

Загрязнение воздуха в Казахстане: ВИД ИЗ КОСМОСА

Фундаментальный
анализ на примере
Карагандинской области,
с заметками об общей роли
Казахстана в изменении
климата

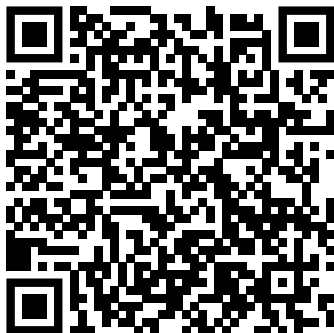
Прага – Караганда 2023



Funded by
the European Union



TRANSITION
Ministry of Foreign Affairs of the Czech Republic



Загрязнение воздуха в Казахстане: вид из космоса

Фундаментальный анализ, сфокусированный на Карагандинской области, с заметками о более широком воздействии Казахстана на изменение климата

© World from Space 2023

© Arnika 2023

Дата публикации: 2023

Главный редактор: Ян Лабохий

Ведущий автор: Симона Бочкова

Авторы: Роман Боховиц, Матуш Хрнчияр, Микулаш Муронь, Ян Хитрый, Мартин Скальский, Марцела Чернохова, Дмитрий Калмыков

Данное исследование публикуется на английском, русском и казахском языках.

Корректурa на английском языке: Simon Gill

Перевод на русский язык: Макар Терёшин

Перевод на казахский язык: Асель Маликова

Автор фотографий: Ондрей Петрлик / Arnika

Графический дизайн: Jakub Nemeček, www.typonaut.cz

Данная работа доступна по лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO license (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo>). Согласно условиям данной лицензии вы можете копировать, распространять и адаптировать настоящую публикацию в некоммерческих целях при условии, что она будет соответствующим образом процитирована, включая указание источника данных.

Исследование содержит модифицированные данные Copernicus Sentinel [2018-2022]. Карты содержат данные © OpenStreetMap contributors (www.openstreetmap.org) и Humanitarian Data Exchange (<http://data.humdata.org>).

Исследование подготовлено при финансовой поддержке Европейского Союза и Программы «Transition» Министерства иностранных дел Чешской Республики. Его содержание является исключительной ответственностью авторов и не обязательно отражает мнения доноров.

ISBN 978-80-88508-17-5

Содержание

Список сокращений и аббревиатур	4
Резюме	5
Ключевые выводы	5
Рекомендации	6
Введение	8
Административное деление Казахстана	9
Взаимосвязь изменения климата и загрязнения воздуха	10
Основные загрязнители	10
<i>Диоксид азота (NO₂)</i>	10
<i>Диоксид серы (SO₂)</i>	11
<i>Метан (CH₄)</i>	11
<i>Твердые частицы (PM₁₀)</i>	12
Загрязнение воздуха в результате горнодобывающей деятельности	13
Предельные уровни загрязнения воздуха в Казахстане	14
Влияние COVID-19 на загрязнение атмосферного воздуха в Казахстане	15
Влияние физико-географических условий на распределение воздушных масс	15
Данные и методология	16
Sentinel-5P	16
Служба мониторинга атмосферы „Коперник“ (CAMS)	16
Принципы обработки данных	17
Результаты	18
Влияние промышленности на загрязнение воздуха	18
Диоксид азота (NO ₂)	18
<i>Общий анализ</i>	18
<i>Сезонность загрязнения воздуха</i>	23
<i>Пандемия COVID-19 в Казахстане</i>	25
Метан (CH ₄)	26
<i>Общий анализ</i>	26
<i>Сезонность загрязнения воздуха</i>	30
Диоксид серы (SO ₂)	32
<i>Общий анализ</i>	32
<i>Сезонность загрязнения воздуха</i>	38
Твердые частицы (PM ₁₀)	39
<i>Общий анализ</i>	39
<i>Сезонность загрязнения воздуха</i>	41
Загрязнение воздуха в Карагандинской области: детальный обзор	44
Диоксид азота (NO ₂)	44
Метан (CH ₄)	47

Диоксид серы (SO ₂)	50
Твердые частицы (PM ₁₀)	52
Рекомендации	55
Усилить мониторинг качества воздуха и сбор данных	55
Сокращение использования угля и внедрение возобновляемых источников энергии	56
Нормативно-правовая база, экологическая ответственность и местные кадастры выбросов	57
Меры по повышению энергоэффективности и ограничению выбросов в промышленности	58
Осведомленность и участие общественности	59
Особые рекомендации для Карагандинской области	60
Источники	62

Список сокращений и аббревиатур

SAMS – Служба мониторинга атмосферы Copernicus	IPCC – Межправительственная группа по изменению климата
CH ₄ – метан	ПДК – предельно допустимая концентрация
CO – монооксид углерода	НСМКВ – Национальная сеть мониторинга качества воздуха
ECMWF – Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды	NO ₂ – диоксид азота
EEA – Европейское агентство по окружающей среде	ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития
EPA – Агентство по охране окружающей среды США	ОН – гидроксильный радикал
ЕС – Европейский Союз	PM ₁₀ – твердые частицы размером менее 10 мкм
ГИС – географическая информационная система	S5P – Sentinel-5P
GFDRR – Глобальный фонд по уменьшению опасности бедствий и восстановлению	SH – Sentinel Hub
IEA – Международное энергетическое агентство	SO ₂ – оксид серы
IFORCE – Европейская комиссия по лесным ресурсам и эмиссии углерода	TROPOMI – Прибор для мониторинга тропосферы
	США – Соединенные Штаты Америки
	ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

РЕЗЮМЕ

Поддержание хорошего качества воздуха необходимо для сохранения здоровья населения, процветания общества и целостности природных экосистем. Сокращение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов является ключевым фактором для сдерживания стремительного изменения климата. Казахстан, занявший в 2019 году 21 место в мире по выбросам парниковых газов, сталкивается со сложной взаимосвязью изменения климата и загрязнения воздуха. Ежегодно загрязнение воздуха приводит к преждевременной смерти более 10 тысяч человек, а экономический ущерб, по данным Всемирного банка на 2023 год, составляет около 10,5 миллиардов долларов.

Несмотря на то, что Казахстан присоединился к таким ключевым климатическим соглашениям, как Парижское соглашение, и поставил перед собой цель добиться углеродной нейтральности к 2060 году, такие комплексные стратегии, как Национальный план адаптации, все еще находятся на начальной стадии разработки. В обновленном Экологическом кодексе на 2021 год особое внимание уделяется как адаптации, так и принципу „загрязнитель платит“, что подчеркивает важность одновременного решения проблем изменения климата и загрязнения воздуха. Поскольку эти две проблемы взаимосвязаны, мониторинг загрязнения воздуха становится не только вопросом местного здравоохранения, но и важнейшим аспектом глобальной борьбы с изменением климата.

Казахстан – один из крупнейших мировых производителей угля, нефти, газа и меди. Кроме того, в стране расположено несколько предприятий тяжелой промышленности, включая металлургические и нефтеперерабатывающие заводы. В связи с ярко выраженным континентальным климатом, характеризующимся продолжительными инверсиями, Казахстан сталкивается с проблемой загрязне-

ния воздуха и необходимостью принятия комплексных мер по снижению его загрязнения. Эта проблема не только влияет на общее качество жизни, но и способствует ускорению темпа изменения климата.

Данное исследование направлено на изучение закономерностей, сроков и причин загрязнения воздуха и изменения климата с особым фокусом на индустриально развитом Карагандинском регионе. Растущее загрязнение от промышленных предприятий и использования угля в быту подчеркивает глубокую взаимосвязь обеих проблем.

Ключевые выводы

Концентрация диоксида азота (NO_2), как правило, выше в крупных городах и на промышленных объектах Казахстана, причем самые высокие концентрации наблюдаются в Павлодаре, Алматы и Шымкенте. В городах с развитой промышленностью уровень загрязнения выше. Это особенно заметно в промышленных городах Экибастуз, известном своей ТЭЦ и угольным разрезом ($0,59 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2), и Темиртау, известном своей крупной металлургической промышленностью ($0,44 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2), где концентрация NO_2 в два-три раза выше, чем в городах сопоставимого размера ($\sim 0,20 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2). В зимние месяцы отмечается повышенный уровень загрязнения воздуха NO_2 , в то время как весной и летом уровень загрязнения снижается в большинстве районов, за исключением окрестностей Алматы, Шымкента и Павлодара, где концентрация остается высокой. Это, по-видимому, связано с интенсивным движением транспорта, близостью угольных электростанций и металлургической промышленности. Во время пандемии COVID-19 наблюдалось снижение выбросов NO_2 в ряде районов, что было обусловлено действием эпидемиологических ограничений.

Повышенная концентрация метана (CH_4) была обнаружена вблизи угольных

шахт. В целом выбросы метана из открытых шахт, как правило, ниже, а также больше рассеивается по сравнению с выбросами из подземных шахт. В период с 2018 по 2022 год в стране наблюдался **ежегодный рост содержания метана**, что соответствует глобальной тенденции увеличения содержания метана в атмосфере. Наиболее высокие региональные концентрации наблюдаются в **городе Шымкенте** и прилегающем к нему Туркестанском регионе, а также в **Мангистауской и Кызылординской областях**.

Высокие уровни загрязнения **диоксидом серы (SO_2)** в Казахстане наблюдаются преимущественно в районе горнодобывающих предприятий и угольных электростанций. В таких регионах, как **Павлодар, Алматы, Оскемен, Астана и Караганда**, концентрация SO_2 превышает как предельно допустимые суточные нормы, установленные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), так и казахстанские стандарты качества. **Наиболее высокие концентрации наблюдаются в Алматинской области**. В то время как в Павлодарской области зафиксированы **наиболее высокие круглогодичные концентрации**, что связано с работой угольных электростанций и горнодобывающей промышленности. Сезонная картина концентраций SO_2 характеризуется пиковыми показателями в зимний период, что связано с **низким уровнем выпадения осадков и увеличением выбросов при отоплении домов**.

Концентрация **твердых частиц размером от 2,5 до 10 мкм (PM_{10})** высока на юге и юго-востоке Казахстана за счет **природных факторов**, таких как пыльные бури с оголенной почвы и пустыни. В других регионах Казахстана, в том числе в **Караганде, Оскемен, Актобе, Астане и Костаная**, наблюдается **повышенная концентрация PM_{10}** , обусловленная деятельностью человека. Природные условия влияют на **сезонные изменения загрязнения воздуха PM_{10}** . На юге и юго-востоке концентрация выше из-за пыльных бурь, а деятельность человека ведет к **круглого-**

дичным повышенным концентрациям в таких районах, как Караганда и Оскемен.

На территории Карагандинской области расположено несколько антропогенных источников загрязнения, таких как угольные электростанции, угольные шахты, предприятия черной металлургии и другие. Для всех исследованных загрязняющих веществ **повышенные уровни были обнаружены в окрестностях городов Караганда и Темиртау**, где сосредоточены эти источники загрязнения.

Рекомендации

Для повышения качества воздуха и смягчения последствий изменения климата в Казахстане был предложен **комплекс рекомендаций**. Одним из важнейших аспектов является **усиление мониторинга качества воздуха и сбора данных**. Этого можно достичь путем расширения инфраструктуры мониторинга и стратегического размещения станций, оснащенных высококачественными приборами. Кроме того, важнейшими стратегиями являются **сокращение использования угля и стимулирование внедрения возобновляемых источников энергии**. Для эффективного соблюдения стандартов качества воздуха необходимо укрепление нормативно-правовой базы и соблюдение экологических обязательств. Этого можно добиться путем проведения проверок, аудитов и введения штрафных санкций за несоблюдение норм. Еще одним ключевым аспектом является **продвижение мер по повышению энергоэффективности**, включая такие инициативы, как реконструкция зданий и внедрение „умных“ транспортных решений. **Информированность и участие общественности** также являются жизненно важными составляющими, поскольку Казахстан сталкивается с проблемами, связанными с низкой осведомленностью населения, высоким уровнем использования автомобилей и использованием загрязня-

ющих окружающую среду методов отопления.

Для улучшения качества воздуха в **Карагандинской области** приоритетное внимание следует уделить угольным электростанциям, угольным шахтам и металлургической промышленности. Необходимо стимулировать угольные электростанции к внедрению передовых технологий контроля загрязнения и соблюдению строгих норм по выбросам. Этого можно добиться, инвестируя в системы сероочистки дымовых газов, электростатические фильтры или тканевые фильтры для улавливания и удаления загрязняющих веществ до их выброса в атмосферу. Аналогичным образом следует принимать меры по снижению выбросов пыли при добыче угля, такие как усовершенствованные

методы пылеподавления и закрытые конвейерные системы, а также осуществлять строгий мониторинг и следить за соблюдением законодательства. Содействие внедрению более чистых технологий производства, например электродуговых печей, может существенно снизить выбросы вредных загрязняющих веществ в металлургической промышленности. Кроме того, расширение сети мониторинга качества воздуха за счет стратегического размещения станций, оснащенных высококачественными приборами, позволит получать точные данные об уровне загрязняющих веществ в режиме реального времени. Общественность должна иметь более широкий доступ к экологическим данным и активнее участвовать в процессе принятия решений.



Хотя город Балхаш является центром металлургии, одноименное озеро является важным источником рыбы и воды для сельского хозяйства. (Фото: Ондрей Петрлик / Арника)

ВВЕДЕНИЕ

За последние два десятилетия в Казахстане наблюдалось значительное экономическое развитие, в основном благодаря экспорту ископаемого топлива и металлов, которые сыграли важную роль в увеличении ВВП страны (Всемирный банк, 2021). Однако этот рост в значительной степени опирался на промышленный фундамент, заложенный в советское время, который характеризовался ориентацией на быстрое расширение производства при недостаточном внимании к экологическим последствиям. Хотя недавний экономический рост принес свои проблемы, многие из экологических проблем возникли в результате бесконтрольной индустриализации в советский период. Десятилетия длительного неправильного управления и эксплуатации природных ресурсов привели к серьезным экологическим нарушениям, включая загрязнение воздуха, воды и почвы, а также к негативному воздействию на биоразнообразие. Эти проблемы оставались практически не-

решенными и в последние десятилетия усугублялись в стремлении к дальнейшему экономическому росту. В 2021 году совокупность исторических и современных факторов привела к тому, что Казахстан занял 23-е место в мире по уровню загрязнения воздуха $PM_{2.5}$ (IQAir, 2021).

Казахстан, расположенный в Центральной Азии и Восточной Европе, является крупнейшим в мире государством, не имеющим выхода к морю. Его разнообразный ландшафт (рис. 1) включает степи, которые занимают порядка 70% территории, особенно в северных и центральных регионах (ФАО, 2021). Кроме того, на территории страны расположены обширные пустыни и голые земли, занимающие 22% территории, преимущественно в южно-центральной и западной частях. Эти пустынные районы, часто песчаные или каменистые, мало заселены из-за сурового климата (European Commission, 2022). Леса также сравнительно редки и занимают всего 3% территории Казахстана. В стране также имеются озера, реки и болота, которые занимают около 2% её территории.

