрация окиси углерода над Беларусью. На Рисунке 7 показаны средние концентрации CO в Беларуси с мая 2018 года по апрель 2020 года, а на Рисунке 8 показана

высота данной местности. Несмотря на то, что в ландшафте Беларуси в основном преобладает равнинная местность, на этих двух изображениях можно заметить значительную отрицательную корреляцию между CO и высотой над уровнем моря. Таким образом, самая низкая концентрация CO

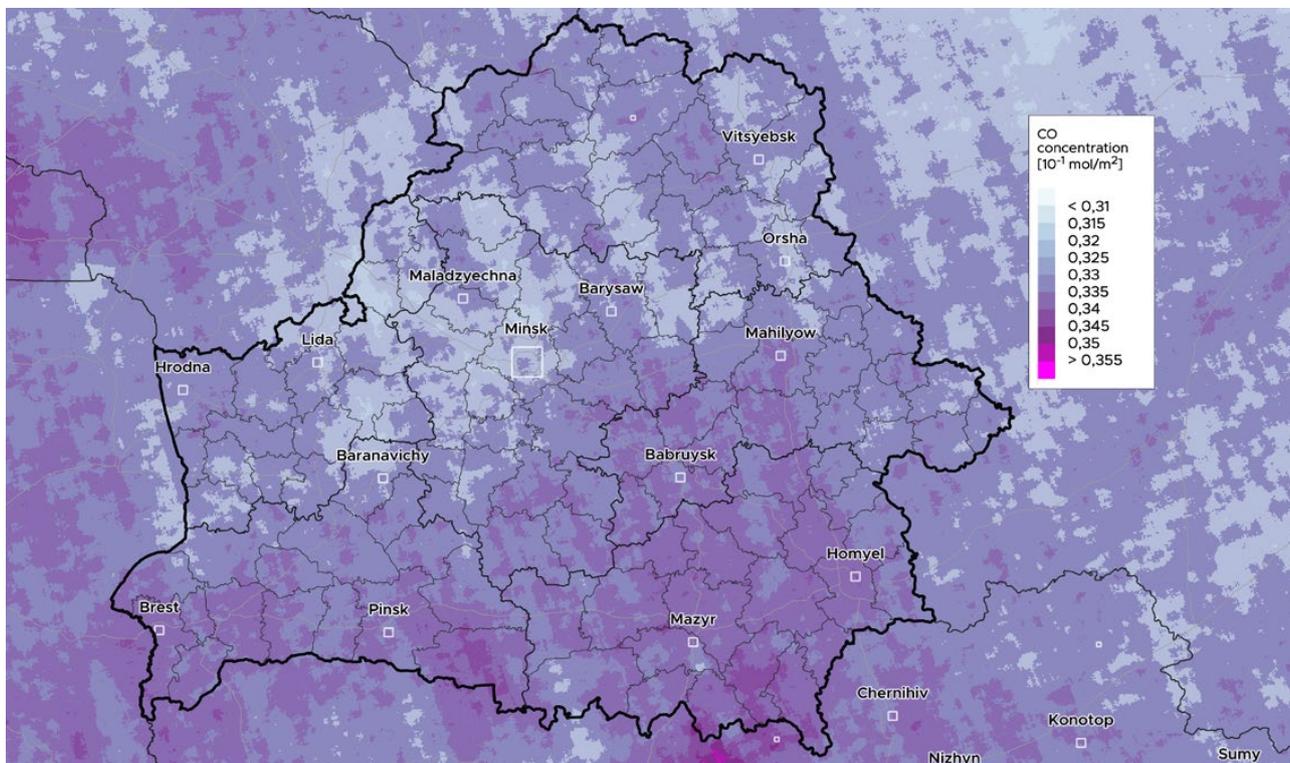


Рис. 7: Средние концентрации CO в Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г.

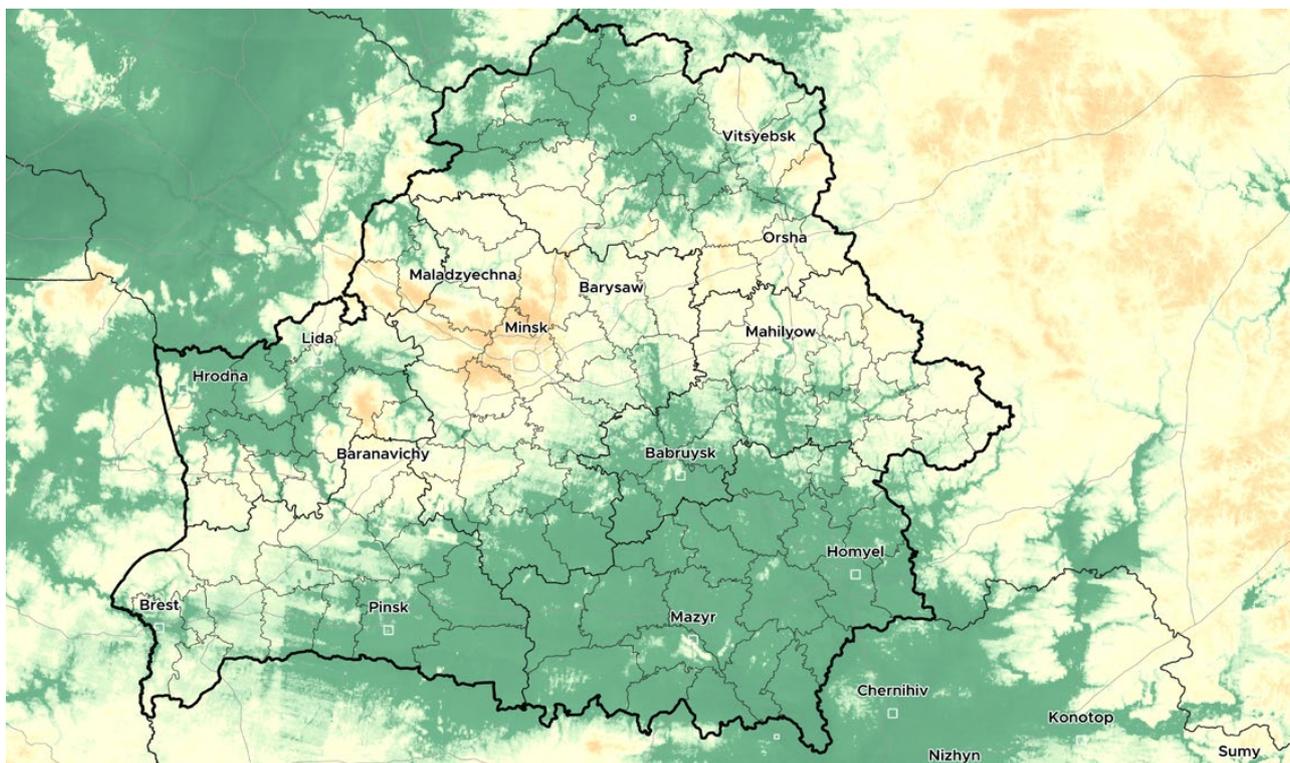


Рис. 8: Физическая карта Беларуси. Источник: SRTM DEM (<https://dds.cr.usgs.gov/srtm/>)

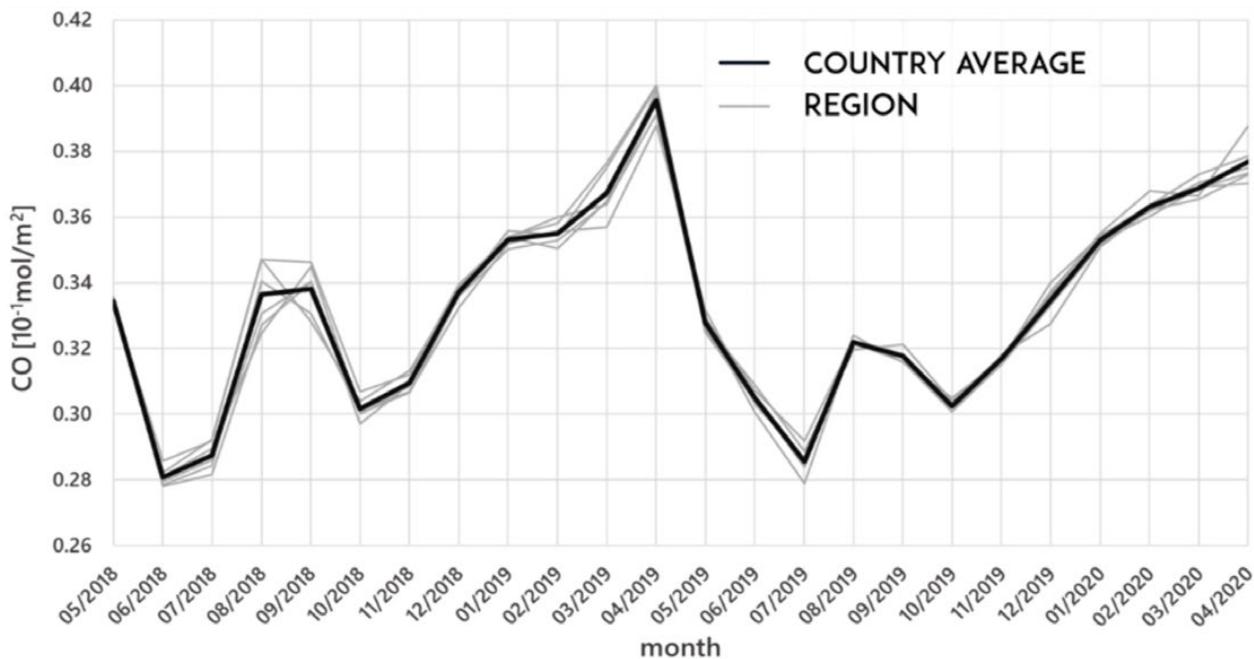


Рис.9: Среднемесячные концентрации CO в Беларуси и областях с мая 2018 года по апрель 2020 года.

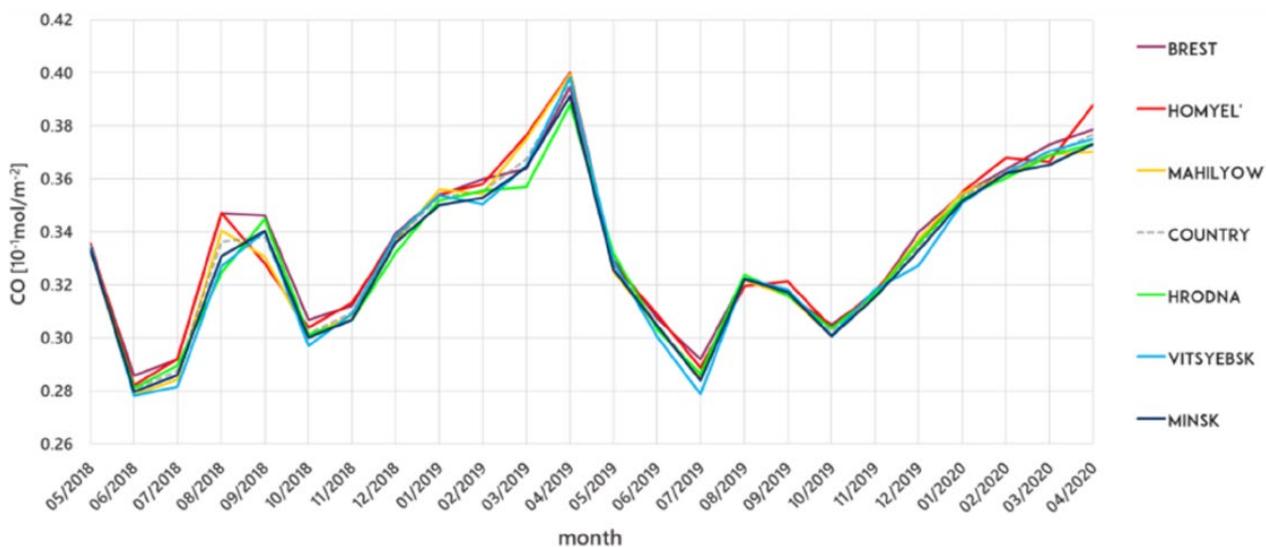


Рис. 10: Динамика средних концентраций CO в отдельных областях Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г. Области отсортированы по наивысшему и наименьшему значениям.

приходится на Белорусскую грядку, а самая высокая - на юг страны, где расположены низменности. Это в основном вызвано естественным круговоротом CO в воздухе. Средняя концентрация CO в Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г. составила $0,332 \cdot 10^{-1}$ моль / м³. Районами с наибольшими концентрациями CO были Брест ($0,335 \cdot 10^{-1}$ моль / м³) и Гомель ($0,335 \cdot 10^{-1}$ моль / м³). Но важно учитывать тот факт, что внутриобластная изменчивость между самыми низкими и самыми высокими концентрациями очень мала. Два района с наибольшими концентрациями - Хойники ($0,339 \cdot 10^{-1}$ моль / м³) и Наровля ($0,338 \cdot 10^{-1}$ моль / м³), оба расположены в Гомельской области. С другой стороны, самые низкие концентрации обнаружены

в районах Ошмян ($0,326 \cdot 10^{-1}$ моль / м³) и Новогрудка ($0,328 \cdot 10^{-1}$ моль / м³).

На Рисунке 9 показано среднее число изменений концентраций загрязняющего вещества в течение месяца. Значения повышаются зимой и ранней весной, достигая максимума в апреле, после чего следует резкое снижение. Самые низкие концентрации за оба года были достигнуты в июле. Эта тенденция повторяет общий годовой цикл концентраций CO в атмосфере Северного полушария. Кривая также подтверждает тот факт, что средняя концентрация по всем областям очень близка к средней по стране за весь период.

Диоксид серы

Средняя концентрация диоксида серы (SO_2) над Беларусью в период с мая 2018 года по апрель 2020 года достигла в целом низкого значения $0,469 \cdot 10^{-3}$ моль / м^2 . На территории Беларуси самые высокие концентрации загрязняющего

вещества находятся в Минской ($0,485 \cdot 10^{-3}$ моль / м^2), Витебской ($0,487 \cdot 10^{-3}$ моль / м^2) и Могилевской ($0,465 \cdot 10^{-3}$ моль / м^2) областях, как видно на Рисунке 11. Это частично соответствует значениям SO_2 , проанализированных на основе данных CAMS (Рисунок 12), которые показывают