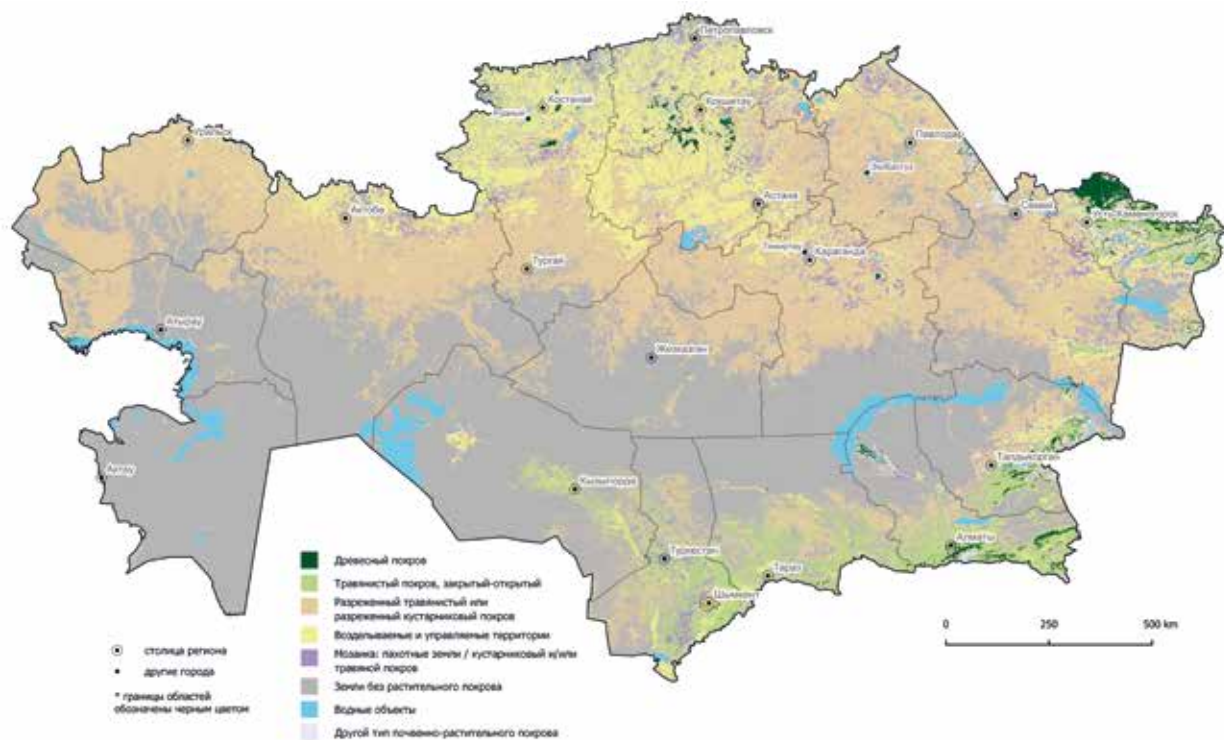


Рис. 1: Почвенный покров Казахстана. Источник: Global Land Cover 2000 – European Commission, 2022.

Административное деление Казахстана

Административное деление Казахстана (рис. 2), имеет свои особенности, которые следует учитывать при изучении результатов данного исследования. Страна делится на **17 областей** и **три крупных города**, которые не входят в состав областей регионов и являются городами республиканского значения (подчинения). Это Астана, Алматы и Шымкент. Каждая область делится на **районы** (первоначально назы-

вавшиеся аудандарми). Во избежание путаницы между одинаковыми названиями районов при их упоминании всегда указывается соответствующая область или город, к которому они относятся (например, в городе Астане есть Алматинский район; город Павлодар находится на территории Павлодарского района Павлодарской области), при упоминании районов всегда указывается соответствующий регион и все наименования.



Рис. 2: Области и районы Казахстана. Источник: HDX, 2022

Взаимосвязь изменения климата и загрязнения воздуха

По объему выбросов СО в 2019 г. Казахстан занял 21-е место в мире по загрязнению окружающей среды, преимущественно за счет ископаемого топлива. Энергетический сектор, являющийся одним из основных источников выбросов, подчеркивает высокую углеродоемкость страны, что отмечается в 3-м Обзоре экологической деятельности. Несмотря на это, Казахстан обладает значительным потенциалом для снижения углеродного следа при условии принятия соответствующих мер.

Казахстан, как следует из его национальных сообщений в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, сталкивается с повышенными рисками в области сельского и лесного хозяйства, а также управления водными ресурсами, в значительной степени обусловленными изменением объема атмосферных осадков и усилением засухи. Эта уязвимость носит не только экологический, но и социальный характер. Изменение климата негативно сказывается на здоровье населения в связи с усилением теплового стресса в южных районах и возможным распространением заболеваний.

Ярким примером взаимосвязи между загрязнением воздуха и изменением климата является „черный снег“ в Темиртау, являющемся центром металлургии и горнодобывающей промышленности. С изменением ветрового режима загрязняющие вещества стали чаще попадать в промышленные и жилые зоны. Карагандинская область, крупный промышленный центр, является ярким примером такого взаимодействия. Здесь расположены многочисленные промышленные объекты, ответственные за значительные выбросы загрязняющих веществ, поэтому регион сталкивается с двойной проблемой – растущим промышленным смогом и экстремальным загрязнением окружающей сре-

ды, в основном от сжигания угля в жилых домах.

Несмотря на то, что в 2021 году были внесены изменения в Экологический кодекс 2007 года, повысилась доступность экологической информации, в том числе климатических данных, необходимы дополнительные меры. Сбором и прогнозированием климатических данных занимается государственное учреждение Казгидромет, однако эта бесценная информация остается практически неиспользованной для практических целей.

Международные обязательства Казахстана в области климата, такие как Рамочная конвенция ООН, Киотский протокол и Парижское соглашение, свидетельствуют о его приверженности решению этих проблем. Несмотря на то что поставленная президентом цель по достижению углеродной нейтральности к 2060 году заслуживает одобрения, необходимо конкретное законодательное обеспечение. Недавно принятый Экологический кодекс 2021 года, в котором учтены вопросы адаптации к климату, дает надежду на успех. Однако необходимо добиться того, чтобы доходы от взимания платы за выбросы вновь пошли на реализацию природоохранных инициатив.

Основные загрязнители

Настоящая работа представляет собой фундаментальное исследование основных загрязняющих веществ, присутствующих в Казахстане. В последующих разделах мы подробно рассмотрим каждый конкретный загрязнитель, получив исчерпывающую информацию о его источниках, воздействии и распространенности в стране.

Диоксид азота (NO₂)

Диоксид азота (NO₂) – газ, присутствующий как в тропосфере, так и в стратосфере, однако он также является одним из основных атмосферных загрязнителей, образующихся в результате деятельности че-

ловека. По данным ВОЗ (WHO, 2000), повышенный уровень диоксида азота может приводить к респираторным инфекциям, снижению функции легких и ухудшению роста; он также связан с усилением симптомов бронхита и астмы. Взаимодействие NO_2 с водой и другими химическими веществами в атмосфере приводит к образованию кислотных дождей, вызывающих изменения в лесах и водных экосистемах.

Согласно отчету Европейского агентства по окружающей среде „Качество воздуха в 2020 году“ (ЕЕА, 2022), основным источником оксидов азота является **автомобильный транспорт**, на долю которого приходится 37% выбросов. Другими источниками NO_2 являются **нефтепереработка и металлообработка, производство электроэнергии на угольных электростанциях**, обрабатывающие производства и пищевая промышленность. Природным источником газа являются **микробиологические процессы в почве, лесные пожары и молнии**.

Основные антропогенные источники NO_2

- выхлопные газы автотранспорта
- угольные электростанции
- нефтепереработка и металлообработка

Метан (CH_4)

Метан – это бесцветный, не имеющий запаха и легко воспламеняющийся газ, являющийся основным компонентом природного газа. Он также является мощным парниковым газом, причем его потенциал глобального потепления более чем в 80 раз превышает потенциал углекислого газа (за 20-летний период) (IEA, 2021).

Метан образуется в результате естественных процессов, таких как распад органических веществ в болотах, где он является побочным продуктом разложения в отсутствие кислорода. Другим природным источником эмиссии метана являются

сельскохозяйственные животные (в т.ч. коровы, свиньи, птицы и др.), которые выделяют метан в процессе пищеварения. Во время лесных пожаров метан также может выделяться в качестве побочного продукта при сгорании органических веществ. Кроме того, он может вырабатываться естественным образом в земной коре или содержаться в угольных пластах, нефтяных и газовых месторождениях, а также в геологических образованиях, таких как вечная мерзлота.

Деятельность человека, такая как сельское хозяйство, животноводство, добыча и использование ископаемого топлива, утилизация отходов, является значительным источником выбросов метана. По последним оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), на долю человеческой деятельности приходится около 60% общего объема выбросов метана в атмосферу.

Объем выбросов метана в результате деятельности человека варьируется в зависимости от таких факторов, как вид деятельности, регион, уровень используемых технологий и методов управления. Сельское хозяйство, особенно животноводство и выращивание риса, является крупнейшим источником антропогенных выбросов метана, на долю которого приходится около 40% общего объема антропогенных выбросов метана.

Производство и использование ископаемого топлива, включая добычу угля, нефти и газа, а также транспорт, является еще одним значительным источником, на долю которого приходится около 35% всех антропогенных выбросов метана. Оставшиеся 25% приходятся на утилизацию отходов, таких как свалки и очистка сточных вод (IPCC, 2021).

Диоксид серы (SO_2)

Диоксид серы (SO_2) поступает в атмосферу из природных и антропогенных источников и может находиться как в стратосфере, где его время жизни составляет несколь-

ко недель, так и в тропосфере, где время его жизни составляет порядка нескольких дней. Около 30% глобального выброса SO₂ приходится на природные источники, такие как **вулканы**. К антропогенным источникам относятся **угольные электростанции, промышленные процессы и другие виды деятельности, связанные со сжиганием ископаемого топлива** (например, бытовое отопление). Вклад человека в загрязнение SO₂ вызывает наибольшую озабоченность с точки зрения экологической политики.

По данным ВОЗ (ВОЗ, 2021), „SO₂ может влиять на дыхательную систему и работу легких, а также вызывает раздражение глаз. Воспаление дыхательных путей вызывает кашель, выделение слизи, обострение астмы и хронического бронхита и делает людей более склонными к инфекциям дыхательных путей. В дни с повышенным содержанием SO₂ увеличивается количество госпитализаций с сердечными заболеваниями и смертность“. При взаимодействии SO₂ с водой образуется серная кислота – основной компонент кислотных дождей.

Естественными источниками диоксида серы в Казахстане являются **лесные пожары и пыльные бури**. Лесные пожары – обычное явление в Казахстане, особенно в летние месяцы, когда температура воздуха высока, а растительность сухая (NASA, 2005). В результате таких пожаров в воздух выбрасывается диоксид серы и другие загрязняющие вещества. На территории Казахстана расположены обширные степи и пустыни, поэтому в периоды засухи и сильных ветров могут возникать пыльные бури. Такие бури могут переносить на большие расстояния большое количество пыли и других твердых частиц, включая диоксид серы. Хотя природные источники диоксида серы в Казахстане в целом менее значительны, чем деятельность человека, они все же могут вносить вклад в загрязнение воздуха на местном и региональном уровнях, особенно в периоды лесных пожаров (GFDRR, 2023).

Твердые частицы (PM₁₀)

Твердые частицы или атмосферные аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе и способные свободно перемещаться в атмосфере. Они классифицируются по размеру, а не по химическим свойствам. Крупная фракция PM₁₀ содержит более крупные частицы размером от 2,5 до 10 мкм. Частицы размером менее 2,5 мкм (PM_{2.5}) образуются в основном в результате механических процессов, таких как **строительные работы, повторное развешивание дорожной пыли и ветер**, в то время как PM₁₀ образуется в основном из источников сгорания, включая **бытовое отопление и транспорт**. К другим значительным источникам относятся **промышленные процессы и электростанции**. В естественных условиях частицы попадают в атмосферу во время **вулканической деятельности, пожаров, эрозии и воздействия морской воды** (WHO, 2013). **Пыльные бури, возникающие из-за отсутствия растительного покрова**, также могут способствовать появлению PM₁₀ в атмосфере.

Основные антропогенные источники

- строительные работы
- транспорт
- бытовое отопление
- промышленные процессы
- электростанции работы

Существует прямое негативное воздействие высокой концентрации твердых частиц на здоровье человека (ВОЗ, 2005). Эффект зависит от размера, химического состава и формы, но в целом касается дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Твердые частицы обладают токсическим и генотоксическим действием – повышают канцерогенный риск (Karlsson et. al., 2004), влияют на структуру и целостность эндотелиальных клеток, увеличивают

вероятность тромбоза сосудов (Gilmour et al., 2005), повышают свёртываемость крови и риск развития инсульта, инфаркта миокарда и атеросклероза (Künzli et al., 2005).

Твердые частицы могут выступать в качестве катализаторов химических реакций на своей поверхности. Таким образом, токсическое действие твердых частиц усиливается за счет содержания в воздухе других загрязняющих веществ. Все эти особенности не позволяют однозначно определить „безопасную“ концентрацию РМ в воздухе. Поэтому эксперты ВОЗ разработали рекомендуемые значения, определяющие минимальный риск для здоровья населения.

ВОЗ предлагает руководство по среднегодовым значениям концентрации твердых частиц в воздухе, призванное дать рекомендации по снижению воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека. Для твердых частиц (РМ₁₀) это значение составляет **20 мкг/м³**. Кратковременные уровни загрязнения не должны превышать 50 мкг/м³ (РМ₁₀) в среднем за 24 часа (WHO, 2023).

Загрязнение воздуха в результате горнодобывающей деятельности

Загрязнение воздуха от горнодобывающей деятельности в Казахстане в основном сосредоточено в нескольких регионах, где расположены горно-металлургические комплексы. К регионам, где загрязнение воздуха от горных работ является основной проблемой, относятся Карагандинская, Восточно-Казахстанская, Павлодарская и Атырауская области. **Тип загрязняющих веществ в воздухе в окрестностях карьеров зависит от добываемых полезных ископаемых и методов добычи:**

Одним из крупнейших угледобывающих регионов страны является Ка-

рагандинский угольный бассейн. Он является одним из крупнейших источников загрязнения воздуха от горнодобывающей деятельности в Казахстане. Высокие концентрации **диоксида азота (NO₂)** наблюдаются также в Павлодарской области, где расположено несколько горно-металлургических комплексов, в том числе Аксуский завод ферросплавов.

Что касается загрязнения **диоксидом серы (SO₂)**, то значительные источники находятся вблизи Балхаша в Карагандинской области, а также в промышленном городе Жезказган и его окрестностях (Аскарлов и др., 2023). В этих местах расположены крупнейшие медные рудники, при добыче на которых образуется SO₂. К числу крупных горнодобывающих предприятий относятся, например, Жезказганский медеплавильный завод и Балхашский медеплавильный завод.

Что касается **метана (CH₄)**, то в Атырауской области расположено несколько нефтегазовых месторождений и сопутствующая инфраструктура, которые также могут вносить свой вклад в загрязнение атмосферы, поскольку к антропогенным источникам метана относятся добыча и переработка нефти. Объем выбросов метана в атмосферу зависит от вида добычи.

В других регионах страны подземная добыча угля и открытая добыча имеют различный уровень выбросов метана, причем при подземной добыче выбросы метана обычно больше, чем при открытой. Это объясняется тем, что при подземной добыче уголь извлекается из подземных пластов, где на объем пласта приходится больше метана, в то время как при открытой добыче удаляется только вышележащая порода ради доступа к угольным пластам с меньшей концентрацией метана (Irvin and Tailakov, 2000).