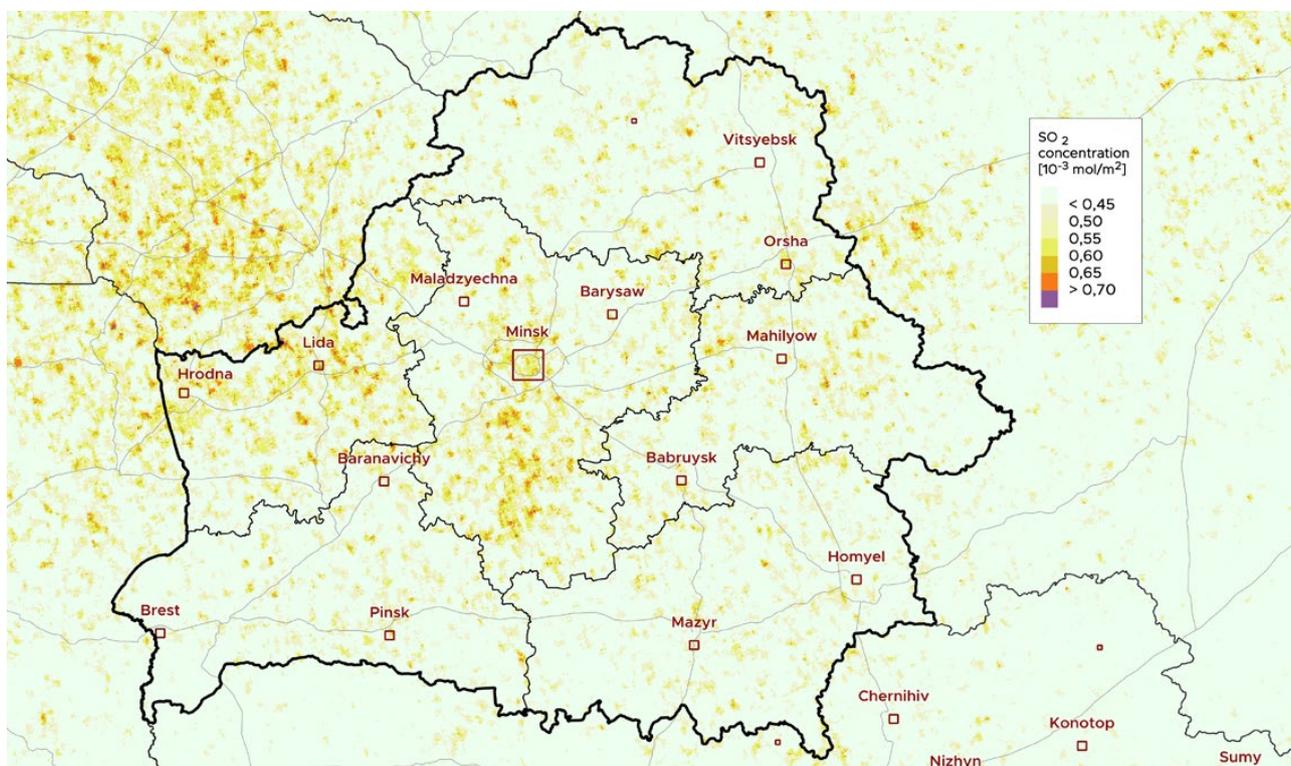


Рис.11: Медианные концентрации SO_2 в Беларуси в период с мая 2018 г. по апрель 2020 г., на основе данных Sentinel 5P.

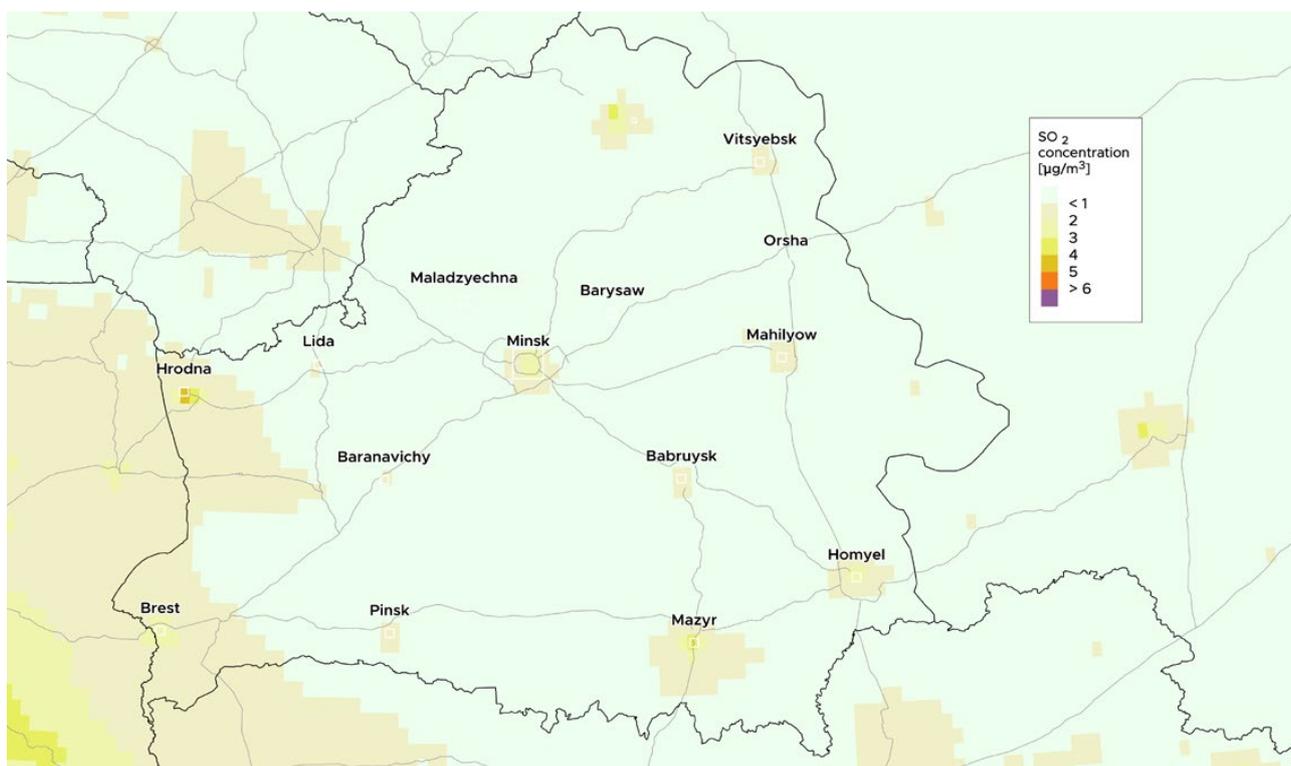


Рис. 12: Медианные концентрации SO_2 в Беларуси в период с июля 2017 г. по июль 2020 г. по данным CAMS.

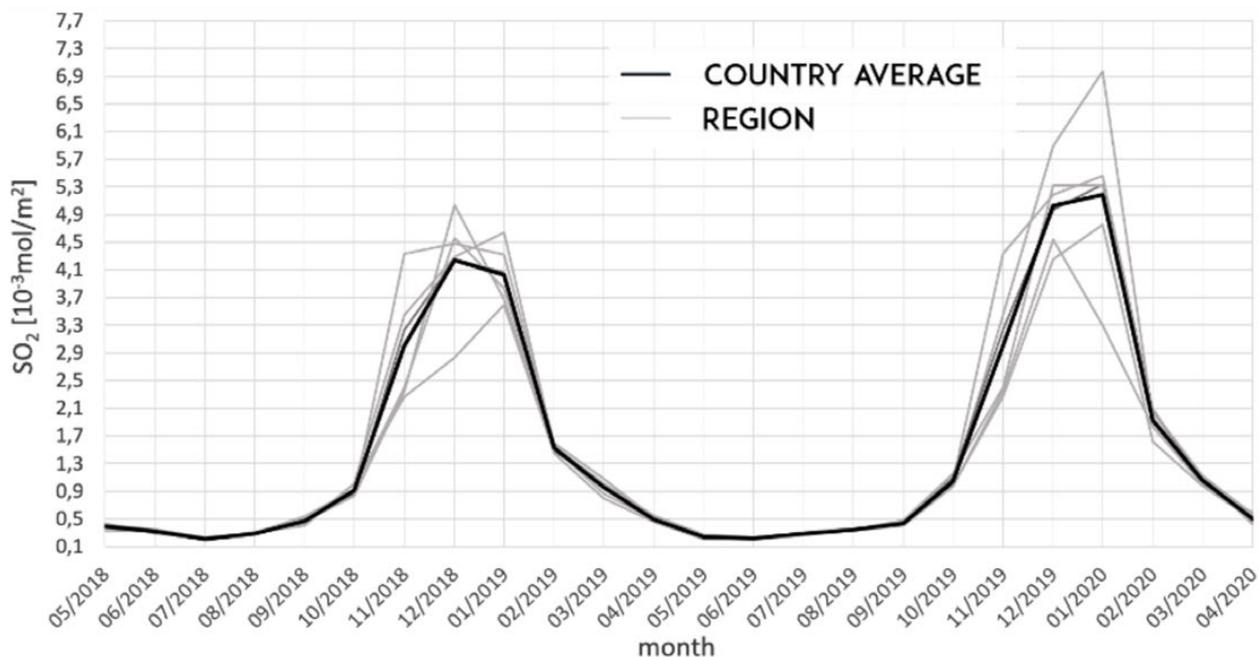


Рис.13: Среднемесячные концентрации SO_2 в Беларуси и областях с июля 2017 года по июль 2020 года.

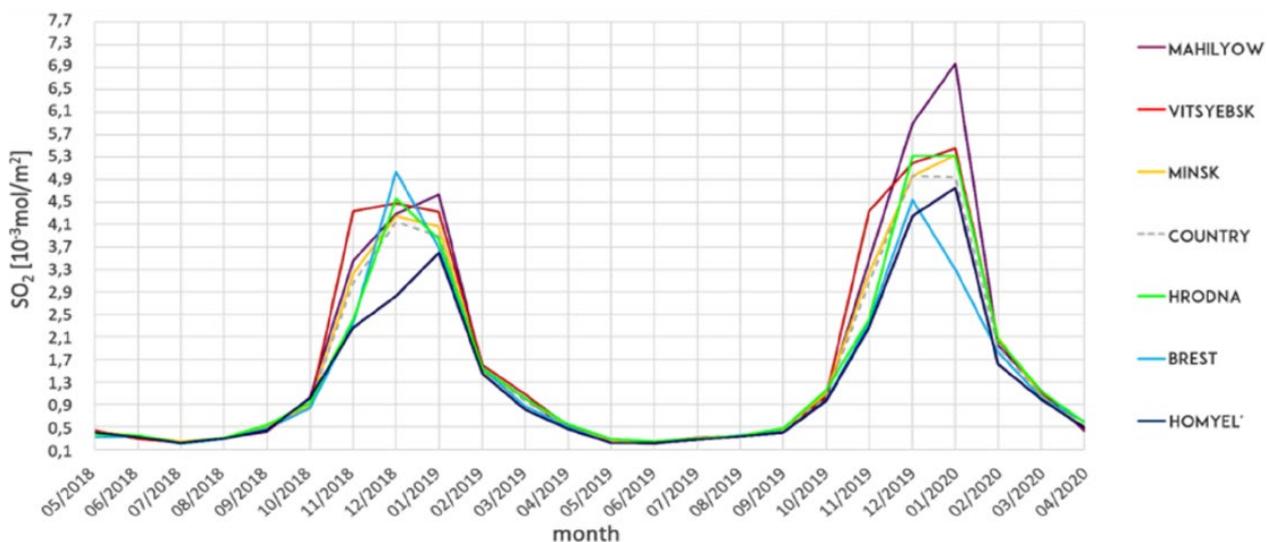


Рис. 14: Динамика средних концентраций SO_2 в отдельных областях Беларуси в период с мая 2018 г. по апрель 2020 г. Области отсортированы по наивысшему и наименьшему значениям.

более высокие концентрации в западной части страны и вокруг главных городских центров.

Сезонность значений SO_2 очевидна (рис. 13, 14), причем пик концентрации наблюдается в период с ноября по январь, когда значения выше примерно в десять раз. Эта тенденция является результатом как природных, так и антропогенных факторов²⁷,

включая: 1) более низкие уровни выпадения SO_2 зимой в результате отсутствия растительности и малого количества осадков; 2) более высокие выбросы в результате теплого отопления домов в жилых районах. С другой стороны, среднемесячные концентрации загрязнительного вещества во всех областях очень схожи с летними значениями.

27 https://www.researchgate.net/publication/265250018_Changes_in_sulphur_dioxide_concentrations_in_the_atmospheric_air_assessed_during_short-term_measurements_in_the_vicinity_of_Olsztyn_Poland

Формальдегид

Средние значения НСНО на территории Беларуси очень близкие по всей стране, как видно на Рисунке 15. Средняя концентрация по всей Беларуси в период с мая 2018 г. по апрель 2020 г. достигла в целом очень низкого значения **1,51 * 10⁻⁴ моль / м²**. Внутриобластная изменчивость между самыми низкими и самыми высокими концентрациями также довольно незначительная. Поскольку нефтехимическая промышленность

является одним из источников НСНО, горячая точка с более высокими значениями наблюдается на севере Беларуси над городом Новополоцк, где расположен крупный нефтеперерабатывающий завод. За этим исключением, влияния антропогенных источников на распространение более высоких значений не наблюдалось.

Динамику концентраций НСНО в период с мая 2018 года по апрель 2020 года можно увидеть на Рисунке

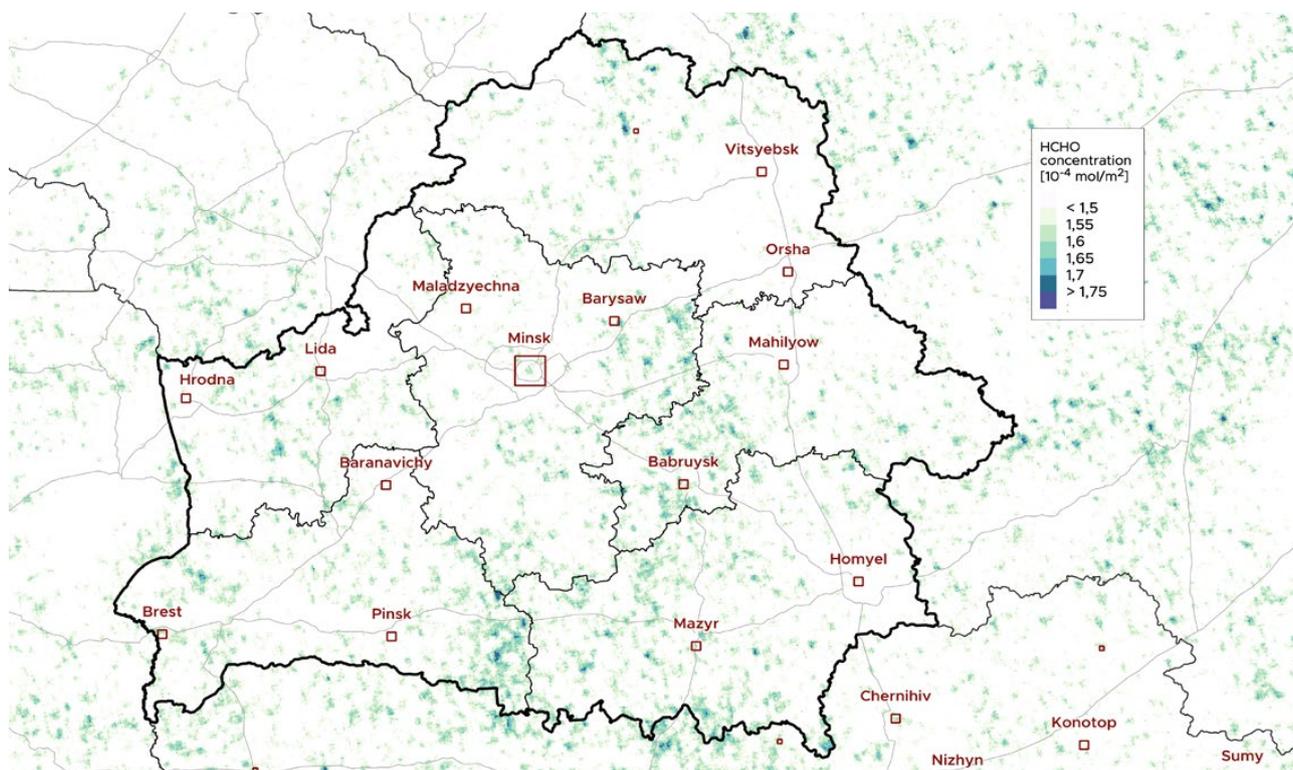


Рис.15: Среднемесячные концентрации НСНО в Беларуси и областях с мая 2018 года по апрель 2020 года.