Угольные электростанции были построены в Казахстане для удовлетворения энергетических потребностей тяжелой промышленности страны. Они были созданы в северных, центральных и восточных регионах Казахстана, поскольку в этих

районах находятся действующие угольные шахты. На долю электроэнергетики и металлургии приходится 37% и 30% валовых промышленных выбросов страны соответственно. Эти два основных промышленных сектора вносят значительный вклад в выбросы парниковых газов в Казахстане.

Предельные уровни загрязнения воздуха в Казахстане

Законодательство Казахстана содержит четкие рекомендации по мониторингу качества атмосферного воздуха, изложенные в Экологическом кодексе и Правилах единой государственной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов. Государственный контроль за уровнем концентрации загрязняющих веществ осуществляется с помощью стационарных и передвижных постов, находящихся в ведении государственного учреждения „Казгидромет“. По закону все собранные данные должны храниться в „Национальном банке данных о состоянии окружающей среды и природных ресурсов Республики Казахстан“, что обеспечивает доступ общественности к этой информации.

Помимо государственной системы Казгидромета, подведомственной Министерству экологии и природных ресурсов, существуют различные независимые системы мониторинга. Они созданы региональ-

ными властями и общественными активистами. К сожалению, доступ к данным этих систем возможен только в режиме онлайн и в индивидуальном порядке для каждой точки наблюдения. Государству еще предстоит интегрировать и использовать данные, собранные этими разрозненными системами мониторинга, в каком-либо согласованном виде. В этом отношении спутниковые данные могут быть использованы для сбора независимых данных и оценки загрязнения.

В рамках мониторинга и улучшения качества воздуха в Казахстане установлены экологические пределы загрязнения воздуха. В стране принят национальный стандарт предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Он устанавливает предельно допустимые концентрации нескольких загрязняющих веществ, включая диоксид серы (SO₂), диоксид азота (NO₂), оксид углерода (CO) и твердые частицы (PM₁₀ и PM_{2.5}). В Казахстане также создана национальная сеть мониторинга качества воздуха (НСМКВ), которая измеряет уровень содержания различных загрязняющих веществ в воздухе в различных регионах страны. Данные этой сети используются для оценки соблюдения норм ПДК и выявления районов, где загрязнение воздуха может представлять значительную проблему (Асанов, 2021). **Предельно допустимые значения загрязнения веществ в Казахстане превышают рекомендации ВОЗ (табл. 1).**

Загрязнитель	Однократная МДК, мкг/м ³		Среднесуточная МДК, мкг/м ³		Среднегодовая МДК, мкг/м ³	
	Казахстан	ВОЗ	Казахстан	ВОЗ	Казахстан	ВОЗ
PM ₁₀	300	-	60	50	-	20
PM _{2.5}	160	-	35	25	-	10
SO ₂	500	-	50	20	-	-
NO ₂	200	-	40	-	-	40

Таб. 1: Предельные значения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по данным ВОЗ и национальным стандартам Казахстана. Источник: Асанов, 2021.

Влияние COVID-19 на загрязнение атмосферного воздуха в Казахстане

Как и большинство стран мира, Казахстан также пострадал от пандемии COVID-19. Первый случай заболевания COVID-19 в Казахстане был зарегистрирован в начале марта 2020 г., и с тех пор страна пережила несколько волн пандемии. Правительство принимало различные меры по замедлению распространения вируса, включая локдауны, введение комендантского часа, ограничения на посещение мест массового скопления людей и транспорта. **Первое ограничение было введено с 16 марта по 11 мая 2020 года.** 19 марта 2020 года был введен строгий карантин в городах Астана и Алматы, где было зарегистрировано наибольшее количество случаев заболевания. 30 марта 2020 г. под запрет попали Атырау и пять городов Карагандинской области. COVID-19 оказал значительное влияние на систему здравоохранения, экономику и повседневную жизнь в Казахстане. Пандемия оказала значительное негативное влияние на экономику Казахстана: внутреннее потребление сократилось на 40%, а темпы роста ВВП снизились на 2,8% в 2020 году (Flanders Investment & Trade, 2022).

Влияние физико-географических условий на распределение воздушных масс

На погоду Казахстана влияет его резко континентальное климат с большим перепадом температур в течение года. Наблюдается значительное увеличение солнечной радиации с севера на юг. Наибольшее количество солнечной энергии страна получает с июня по август. Рельеф Казахстана разнообразен, большая часть территории представлена равнинными мелкопочными районами (FAO, 2021). Ветровой режим варьируется в течение года: зимой преобладают юго-западные ветры, в пустынных районах – северо-восточные, а летом – северо-западные, северные и северо-восточные ветры. В горных районах и прибрежных зонах наблюдаются местные ветры (Национальная гидрометеорологическая служба, 2023). Строение гор на юге и юго-востоке оказывает влияние на воздушные потоки в глобальном масштабе, являясь естественным барьером для прохождения холодных воздушных масс на юг.

ДАННЫЕ И МЕТОДОЛОГИЯ

Sentinel-5P

Sentinel-5P (S5P) – спутник, предназначенный для мониторинга атмосферы, запущенный в октябре 2017 года в рамках программы ЕС „Коперник“. На его борту установлен спектрометр TROPOMI („Прибор для мониторинга тропосферы“), охватывающий диапазон длин волн от ультрафиолетового до коротковолнового инфракрасного. S5P ежедневно измеряет содержание таких газов, как NO_2 , озон, формальдегид, SO_2 , метан, угарный газ и аэрозоли с пространственным разрешением около $5,5 \text{ км} \times 3,5 \text{ км}$ (~7 км до ~5,5 км до августа 2019 года).

Использовались данные Sentinel-5P Level-2 (L2) с отфильтрованными по порогу 0,5 пикселями, соответствующими „значению обеспечения качества“. Продукты NO_2 и CO (с мая 2018 года по декабрь 2022 года) получены через SH. Использовались данные L2, при этом отфильтровывались пиксели с „значением гарантии качества“ менее 0,5. Значение обеспечения качества является важным параметром, снижающим бесшовность покрытия интересующих областей данными S5P. Это учитывается в настоящей методике.

Служба мониторинга атмосферы „Коперник“ (CAMS)

Мониторинг концентраций твердых частиц (PM_{10}) и диоксида серы (SO_2) был осуществлен с помощью Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS). CAMS, являющаяся частью программы „Коперник“, реализуемой Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF),

предоставляет глобальную, контролируруемую по качеству информацию, связанную с загрязнением воздуха, солнечной энергией, парниковыми газами и климатическими факторами.

В Казахстане для измерения SO_2 и PM_{10} использовались глобальные прогнозы состава атмосферы CAMS (с пространственным разрешением $0,4 \times 0,4^\circ$). Прогнозы включают более 50 химических веществ (например, озон, диоксид азота, диоксид углерода) и семь различных типов аэрозолей (пыль пустыни, морская соль, органическое вещество, черный углерод, сульфатный, нитратный и аммиачный аэрозоль). Анализ, представляющий собой наиболее точную оценку состояния атмосферы на начало прогнозируемого периода, производится путем объединения последних спутниковых наблюдений с предыдущим прогнозом с помощью метода, известного как ассимиляция данных. Этот метод используется для создания начальных условий для каждого прогноза. Как анализ, так и прогноз доступны с почасовым временным шагом для различных уровней давления (CAMS, 2022).

Прежде чем интерпретировать результаты анализа загрязнения воздуха SO_2 , необходимо упомянуть об изменении внесенном производителем в используемый набор данных CAMS. Начиная с 7 июля 2019 года пересчет данных модели был изменен с целью увеличения вертикального разрешения с 60 до 137 уровней. Возможность сравнения данных осталась только на уровне земной поверхности. Концентрации SO_2 в данном отчете анализируются на уровне поверхности, но, судя по результатам анализа, в некоторых случаях данные были затронуты и на уровне земной поверхности. Более подробно это описано в главе „Результаты“ в разделе „Диоксид серы (SO_2)“.

Принципы обработки данных

Все данные были автоматически загружены и предварительно обработаны с помощью собственных скриптов Python и сервиса SH за период исследования с мая 2018 по декабрь 2022 года. Финальные этапы обработки выполнялись на компьютерной версии ГИС. На картах и графиках загрязняющие вещества приводились в следующих единицах:

- NO_2 и CO в концентрации 10^{-4} моль/ м^2
- PM_{10} и SO_2 в $\text{мкг}/\text{м}^3$
- CH_4 в миллиардных долях (млрд^{-1}), что чаще всего используется в контексте концентраций этого загрязняющего вещества (исходные значения были разделены на 0,0045, чтобы получить млрд^{-1})

Периодичность пролета Sentinel-5 над Казахстаном составляет более одного раза в сутки с перекрытием сканирования в высоких широтах, что обусловлено околополярной, солнечно-синхронной орбитой спутника. Таким образом, обработанные данные включают в себя все доступные спутниковые измерения. Использование всех доступных данных предполагает объединение данных с нескольких спутниковых орбит с различными размерами и ориентацией сетки. Для решения этой проблемы все спутниковые наблюдения S5P были перемасштабированы для получения регулярной сетки с разрешением 1×1 км. Важно понимать, что качество доступных пикселей сильно зависит от погодных условий, погрешностей датчиков и других параметров, таких как облачность.

SAMS предоставляет ежедневные оценки концентраций загрязняющих веществ, рассчитанные на основе комбинации спутниковых данных, наземных наблюдений и численных моделей. Глобальная версия модели оценивает концентрацию загрязняющих веществ для двух временных точек в день: в 0:00 и в 12:00. Европейская версия модели дает почасовые оценки.

Среднесуточные значения рассчитывались путем взятия среднего значения всех суточных концентраций загрязняющих веществ.

Для более глубокого изучения данных суточные значения использовались для расчета различных статистик. К ним относятся средние значения за все время и медианы всех значений, измеренных в период с 2018 по 2022 год, средние значения и медианы за год, средние значения и медианы за сезон, а также средние значения и медианы за месяц. Средние значения для каждого месяца рассчитывались как среднее арифметическое всех значений, измеренных в этом месяце в период с 2018 по 2022 год. Чтобы упростить оценку качества воздуха, обусловленную погодными условиями, при оценке сезоны определялись как 3-месячные периоды зимы (декабрь-февраль), весны (март-май), лета (июнь-август) и осени (сентябрь-ноябрь). Растры, представляющие статистику по пикселям, затем использовались для расчета средних концентраций загрязняющих веществ в различных зонах Казахстана. Эти зоны включали такие административные единицы, как области и районы, а также места добычи нефти и газа, угля, газовые электростанции, угольные электростанции, отдельные города и поселки (города с населением более 100 000 жителей в случае анализа по всей стране и города с населением более 5 000 жителей в случае анализа по Карагандинской области). В качестве основы для расчета зональной статистики использовалась 10-километровая буферная зона вокруг каждой добывающей площадки/электростанции/города.

Для визуализации результатов были созданы карты и графики, отражающие статистику по пикселям и зональную статистику.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние промышленности на загрязнение воздуха

Казахстан входит в число крупнейших мировых производителей нефти, газа и угля. На рис. 3 показано распределение основных угледобывающих регионов, мест добычи нефти и газа. Карту дополняют электростанции, которые также являются значительными загрязнителями атмосферы. Влияние горнодобывающей промышленности и электростанций на увеличение концентрации каждого из выбранных загрязнителей более подробно рассматривается в следующих главах.

Диоксид азота (NO₂)

Общий анализ

Средние значения NO₂ за весь период наблюдений приведены на рис. 4. Видно, что наибольшие концентрации NO₂ наблюдаются в жилых районах и на крупных промышленных объектах. Наиболее высокие концентрации зафиксированы в окрестностях городов Павлодар, Алматы, Шымкент и Караганда. На дополнительных крупномасштабных картах показаны основные районы исследования: город Караганда, где расположены многие горнодобывающие предприятия, Павлодар – один из важнейших промышленных городов Казахстана и Алматы – самый густонаселенный город Казахстана. На повышение концентрации NO₂ в Алматы также может

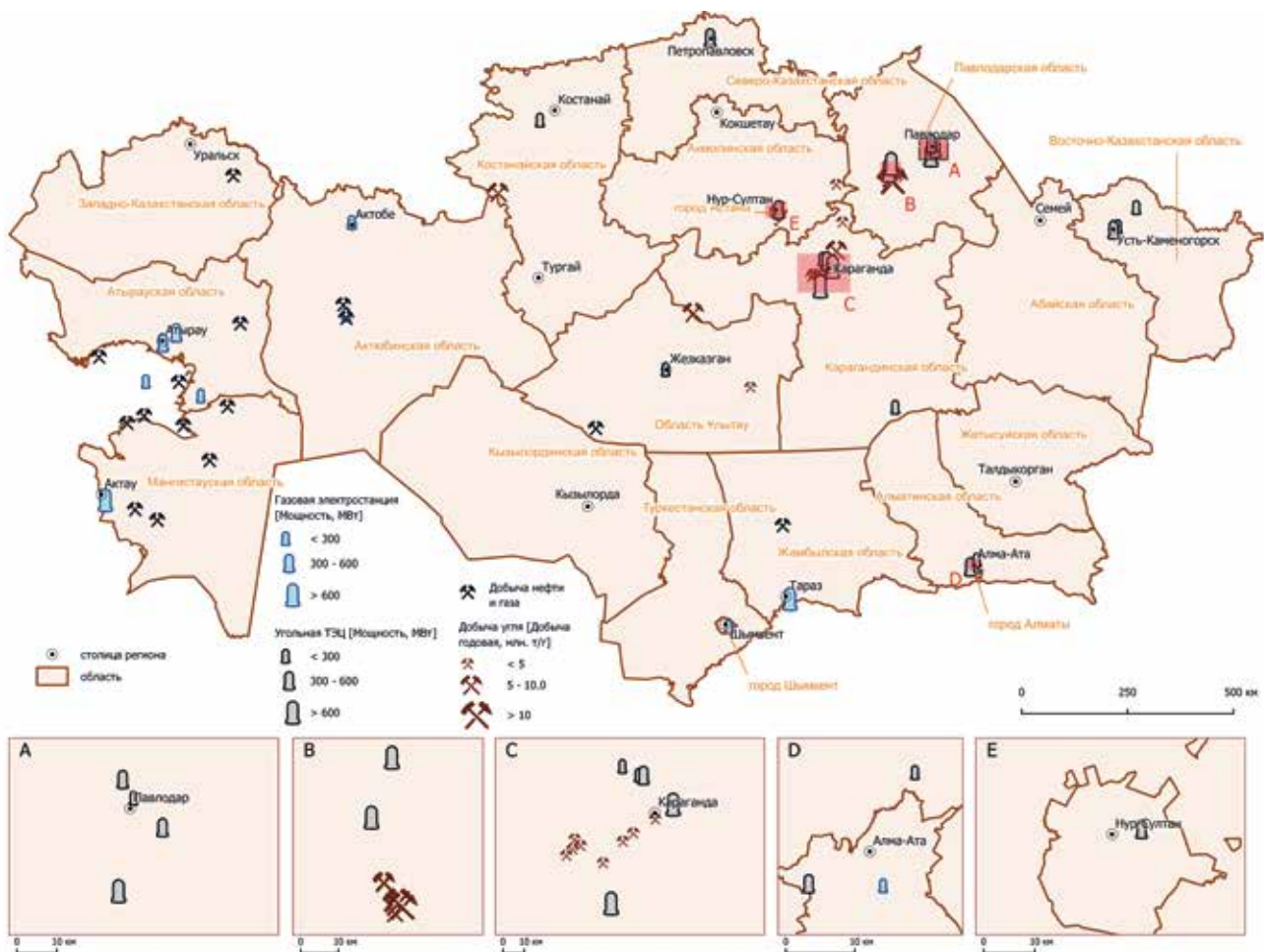


Рис. 3: Распределение основных объектов добычи угля, нефти и газа в Казахстане. Источник: Global Energy Monitor, 2022.

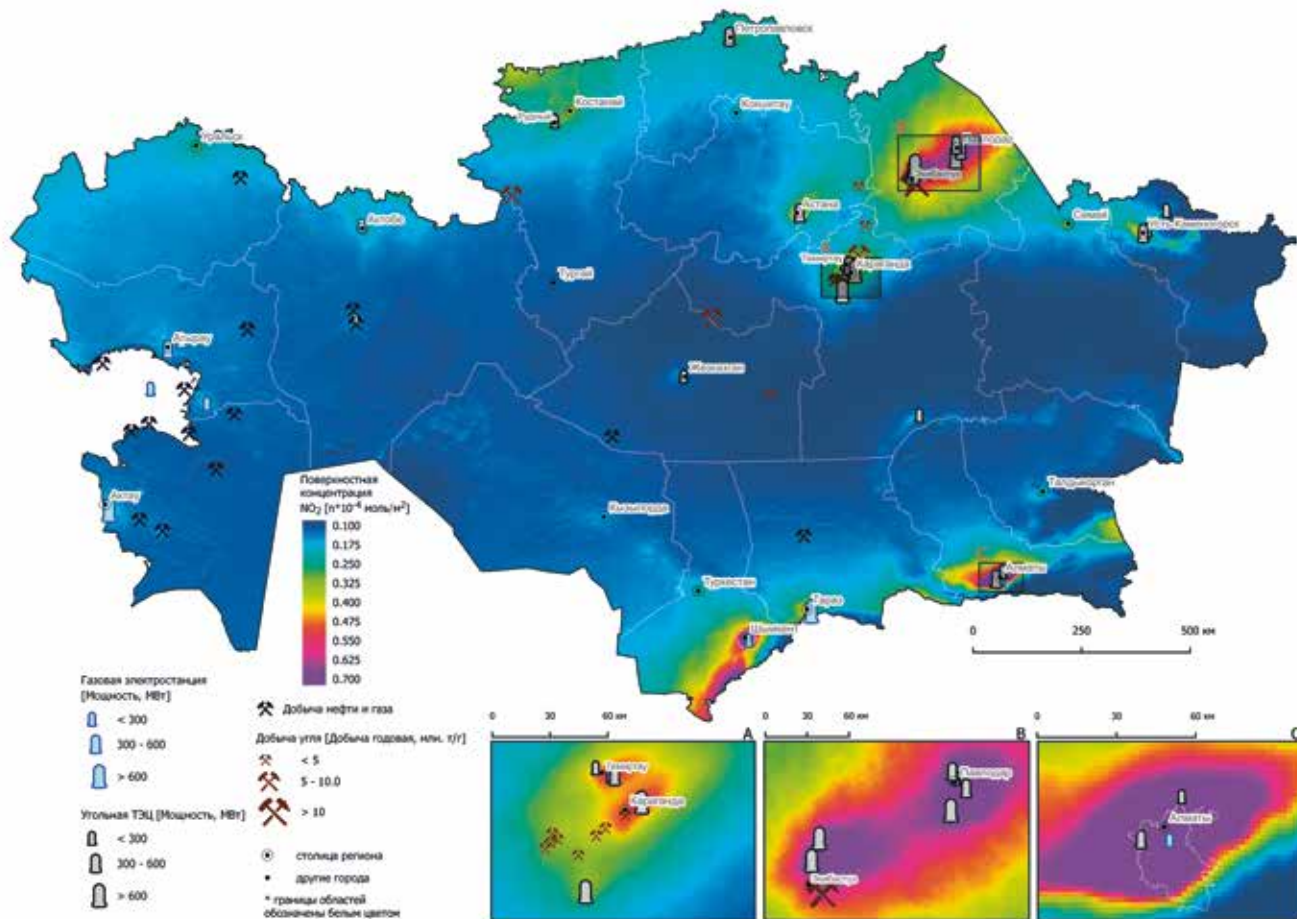


Рис. 4: Средние концентрации NO_2 в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Города: А) Караганда, В) Павлодар, С) Алматы. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

влиять расположение города у подножия гор, что приводит к увеличению концентрации загрязняющих веществ, особенно в зимние месяцы или в условиях смога.

В большинстве районов Казахстана существенных годовых изменений не наблюдается (рис. 5). В целом для окрестностей Павлодара, Астаны и Караганды наблюдается ежегодный рост концентраций NO_2 . Частичное снижение концентрации NO_2 происходит в населенных пунктах в 2020 году вместе с первой волной эпидемиологических ограничений. Последствия введенных ограничений особенно заметны при сравнении периода локдауна с аналогичными периодами за другие годы (см. раздел Пандемия COVID-19 в Казахстане).

Наибольшие концентрации NO_2 по региону наблюдаются в трех крупнейших городах – Алматы ($1,32 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2),

Астане ($0,38 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2) и Шымкенте ($0,79 \cdot 10^{-4}$ моль/ м^2). Однако это небольшие территории. Самые высокие концентрации среди негородских регионов наблюдаются в Павлодарской, Туркестанской и Северо-Казахстанской областях (рис. 6). Загрязнение Павлодарской области можно объяснить наличием многочисленных угольных карьеров и электростанций. Туркестанская область, рассчитанная без учета города Шымкента и не имеющая крупных промышленных предприятий и объектов энергетики, характеризуется высокими концентрациями NO_2 в южной части. Скорее всего, это связано с притоком выбросов из Ташкента – трехмиллионной столицы Узбекистана, расположенной прямо на границе.

Наибольшие концентрации NO_2 наблюдаются в Алматинской области (рис. 7).

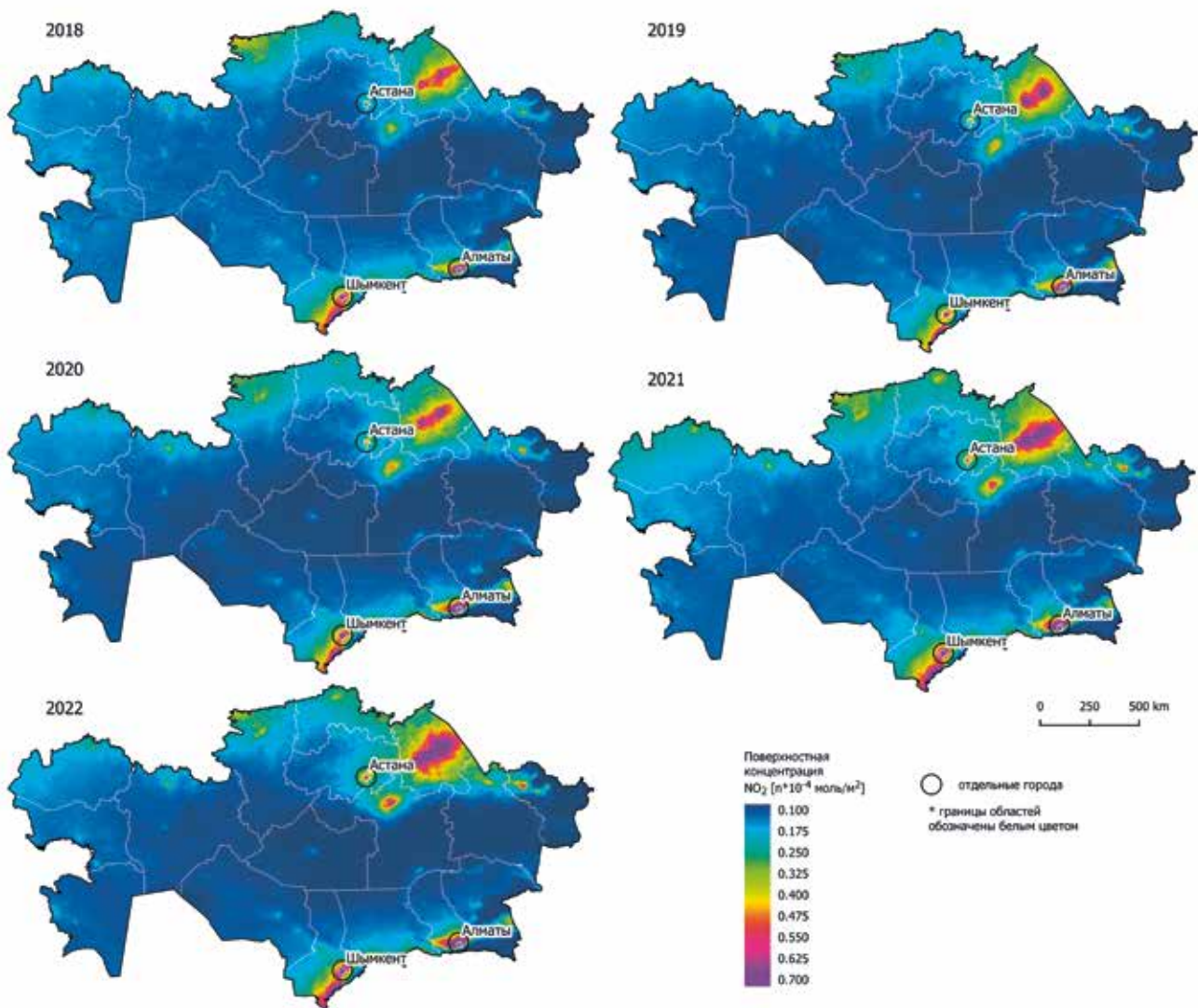


Рис. 5: Среднегодовые концентрации NO_2 в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с u); OpenStreetMap contributors, 2022.

Источниками загрязнения NO_2 здесь являются транспорт, обрабатывающая промышленность, горнодобывающая отрасль и отопление жилых домов.

В городах автомобильный транспорт часто является основным источником выбросов NO_2 (WHO, 2000). Существующая в городе транспортная система в значительной степени опирается на частные автомобили, многие из которых устарели и не отвечают необходимым техническим требованиям. Это способствует увеличению загрязнения воздуха и перегруженности дорог. Кроме того, сеть общественного транспорта не имеет достаточной пропускной способности, чтобы

удовлетворить потребности пассажиров. Сами автобусы зачастую старые и нуждаются в модернизации, сеть метрополитена развита недостаточно, а трамвайные линии отсутствуют. Эти факторы снижают эффективность и доступность общественного транспорта, что еще больше усугубляет зависимость от личного автотранспорта.

Средние концентрации NO_2 в отдельных городах и поселках (с населением более 100 000 человек) представлены на рис. 8. В большинстве городов загрязнение снижается с уменьшением численности населения, за исключением городов, где сосредоточена горнодобывающая про-

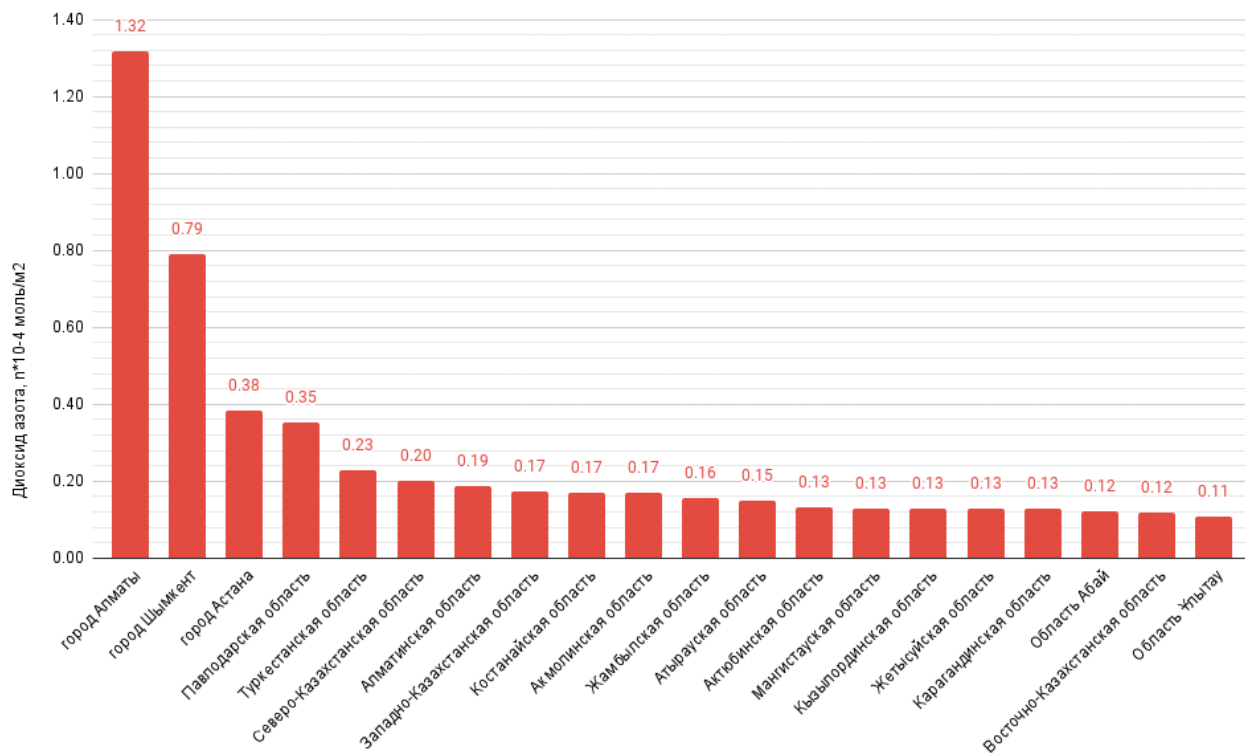


Рис. 6: Средние концентрации NO₂ в областях Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