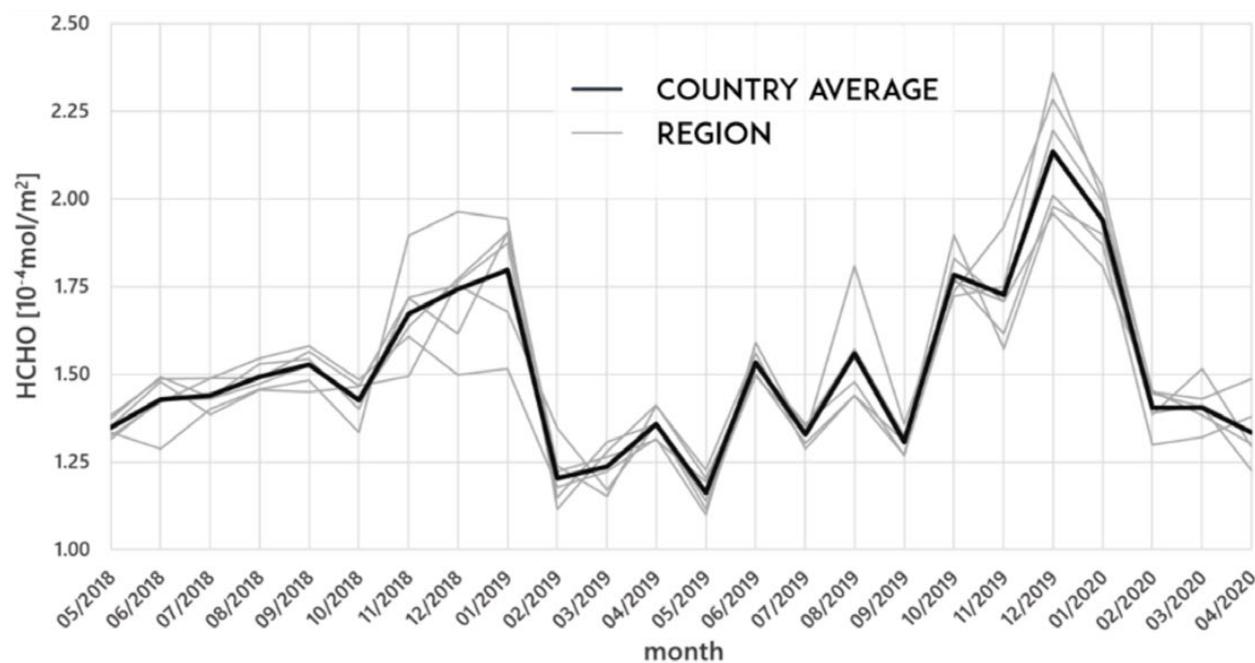


Рис.16: Среднемесячные концентрации НСНО в Беларуси и областях с июля 2017 года по июль 2020 года.

16. В среднем значения варьируются от 1,25 до 1,80 * 10⁻⁴ моль / м³, но также встречаются участки с гораздо более высокими значениями. Сезонные колебания распределения формальдегида в основном связаны с изменениями температуры и пожарами.

« Горячую точку с более высокими значениями можно наблюдать на севере Беларуси над городом Новополоцк, где расположен крупный нефтеперерабатывающий завод.

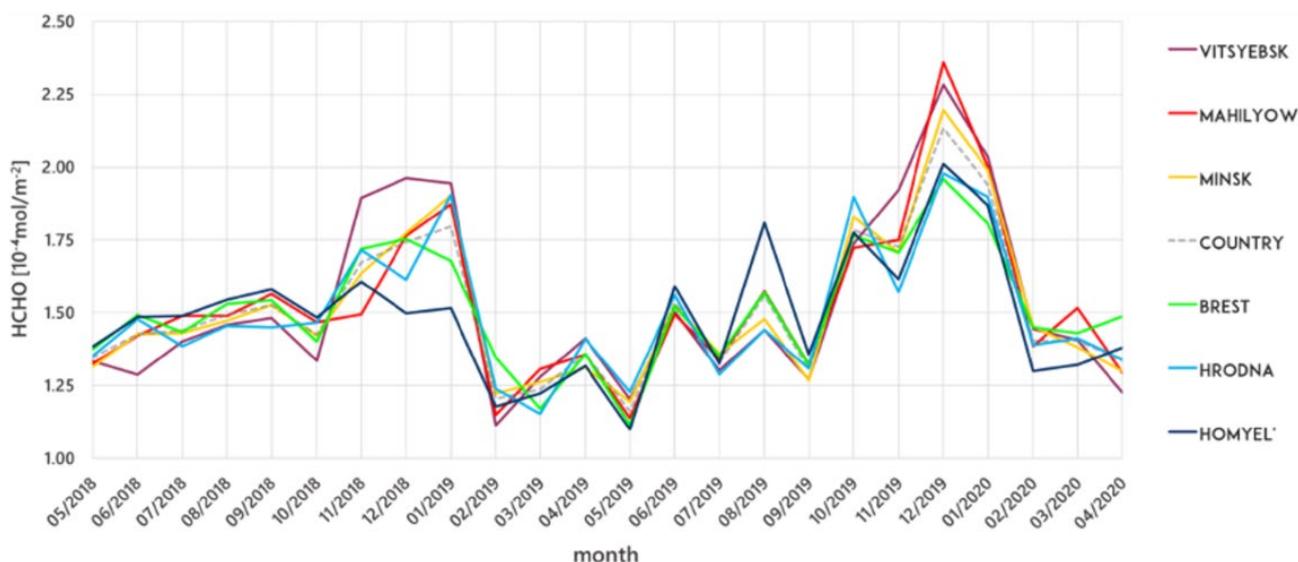


Рис.17: Динамика средних концентраций НСНО в областях Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г.

Твердые частицы ТЧ_{2,5}

Средняя концентрация ТЧ_{2,5} над Беларусью в период с июля 2017 года по июль 2020 года достигла значения 7,11 мкг / м³ (Рис. 18). Численные показатели уменьшаются с юга на север Беларуси. Самые высокие концентрации наблюдаются в городской зоне Гродно, крупного промышленного центра, расположенного в западной части Беларуси. В то же время Гродно - единственный город в Беларуси, где концентрации ТЧ_{2,5} превышают рекомендованный ВОЗ уровень 10 мкг / м³. В некоторых других горячих точках с более высокими значениями ТЧ_{2,5} также находятся подобные промышленные отрасли. Это город Новополоцк, ведущий производитель нефтеперерабатывающей и химической промышленности, расположенный на севере Беларуси, и Гомель, считающийся одним из промышленных центров Беларуси, расположенный на юго-востоке страны. Значительное увеличение концентраций наблюдается также на границе с Польшей, в Брестской области. В целом наибольшая средняя концентрация достигается в Брестском (8,71 мкг / м³), Гродненском (8,60 мкг / м³), Малоритском (8,45 мкг / м³) и Жабинковском (8,43 мкг / м³) районах;

большинство из них относится к Брестской области, в которой зарегистрированы самые высокие концентрации ТЧ_{2,5} в Беларуси. Более высокие концентрации ТЧ_{2,5} на юго-западе страны также могут быть напрямую связаны с переносом загрязнения из Польши.²⁸

« Гродно - единственный город, где концентрация ТЧ_{2,5} превышает нормативный уровень, рекомендуемый ВОЗ.

На рисунке 19 показаны среднемесячные концентрации ТЧ_{2,5} в Беларуси. Как видно, в среднем значения ТЧ_{2,5} находятся в диапазоне 5-8 мкг / м³. Пики концентраций загрязняющего вещества наблюдаются поздней осенью и в зимний сезон. Снижение значений обычно происходит летом и в начале осени.

Твердые частицы ТЧ₁₀

Средняя концентрация по Беларуси показана на Рисунке 21. Она достигает 9,00 мкг / м³ за период наблюдения. Как и в случае ТЧ_{2,5}, количество ТЧ₁₀ уменьшается с юго-запада на северо-восток

28 Более подробную информацию см. в главе о результатах исследования вещества NO₂.