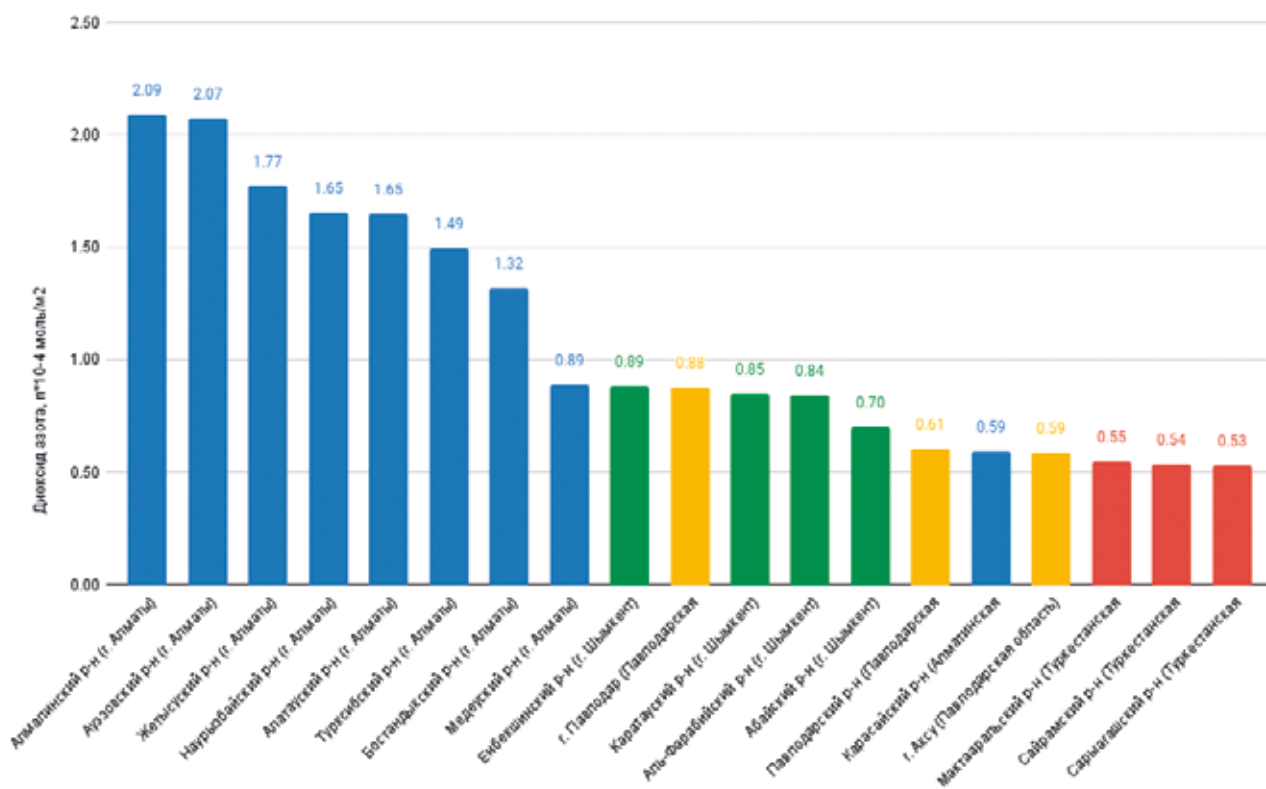


Рис. 7: 20 наибольших концентраций NO₂ в районах Казахстана (с указанием региона) в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

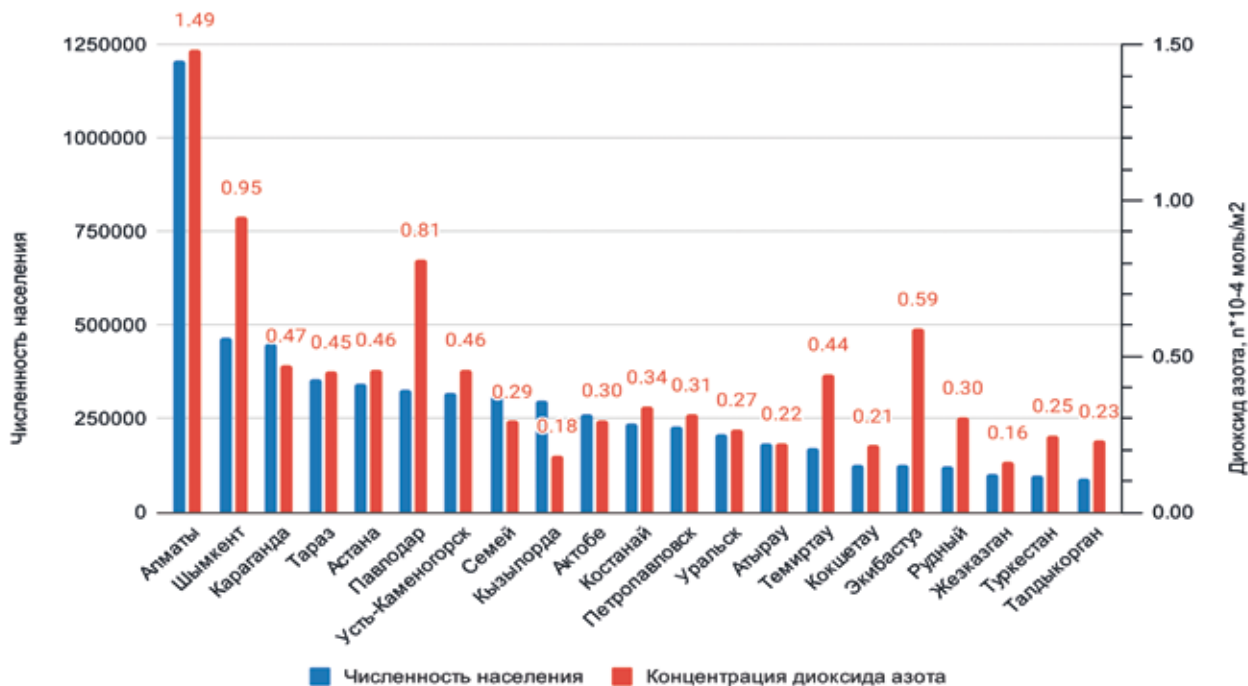


Рис. 8: Средние концентрации NO_2 в отдельных городах Казахстана в период с мая 2018 по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Natural Earth, 2022. Примечание: Информация о численности населения взята из текущей базы данных Natural Earth (2022), где точные даты переписи в основном неизвестны.

мышленность, расположены крупные металлургические предприятия или угольные электростанции. Наибольшее расхождение наблюдается в г. Экибастузе ($0,59 \cdot 10^{-4}$ моль/м²), где концентрация достигает трехкратного значения по сравнению с городами аналогичного размера. Аналогично, примерно двукратные концентрации наблюдаются в городах Павлодар ($0,81 \cdot 10^{-4}$ моль/м²), Темиртау ($0,44 \cdot 10^{-4}$ моль/м²) и Шымкент ($0,95 \cdot 10^{-4}$ моль/м²). Повышенные концентрации также обнаружены в городах Туркестан ($0,25 \cdot 10^{-4}$ моль/м²) и Талдыкорган ($0,23 \cdot 10^{-4}$ моль/м²). В Туркестане трудно определить источник загрязнения. Объяснить это можно более интенсивным движением транспорта и интенсивным производством выбросов местными объектами инфраструктуры, созданными для большого числа паломников и туристов, посещающих Туркестан (The Astana Times,

2021). В Талдыкоргане обширная промышленная зона, расположенная к югу от главного железнодорожного вокзала, создает избыточные выбросы NO_2 . Здесь расположены различные производства, в том числе бетонный завод, аккумуляторный завод и завод по производству компонентов электрооборудования.

Средние концентрации NO_2 в районе угольных электростанций представлены на рис. 9. График построен на основе измерений в радиусе 10 км от места расположения электростанции. Видно, что концентрации NO_2 могут быть связаны не только с отходящими газами электростанций. Некоторые концентрации обусловлены сочетанием выбросов нескольких электростанций, расположенных в одном и том же городе, и в основном другие типы источников вносят свой вклад в повышение уровня NO_2 .

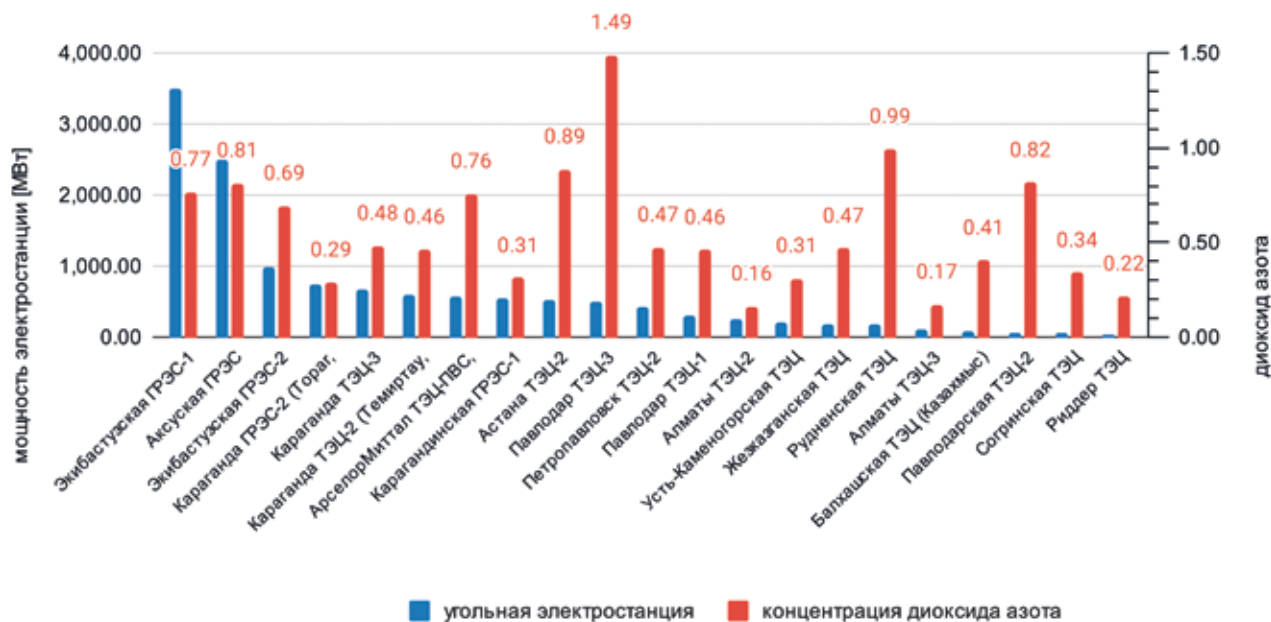


Рис. 9: Средние концентрации NO_2 в районе избранных угольных электростанций в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

Сезонность загрязнения воздуха

Изменения концентраций NO_2 в течение года можно проследить на рис. 10. В целом загрязнение воздуха в Казахстане более выражено в зимние месяцы, что характерно для регионов с холодными зимами. Это связано с тем, что при низких температурах воздух может застаиваться, что приводит к задержке загрязняющих веществ у земли. Одновременно с этим повышенный спрос на энергию в зимний период приводит к увеличению выбросов от источников отопления. Наибольший рост выбросов наблюдается в северных районах страны, а также в окрестностях городов Алматы и Шымкент. Ситуация на севере страны, вероятно, обусловлена трансграничными переносами выбросов из России, особенно из таких промышленно-развитых городов, как Челябинск, Магнитогорск, Курган, а также Михайловского ГОКа, одного из крупнейших в России предприятий по добыче и переработ-

ке железной руды (Металлоинвест, 2020). Вероятно, аналогичный принцип имеет место в Омске и его окрестностях, расположенных вдоль северной российско-казахстанской границы. В весенние и летние месяцы загрязнение в большинстве районов снижается, но в окрестностях Алматы, Шымкента и Павлодара его концентрация по-прежнему высока.

В летние месяцы, более высокие концентрации наблюдались на большей части малонаселенной территории Казахстана (рис. 11). Этому может быть несколько объяснений. Повышение температуры в летний период может приводить к большему перемешиванию атмосферы, в результате чего такие загрязняющие вещества, как NO_2 , рассеиваются на большей площади. Концентрация NO_2 также увеличивается с ростом температуры в летние месяцы, что отчасти связано с усилением фотохимических процессов в атмосфере и вторичным образованием NO_2 (Otero et al., 2021). Осадки также могут играть роль в снижении концентрации NO_2 , вымывая загрязняющие вещества из атмосферы.

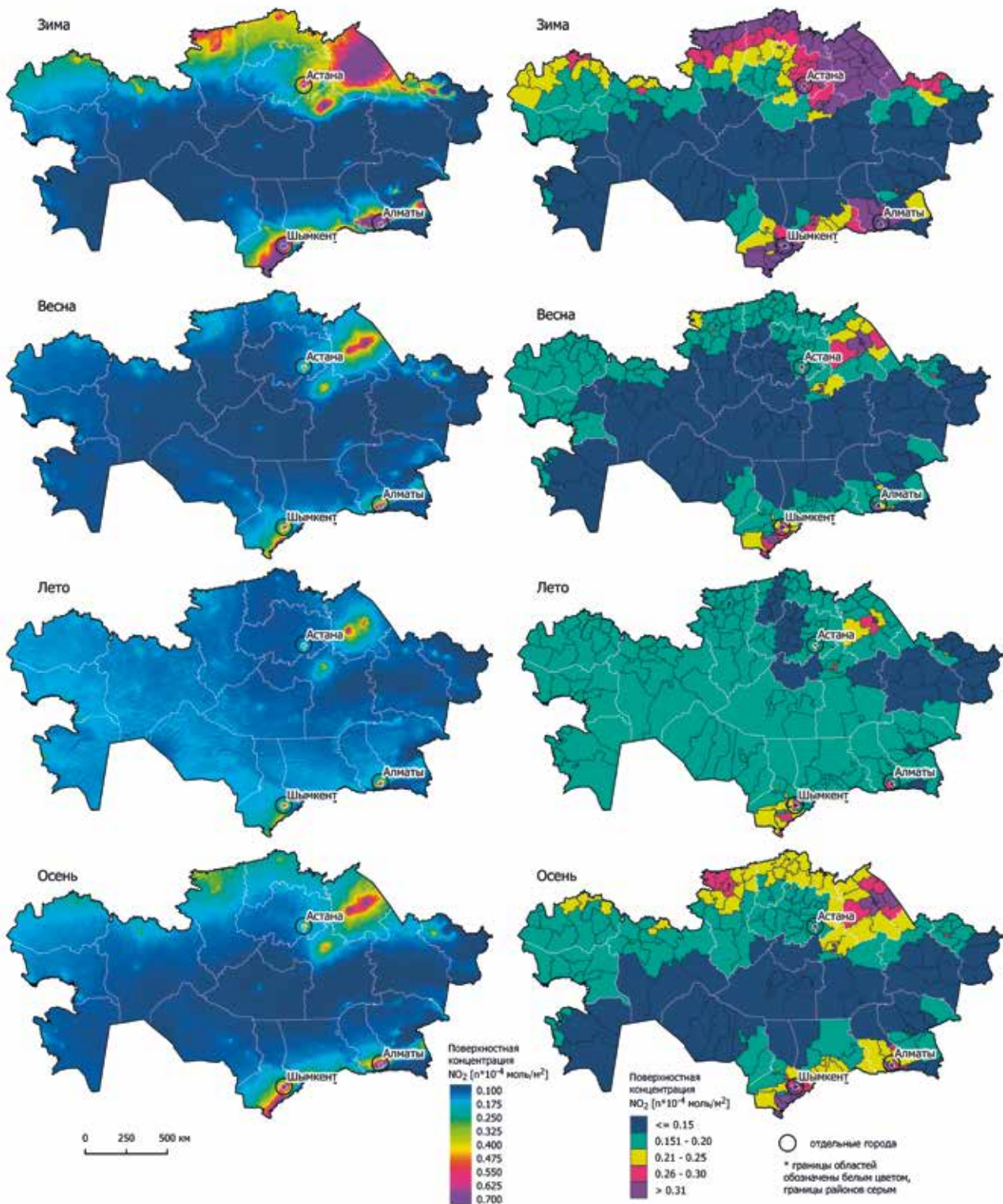


Рис. 10. Средние концентрации NO_2 в районах Казахстана, рассчитанные для сезонов с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

Поэтому в районах с меньшим количеством осадков концентрация NO_2 может быть выше, особенно если поблизости находятся значительные источники выбросов. Однако на концентрацию и рассеива-

ние NO_2 могут влиять и другие факторы, такие как характер ветра и рельеф местности (Xu et al. 2020).

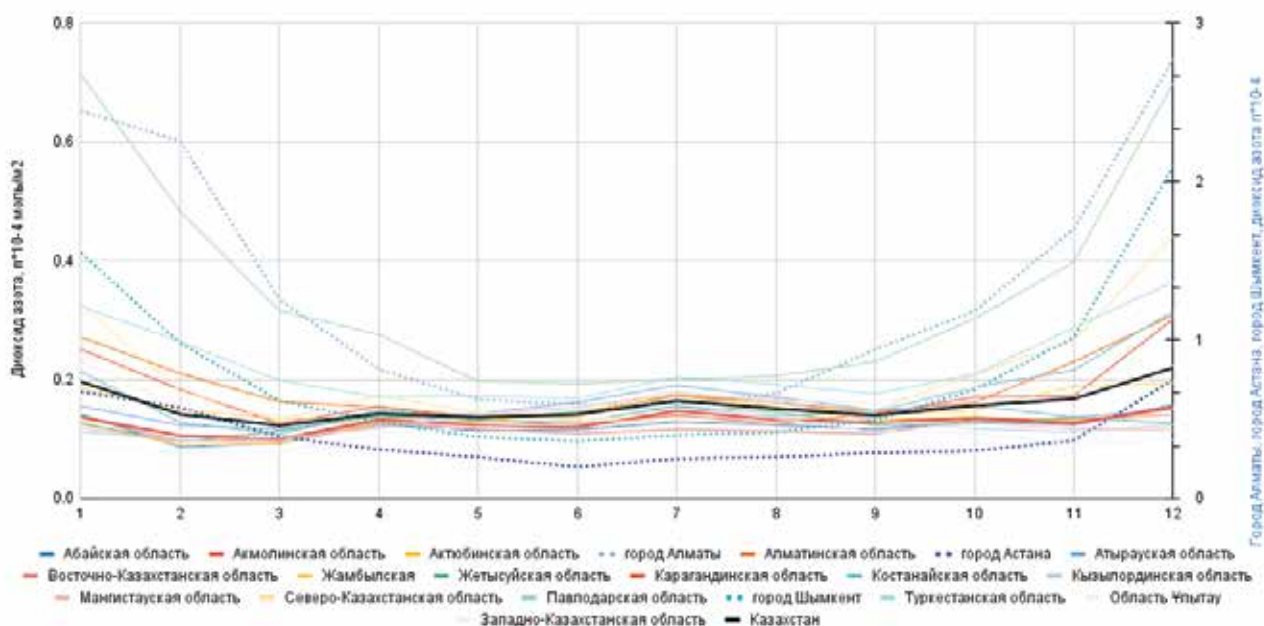


Рис. 11. Среднемесячные концентрации NO_2 в регионах Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022. Примечание: Правая вертикальная ось относится только к Астане, Алмате и Шымкенту, левая вертикальная ось – к остальным регионам.

Пандемия COVID-19 в Казахстане

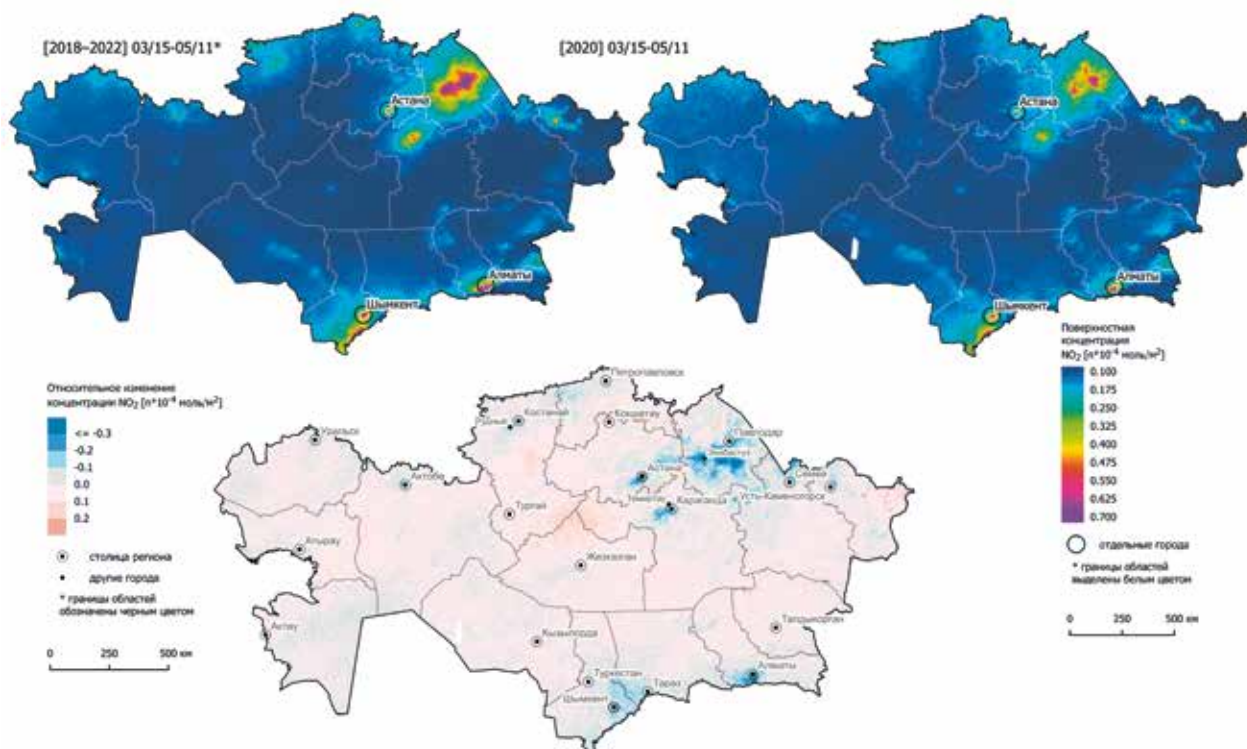


Рис. 12: Концентрации NO_2 для основного периода COVID-19 с 15 марта по 11 мая 2020 года, усредненные для 2020 года (справа) и для 2018–2019/2021–2022 годов (слева). Разница в усредненных значениях – на нижней карте. Получено со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

NO₂ образуется в основном в результате сжигания топлива транспортными средствами и промышленными предприятиями. Во время пандемии COVID-19 эпидемиологические ограничения и снижение экономической активности привели к спаду транспортной и промышленной активности, что, в свою очередь, привело к снижению выбросов NO₂ на многих территориях. На рис. 12 показана разница между периодом эпидемиологических ограничений (15 марта–11 мая) в 2020 году и средними значениями за тот же период других лет (2018-2019, 2021-2022). Наибольшее снижение концентрации NO₂ характерно для крупных городов и промышленных регионов.

Метан (CH₄)

Общий анализ

Данные S5P имеют предел достоверного определения концентрации метана над водоемами и в горных районах. По этой причине порог в 80 достоверных наблюдений (около 10% предел) был выбран в качестве минимального, чтобы достаточно полно представить среднюю концентрацию метана в рассматриваемых районах. Таким образом, частично упускается информация по районам, расположенным вблизи водных объектов и некоторых промышленных зон.

Спутниковые и наземные наблюдения играют взаимодополняющую роль при измерении содержания метана в атмосфере. Наземные приборы наблюдения обеспечивают высокоточные измерения в нижних областях атмосферы, однако такие измерительные приборы расположены в основном в легкодоступных районах. Использование спутниковых данных для измерения концентраций метана на такой большой территории, как Казахстан, достаточно целесообразно. Причины пространствен-

ного распределения средней концентрации метана за исследуемый период (рис. 14) не совсем ясны. Одним из объяснений может быть почвенно-растительный покров и местный климат – засушливая южная часть страны имеет низкий потенциал для разрушения CH₄ гидроксильным радикалом, обычно приносимым влажным воздухом, поэтому здесь наблюдаются участки с более высокими концентрациями CH₄ из более пустынных районов Туркменистана и Узбекистана.

Согласно последнему официальному руководству по выбросам метана из угольных шахт, подготовленному UNECE в 2021 году, несмотря на то, что некоторые открытые разработки имеют значительные запасы газа, крупномасштабные выбросы метана из отдельных открытых разработок встречаются нечасто (этот факт также подтверждается измерениями на рис. 15). В целом выбросы метана на открытых разработках, как правило, ниже, а также более рассеяны по сравнению с выбросами из подземных шахт. С помощью измерений со спутников с более высоким пространственным разрешением удалось выявить часть выбросов. По данным наблюдений GHGSat в 2021 году (Ellis, 2022), на одном из крупнейших карьеров Казахстана и мира „Богатырь“, расположенном в Экибастузе недалеко от города Павлодар концентрация метана превышала 45 000 кг/час. Из-за недостатка данных Sentinel-5 вокруг водных объектов и в горных районах наблюдается недостаток информации вблизи районов добычи полезных ископаемых в окрестностях Павлодара. Однако детальный обзор крупнейших в мире угольных разрезов „Богатырь“ и „Восточный“ без фильтрации данных подтверждает результаты измерений GHGSat, поскольку повышенные концентрации являются исключениями в общем распределении метана в Казахстане.

Хотя добыча угля является основным источником CH₄ в Казахстане, известно, что добыча и переработка нефти и газа также являются значительными источни-

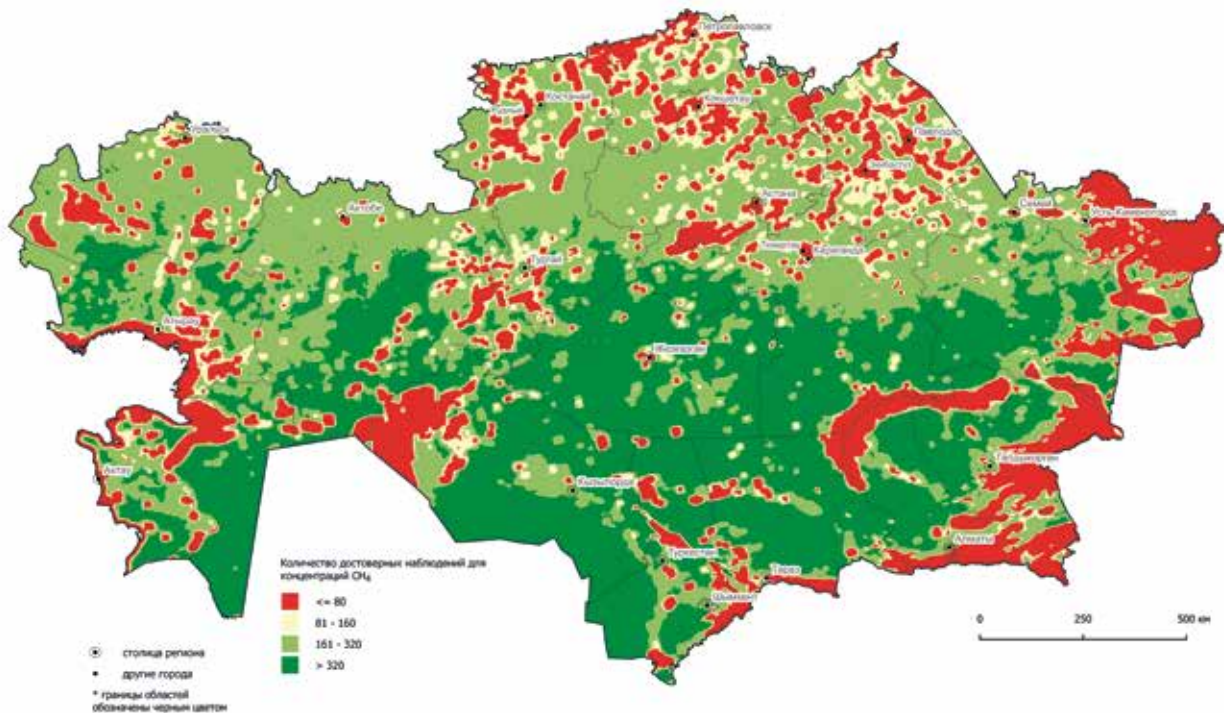


Рис. 13. Действительные наблюдения (на пиксель) концентрации CH₄ в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

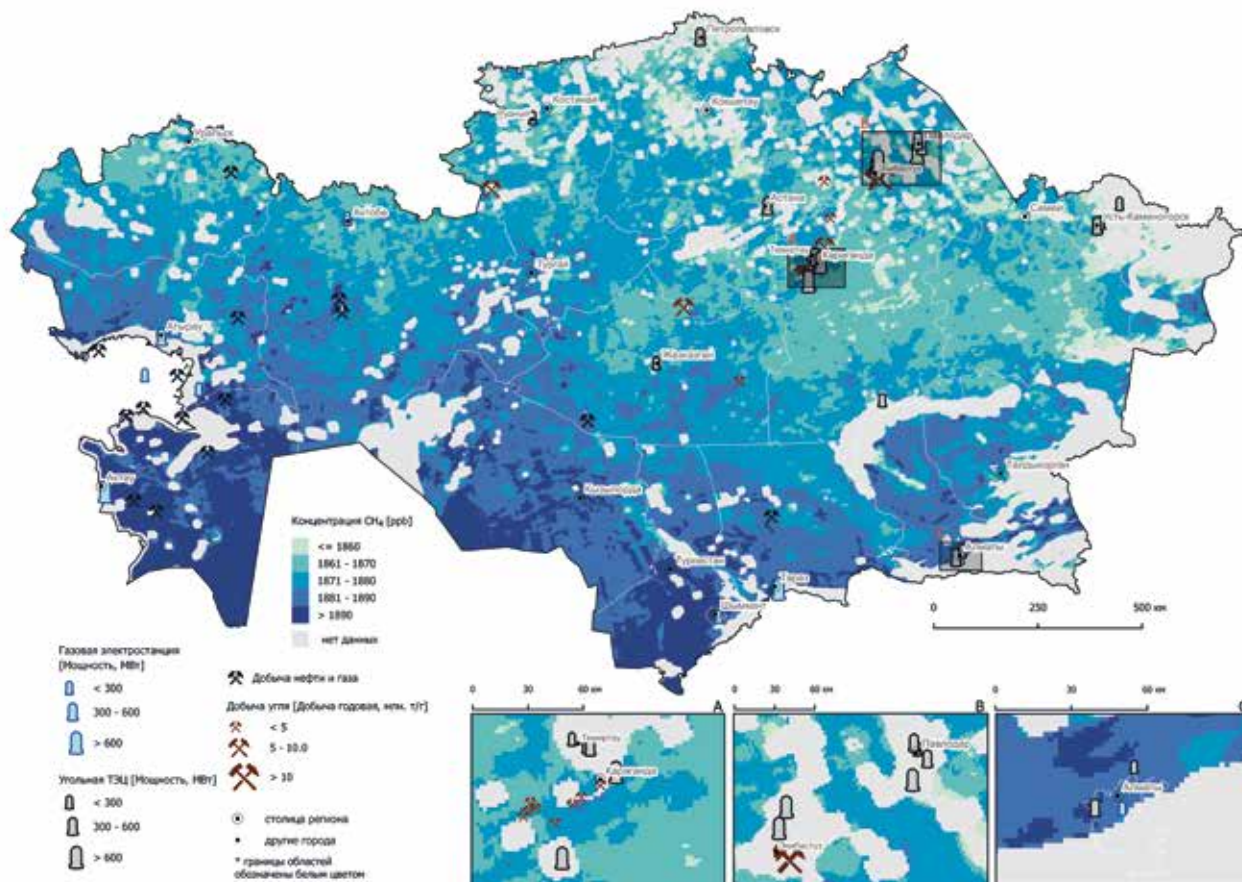


Рис. 14. Средние концентрации CH₄ в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Города: А) Караганда, Б) Павлодар, В) Алматы. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