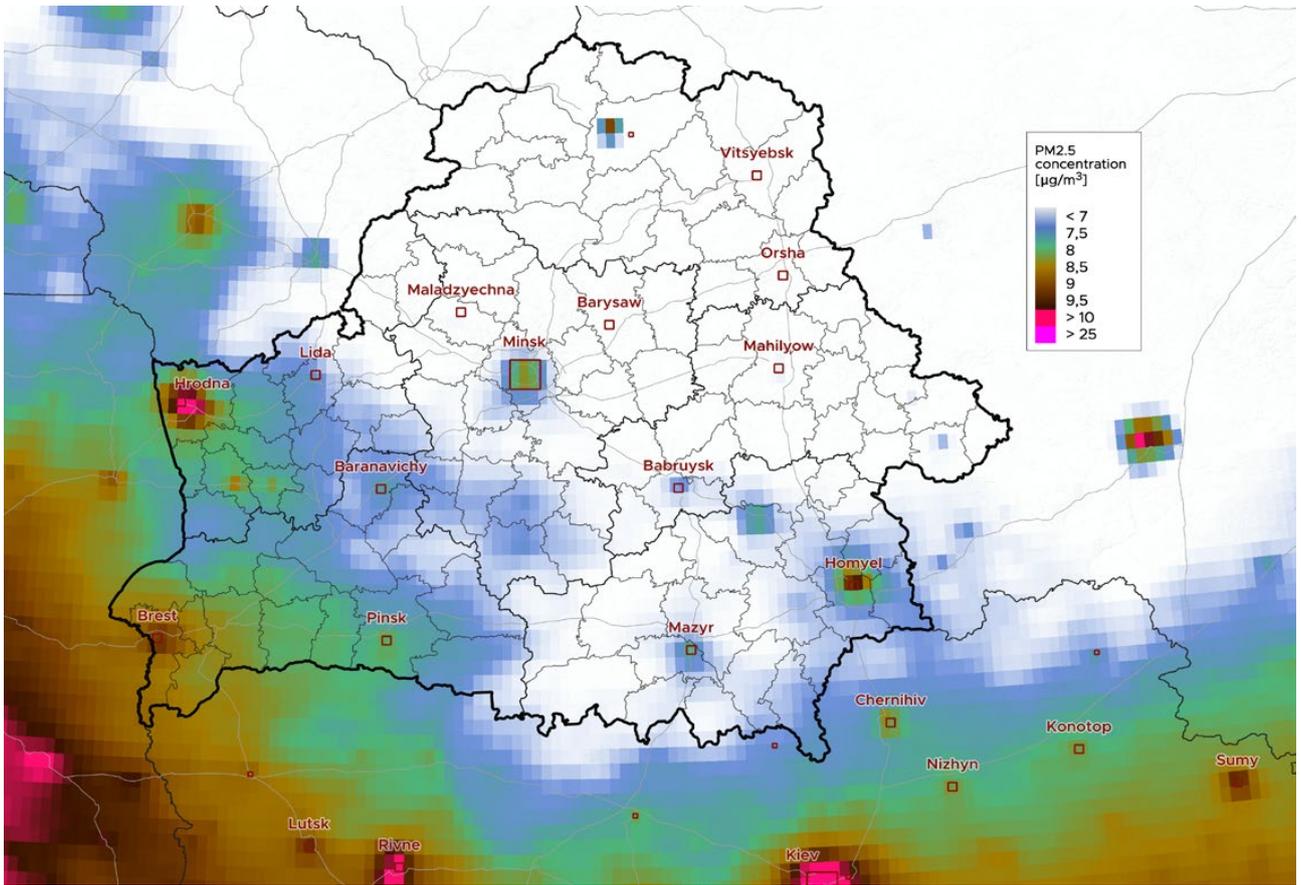


Рис. 18: Средние концентрации ТЧ_{2,5} в Беларуси с июля 2017 года по июль 2020 года.



Рис.19: Среднемесячные концентрации ТЧ_{2,5} в Беларуси и областях в период с июля 2017 года по июль 2020 года.

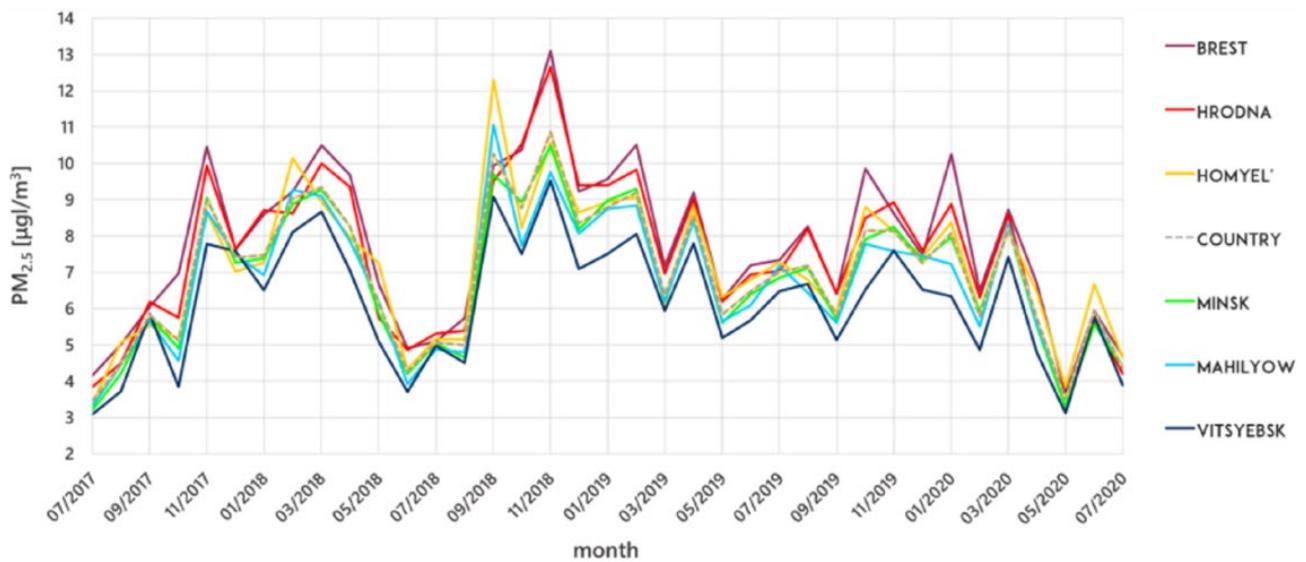


Рис.20: Динамика средних концентраций $ТЧ_{2,5}$ в областях Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г.

Беларуси. Нет городов, где значения превышают рекомендованные ВОЗ средние значения за год для крупных частиц ($20 \text{ мкг} / \text{м}^3$). Наиболее высокие концентрации наблюдаются в Брестской области ($10,04 \text{ мкг} / \text{м}^3$). В Брестской области самые высокие средние концентрации достигаются в

Брестском районе ($11,24 \text{ мкг} / \text{м}^3$), Жабинке ($10,78 \text{ мкг} / \text{м}^3$) и Малорите ($10,77 \text{ мкг} / \text{м}^3$).

Значения $ТЧ_{10}$ для разных областей обычно показывают аналогичную внутриобластную и сезонную изменчивость, что и для $ТЧ_{2,5}$. На рисунке 22