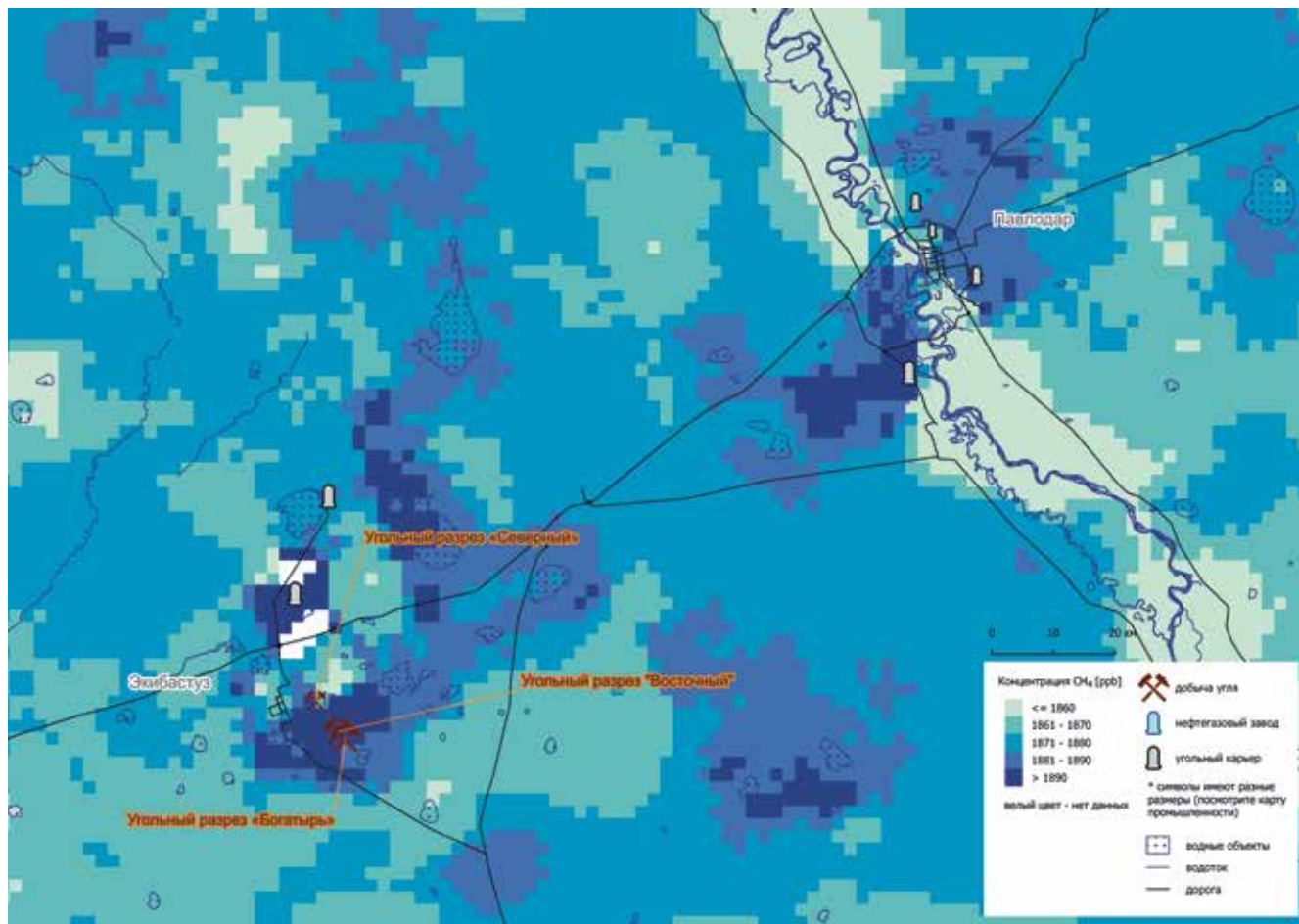


Рис. 15. Средние концентрации CH_4 в районе угледобывающих предприятий в Экибастузе и Павлодаре в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

ками выбросов метана. Однако в данном исследовании влияние этих источников на объем выбросов не прослеживается в виде четкой территориальной закономерности, что, вероятно, связано с возможностями и качеством данных S5P по таким территориям. Средние многолетние выбросы на крупнейших наземных газовых и нефтяных (или комбинированных) месторождениях, таких как Карачаганак вблизи г. Аксай на северо-западе (Западно-Казахстанская область) или месторождения Прикаспийской впадины на западе (например, Тенгиз или Узень), уходят на второй план под влиянием почвенного покрова, который, по-видимому, является основным фактором при фильтрации данных CH_4 по количеству наблюдений и при их усреднении S5P. Помимо

постоянного выброса CH_4 в процессе добычи, значительная часть утечек метана приходится на выбросы во время ремонтных работ или аварий на месторождениях или нефтеперерабатывающих заводах (Lauvaux et al., 2022). Настоящая методика значительно занижает долю выбросов метана в таких случаях. Однако установлено, что угольная, нефтяная и газовая промышленность Казахстана на протяжении длительного времени не улавливает значительную часть выделяющегося метана по сравнению с США или Украиной (Рощанка и др., 2017; Carbon Limits, 2016). Для выявления эмиссионного потенциала нефтегазовых месторождений страны необходимо использовать другие аналитические методы.

Средние концентрации по отдельным

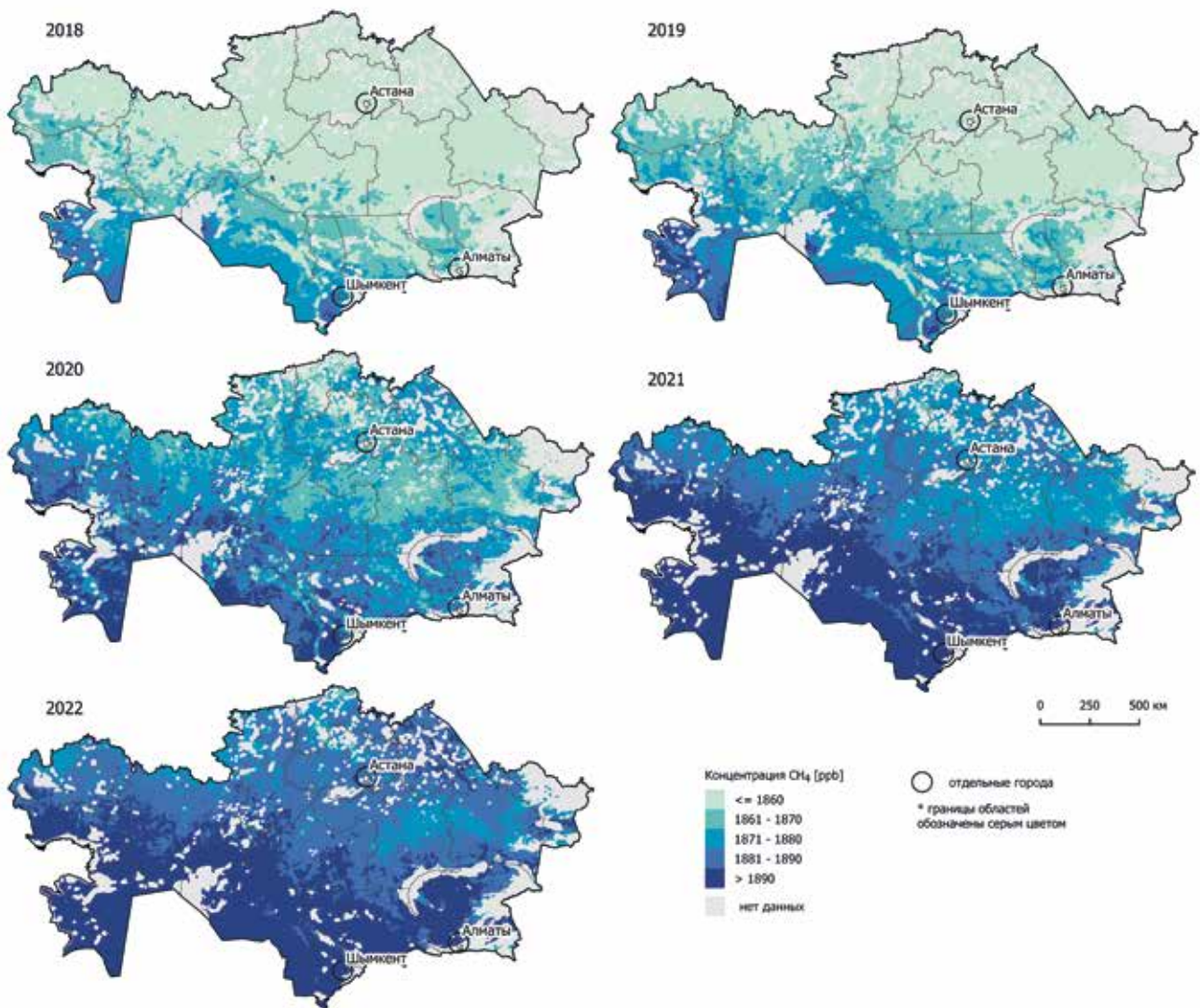


Рис. 16. Среднегодовые концентрации CH_4 в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

годам за исследуемый период представлены на рис. 16. С 2018 по 2022 год на всей территории Казахстана наблюдается ежегодный рост показателей. Это соответствует глобальной тенденции ежегодного увеличения количества метана в атмосфере (NOAA-Ian, 2023). Среднегодовой прирост в Казахстане за исследуемый период в рамках данного анализа был рассчитан на уровне $9,2 \text{ млрд}^{-1}$, что очень близко к среднемировому показателю ($9 \text{ млрд}^{-1}/\text{год}$ с 2006 года) (Copernicus, 2021).

Наиболее высокие концентрации по регионам наблюдаются в городе Шымкенте и прилегающей к нему Туркестанской области, а также в Мангыстауской, Тур-

кестанской и Кызылординской областях (рис. 17). Характер этих концентраций не указывает на конкретные антропогенные источники и, возможно, объясняется более низким окислительным потенциалом CH_4 на засушливом юге Казахстана.

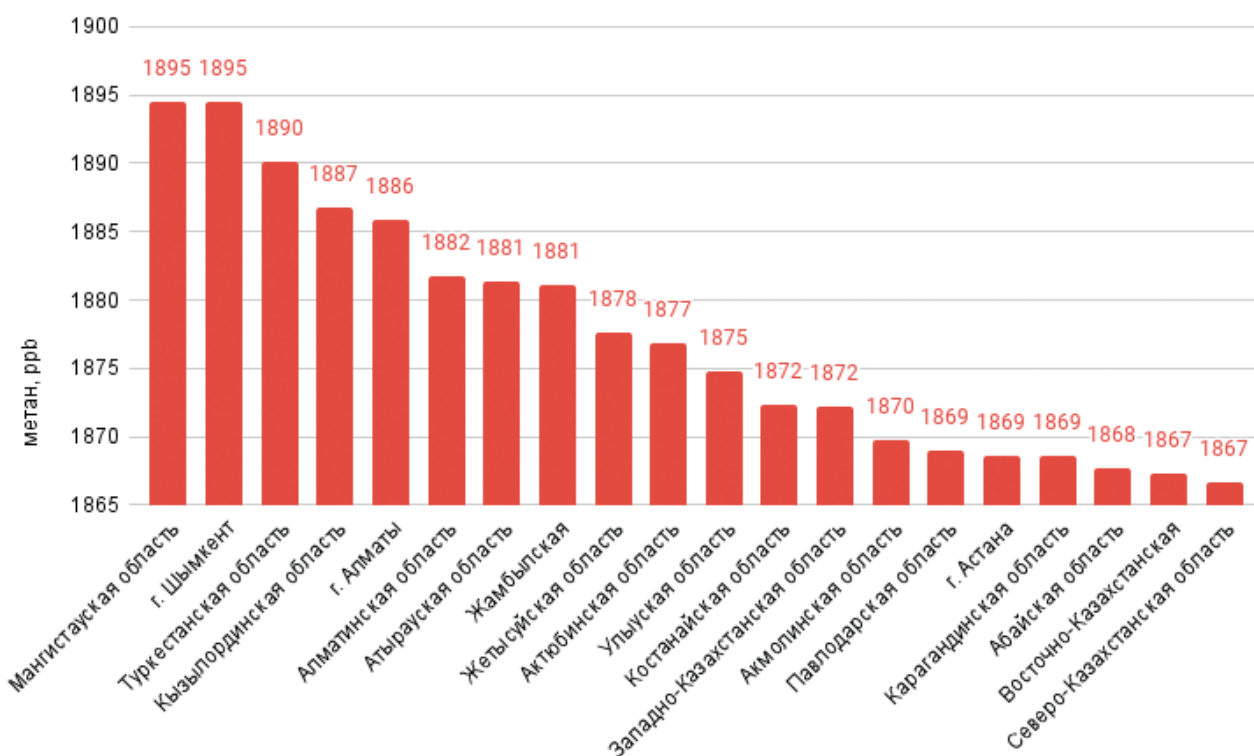


Рис. 17. Средние концентрации CH_4 в областях Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 г., полученные со спутника Sentinel-5P. Источник: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями).

Сезонность загрязнения воздуха

На рис. 18 показано сезонное изменение концентраций CH_4 в Казахстане. Природные условия оказывают значительное влияние на уровень загрязняющих веществ по нескольким параметрам. Здесь наиболее ярко проявляется окисление под воздействием гидроксид-иона $\bullet\text{OH}$. В районах с малым количеством осадков, низкой влажностью и скудной растительностью

(например, на голых землях или в пустынях) концентрация метана наиболее высока независимо от времени года. По результатам исследований было установлено, что метан имеет месячные колебания: наибольшие концентрации наблюдаются в октябре и сентябре, а наименьшие в марте и апреле (Javadinejad et al., 2019). Это подтверждается и при анализе – самые низкие концентрации в Казахстане приходятся на весенние месяцы, а самые высокие на осень (рис. 19).