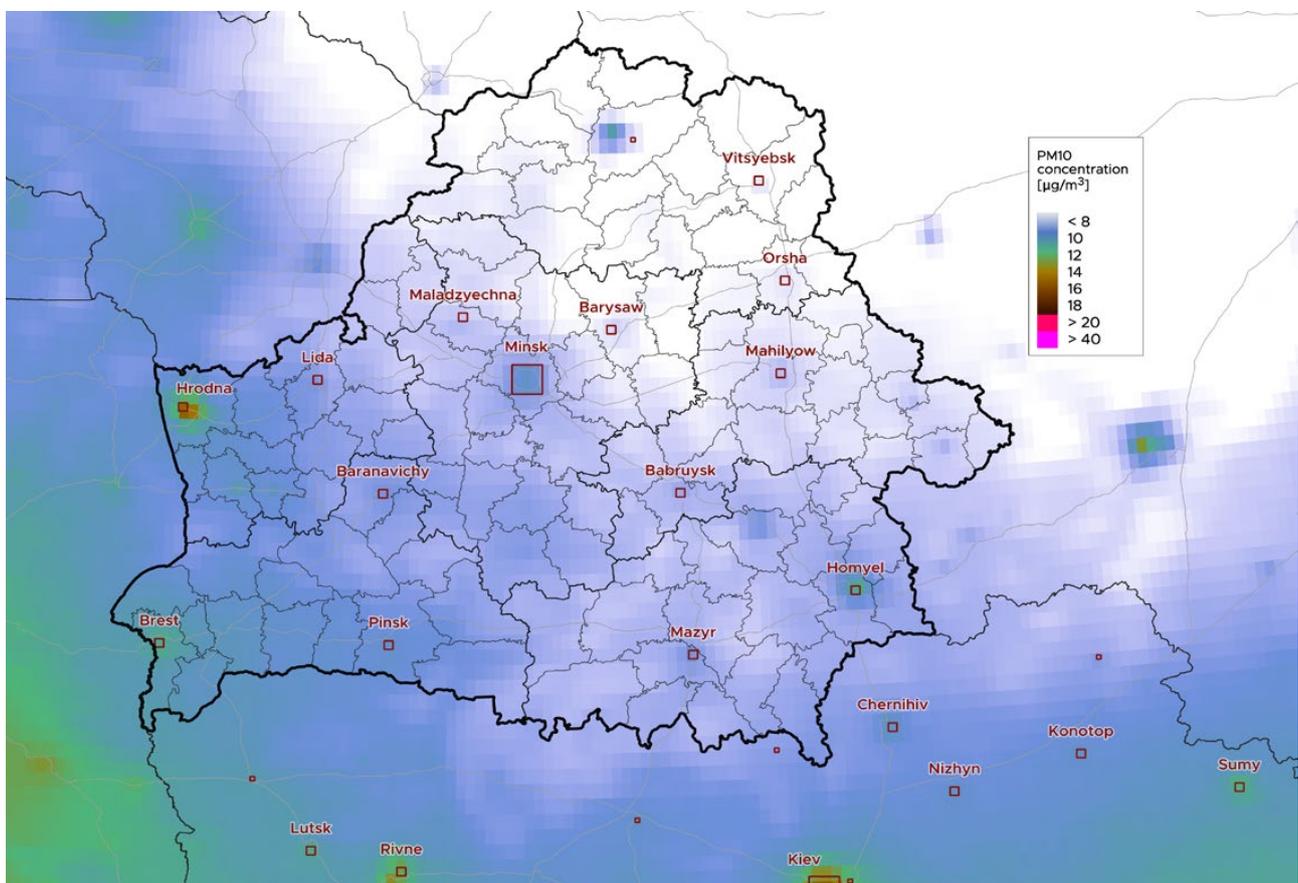


Рис.21: Средние концентрации $ТЧ_{10}$ в Беларуси с июля 2017 года по июль 2020 года.

показано, что большинство значений варьируются от среднего по стране. Месячные значения $ТЧ_{10}$ в Беларуси находятся в диапазоне 4-15 мкг / м³. Наибольшее увеличение концентраций наблюда-

ется осенью. В сентябре 2018 года концентрация достигла наивысшего наблюдаемого значения - в среднем по стране 15,31 мкг / м³, а в Гомеле - 18,66 мкг / м³.

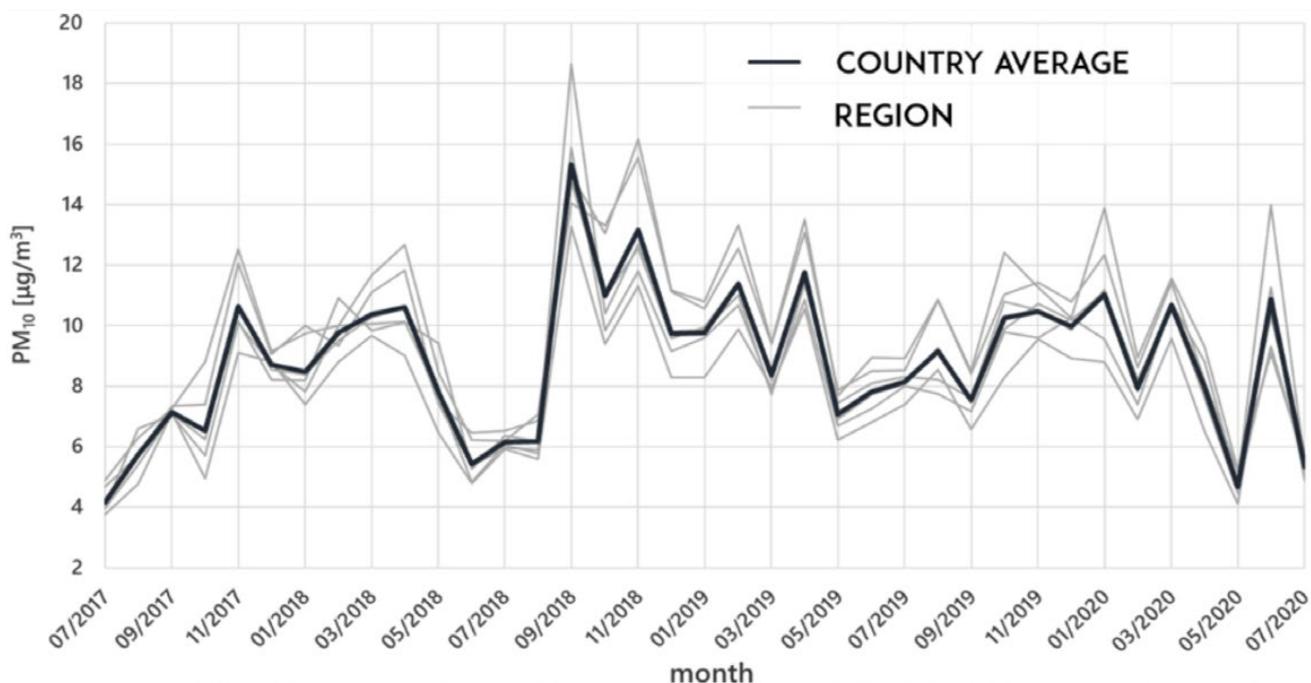


Рис.22: Средние концентрации $ТЧ_{10}$ за месяц в Беларуси и областях с июля 2017 года по июль 2020 года.

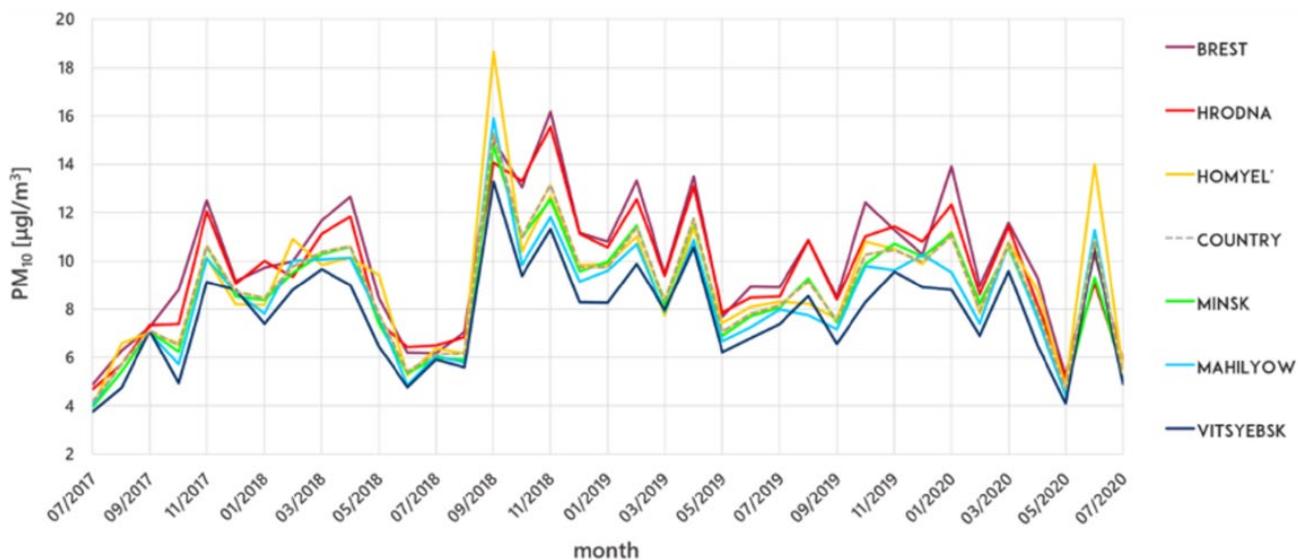


Рис.23: Динамика средних концентраций $ТЧ_{10}$ в областях Беларуси с мая 2018 г. по апрель 2020 г.

Рекомендации

В настоящее время качество воздуха считается одним из важнейших факторов, влияющих на здоровье человека и окружающую среду. Для повышения качества жизни и окружающей среды в Беларуси необходимы скоординированные действия на национальном, региональном и муниципальном, промышленном и гражданском уровнях. Более того, снижение загрязнения воздуха будет напрямую способствовать достижению целей ООН в области устойчивого развития, а также целей Парижского соглашения РКИК ООН об изменении климата. Государственная политика в поддержку улучшения качества воздуха должна быть сосредоточена на четырех ключевых областях.

Подход к прогнозированию

Чтобы достигнуть реального улучшения качества воздуха при сохранении экономической эффективности, приоритетом должны стать получение подлинных данных и фактического материала, а также их грамотное использование. Поэтому подключение всех существующих наземных систем мониторинга и расширение сети²⁹ является необходимым условием, особенно в местах, которые были определены как горячие точки загрязнения воздуха. Согласно опыту стран ЕС, лучший вариант - построение единой системы, управляемой одним государственным органом, который также будет компетентен выполнять проверку данных. Эта система также должна быть независимой от внешних и политических влияний. Целесообразно использовать все доступные данные о качестве воздуха, в том числе общедоступные системы мониторинга атмосферного воздуха и результаты независимых научных

исследований, но лишь после дополнительной оценки.

Наземные измерения позволяют лучше понять происхождение загрязнения на местном уровне и точно измерить уровни загрязнения в местах с высокой плотностью населения. Данные спутникового мониторинга и CAMS следует использовать на регулярной основе, чтобы исследовать общий прогресс и изменения распределения во времени и пространстве на уровне страны / региона. То, что данные (достоверная информация, веб-сайт с базой данных, их анализ и интерпретация) должны быть доступны общественности, само собой разумеется в 21 веке.

Результаты мониторинга качества воздуха должны иметь влияние на государственные системы на разных уровнях:

- государственные стандарты экологической безопасности,
- порядок выдачи разрешений на выбросы загрязняющих веществ,
- государственная регуляторная политика.

Мониторинг реальных уровней загрязнения должен быть дополнен Регистром выбросов и переноса загрязняющих веществ (РВПЗ), в котором будут представлены сводные данные о выбросах загрязняющих веществ от отдельных крупных промышленных предприятий, что позволит идентифицировать основные источники загрязнения.

Кадастры и планы выбросов загрязняющих веществ

Местные органы власти используют кадастры вредных выбросов, чтобы опре-

29 Например: начиная с 2019 года местный проект мониторинга качества воздуха AirMQ проводит исследование твердых частиц в Минске и шести других городах Беларуси. В проекте используются коммерчески доступные датчики лазерного рассеяния, способные измерять Тяжелые частицы, ТЧ_{2,5} и ТЧ₁₀. Данные собираются с точностью до минуты.

делить наиболее серьезные источники загрязняющих воздух веществ и определить меры, которые следует предпринять. Методы определения точек с высокой концентрацией выбросов дают возможность непрерывно отслеживать конкретные источники загрязнения: их краткосрочные измерения, из которых в дальнейшем делаются выводы на более длительный период времени, а также использование коэффициентов. Понимание и количественная оценка местных источников загрязнения воздуха позволит определить ключевые секторы для быстрой и экономически эффективной минимизации последствий.

Проведение инвентаризации выбросов должно предшествовать планированию индивидуальных мероприятий, особенно в промышленных центрах и / или городских районах. Планы по обеспечению чистого воздуха на муниципальном и региональном уровнях, основанные на последних инвентаризациях, - наиболее эффективный инструмент для долгосрочного улучшения качества воздуха в городах и регионах по всему миру. Предупреждения о смоге и ограничения на использование транспорта, промышленную эксплуатацию и общественную жизнь также должны быть частью таких планов.

Изменение методов управления выбросами загрязняющих веществ

Многие отрасли предоставляют возможности для улучшения качества воздуха. Наиболее конкретно ориентированными и эффективными являются транспорт, тяжелая промышленность, горнодобывающая промышленность, отопление, производство энергии, государственные закупки и реновация зданий. Целевое финансирование с целью улучшения качества воздуха (государственные, региональные или местные субсидии на новые котлы, модернизацию и т. д.) применяется

как для коммерческого сектора, так и для частных лиц.

Что касается основных промышленных загрязнителей, государство должно внедрить прогрессивное законодательство и принять стандарты ЕС. Затем государственные органы должны обеспечить соблюдение допустимых пределов загрязнения. Государство, международные организации и межправительственные органы должны мотивировать промышленность к проведению существенной модернизации и инвестиций в наилучшие доступные технологии (НДТ), поскольку многие из существующих промышленных объектов устарели.

Участие общественности

Информационно-разъяснительные кампании и привлечение внимания к проблеме необходимы для повышения информированности общественности о серьезных последствиях загрязнения воздуха для здоровья человека. Крайне важно обеспечить гражданам доступ к таким данным как государственный мониторинг качества воздуха, своевременные предупреждения во время смога и выброса загрязнителей, детальной информации о воздействии основных источников загрязнения и т. д. Государство должно привлекать общественность к принятию решений - например, во время ландшафтного планирования, утверждения планов очистки воздуха на муниципальном и региональном уровнях, ОВОС и других процедур получения разрешения эксплуатации промышленных объектов. Участие общественности, помимо прочих положительных эффектов, также помогает предупредить потенциальные общественные, политические или экономические разногласия.

Кампании по информированию общественности также должны приводить к положительным изменениям в индивидуальном поведении (в таких аспектах как транспорт, отопление в частных домах, энергосбережение, сжигание биомассы и т. д.).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1: Средние концентрации загрязняющих веществ в областях

Табл. 1: Средние концентрации NO_2 , CO , SO_2 и HCHO в областях Беларуси с 1 мая 2018 г. по 30 апреля 2020 г. и средние концентрации $\text{TЧ}_{2,5}$ и TЧ_{10} в областях Беларуси с 15 июля 2017 г. 14 июля 2020 г.

загрязнитель/ область	NO_2 [mol * 10 ⁻⁴ /m ²]	CO [mol * 10 ⁻¹ /m ²]	SO_2 [mol * 10 ⁻³ /m ²]	HCHO [mol * 10 ⁻⁴ /m ²]	$\text{PM}_{2,5}$ [µg/m ³]	PM_{10} [µg/m ³]
Брест	0.258	0.335	0.457	1.51	7.86	10.04
Гомель	0.223	0.335	0.459	1.49	7.24	9.13
Гродно	0.259	0.331	0.461	1.50	7.54	9.65
Могилёв	0.216	0.332	0.465	1.52	6.83	8.52
Минск	0.248	0.330	0.485	1.52	6.95	8.78
Витебск	0.206	0.330	0.487	1.53	6.26	7.89
в среднем по стране	0.235	0.332	0.469	1.51	7.11	9.00

Приложение 2: Фото



Фото 1: Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат



Фото 2: ТЭЦ-4 г. Минск



Фото 3: Завод "Кроноспан" г. Сморгонь

Арника (Чехия) объединяет людей, добивающихся чистоты окружающей среды. Мы считаем, что природное богатство - это дар, который люди обязаны сохранить для будущего поколения. С момента своего основания Арника стала одной из важнейших экологических организаций в Чешской Республике. Наша деятельность основана на трех принципах: привлечение внимания общественности, профессиональная аргументация и коммуникация. С самого начала мы проводили общественные кампании как в Чешской Республике, так и за рубежом. Деятельность организации сосредоточена на охране природы, токсичных веществах и отходах, доступе к информации и участии общественности в принятии решений.

Есоhome (Экодом) (Беларусь) основан на принципах демократии и устойчивого развития, а также на стремлении создать гармоничные отношения между нами и вокруг нас - дома, в стране и во всем мире. Цель организации - продвигать экологически ответственный образ жизни. Предметом интереса организации является органическое сельское хозяйство, пермакультура, альтернативы ядерной энергии, образование в сфере устойчивого развития и так называемое эко-искусство - искусство, которое продвигает экологические ценности и обращает внимание общественности на проблемы экологии. Экодом также выступает за вовлечение общественности в процессы принятия решений.

World from Space (Мир из космоса) - чешская компания, которая использует космические технологии на благо устойчивого общества. Ключевая деятельность наших технологий связана с наблюдением Земли и анализом геопространственных и больших данных, особенно в городской, экологической и сельскохозяйственной сферах. Мы делаем упор на расширенный анализ данных и машинное обучение на спутниковых снимках и данных из сервисов Copernicus. Флагманский продукт компании DynaCrop API предоставляет программное обеспечение для глобального мониторинга сельскохозяйственных культур. Дайте знать о своих идеях и посетите наш сайт www.worldfrom.space