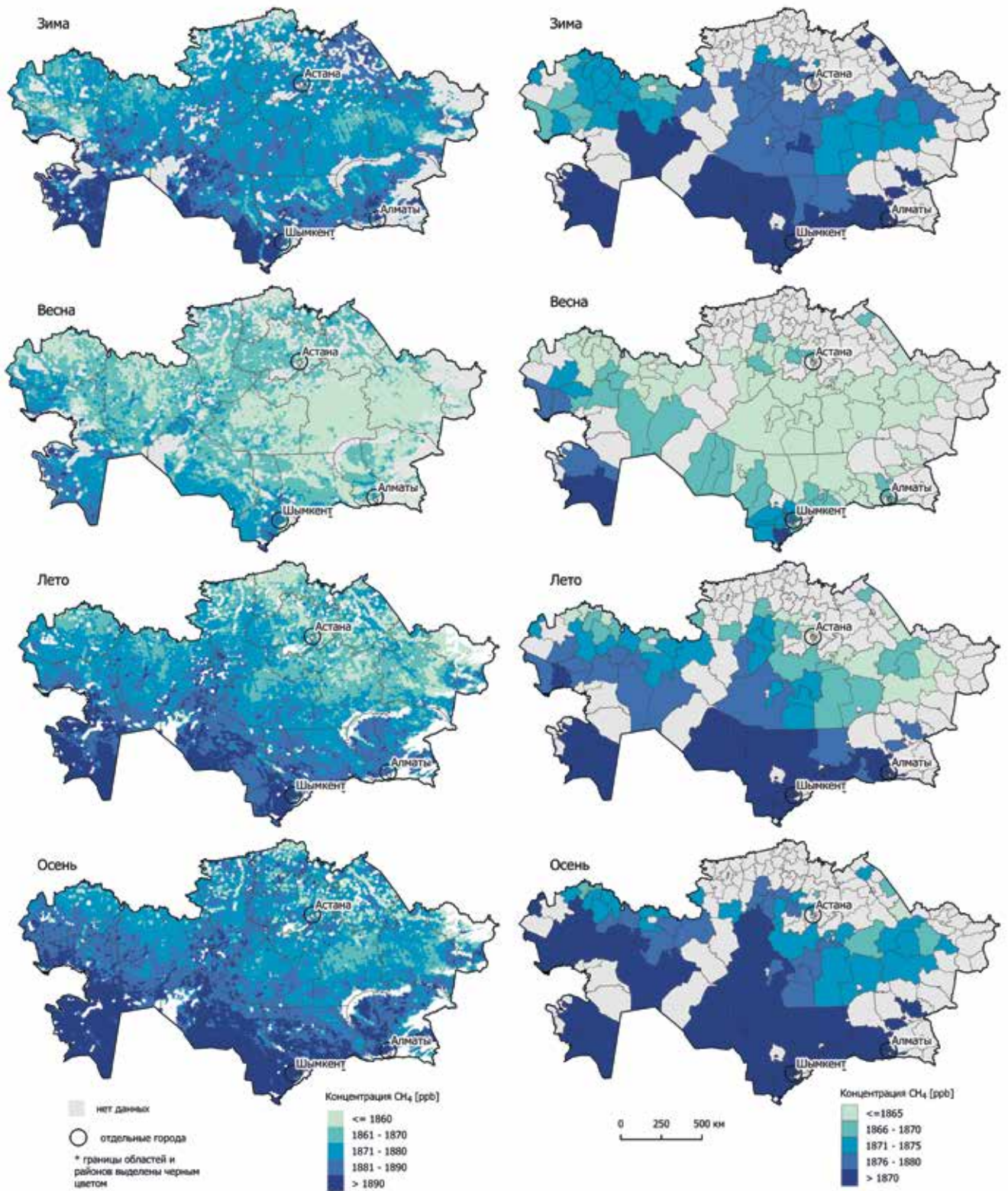


Рис. 18. Среднесезонные концентрации CH₄ в Казахстане по районам областей (слева) и в целом (справа) в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022.

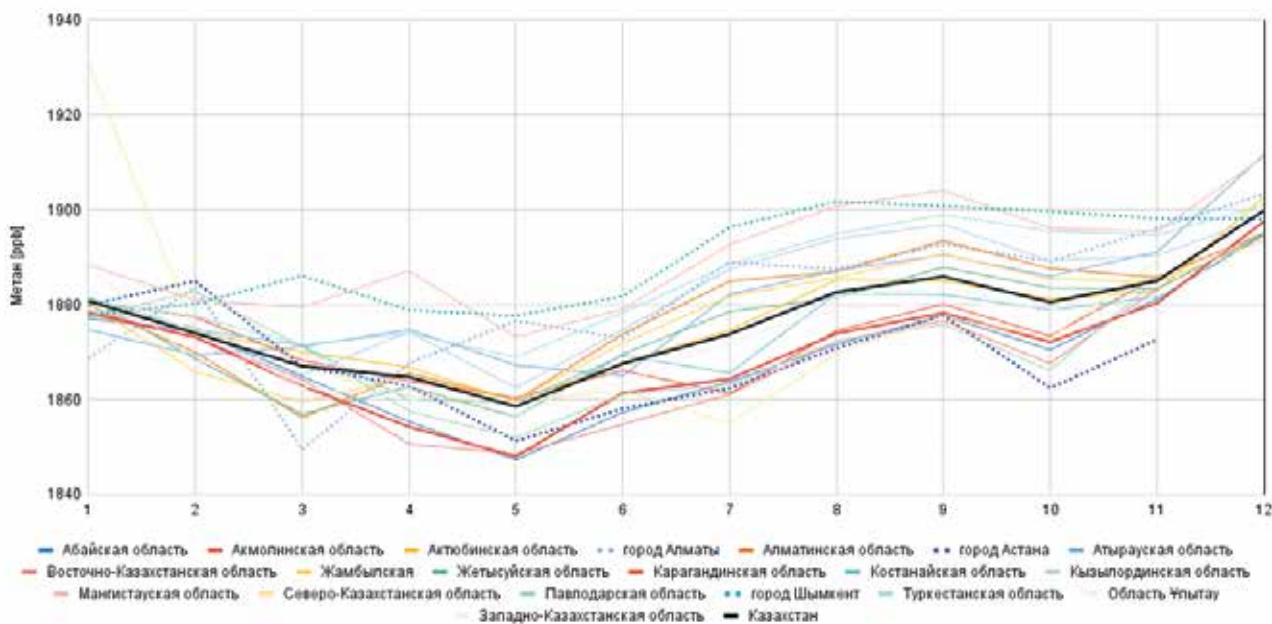


Рис. 19. Среднемесячные концентрации CH_4 в областях Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022, полученные со спутника Sentinel-5P. Источник: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями). Примечание: Значения за декабрь для Астаны (город) и Костанайской, Северо-Казахстанской, Павлодарской и Западно-Казахстанской областей недоступны из-за отсутствия достоверных наблюдений.

Диоксид серы (SO_2)

При анализе загрязнения воздуха SO_2 по данным SAMS необходимо учесть изменение модельных расчетов в 2019 году. По этой причине средние значения загрязнения в Казахстане визуализируются на двух отдельных картах.

Общий анализ

Сравнение периодов наблюдений 2018–2022 и 2020–2022 гг. на рис. 20. показывает, что модельные данные до 2019 года имеют тенденцию к недооценке или переоценке некоторых районов. В частности, влияние изменения проявляется в окрестностях города Жезказган и к северо-западу от Астаны.

Медные рудники к югу от Жезказгана являются значительными производителями SO_2 . При переработке меди на меде-

плавильных заводах элементарная медь выделяется из медных концентратов через несколько стадий сульфидного окисления. Это отражается в повышенных значениях SO_2 в этой части Казахстана.

В других местах обнаруженное загрязнение наблюдается на обеих картах. Наибольшие средние концентрации зафиксированы в районах с горнодобывающей промышленностью и угольными электростанциями. Особенно это касается Павлодарской и Алматинской областей. Высокие концентрации были также отмечены в районе Оскемена, Астаны и Караганды. В ряде мест средние значения превышают предельно допустимые суточные нормы (ПДК) концентрации SO_2 по данным ВОЗ (20 мкг/м^3) и даже по стандартам качества Казахстана (50 мкг/м^3).

Различия, вызванные изменением модельного расчета SO_2 , хорошо видны на рис. 21. На карте видны существенно повышенные значения в 2018 и 2019 годах для двух упомянутых выше мест (окрестно-

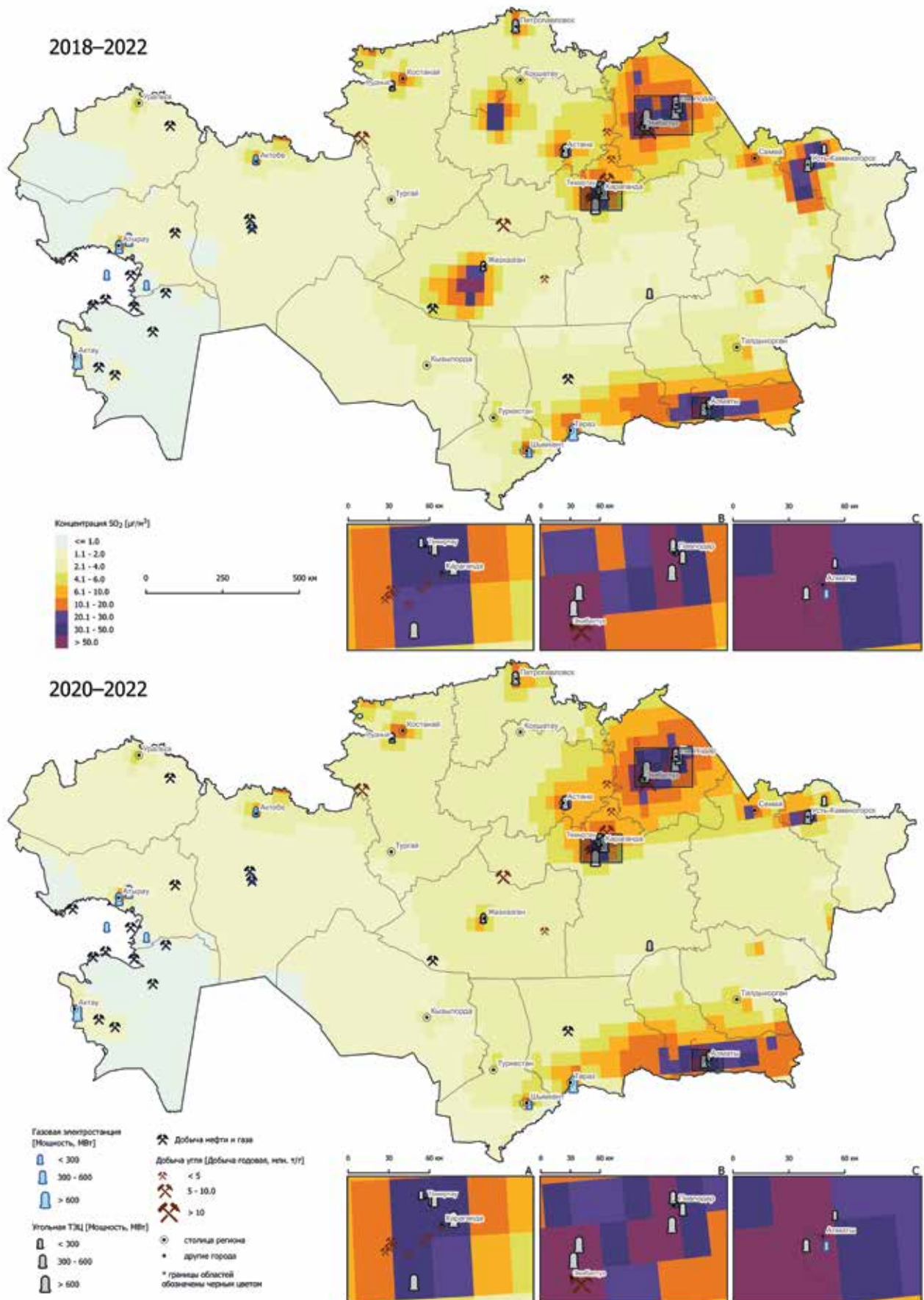


Рис. 20. Средние концентрации SO_2 в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022 (вверху) и с января 2020 года по декабрь 2022 (внизу) по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источник: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

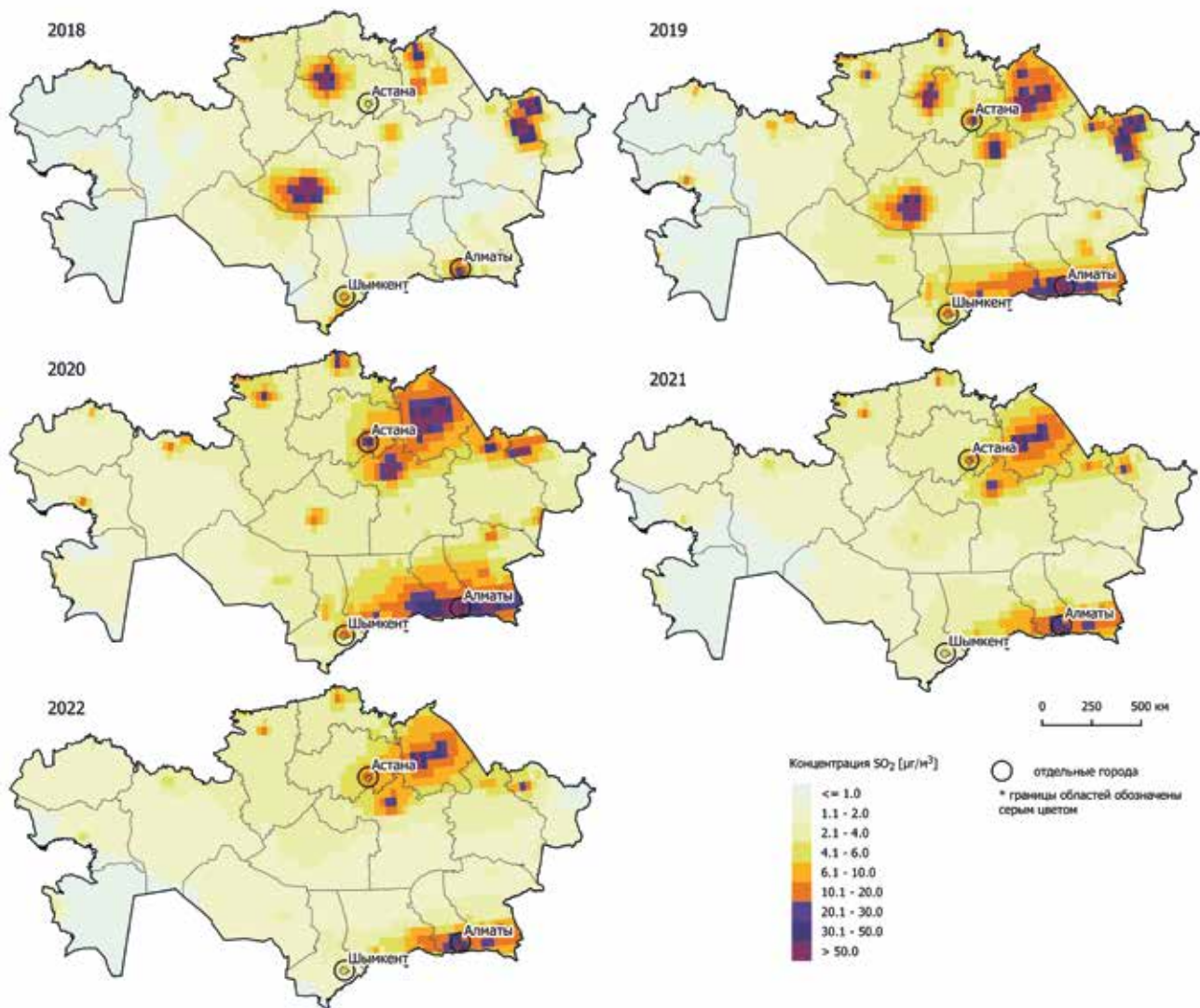


Рис. 21. Среднегодовые концентрации SO_2 в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022.

сти города Жезгазан и район к северо-западу от Астаны). Повышенные значения для ряда мест были обнаружены в 2020 году при сравнении со средними значениями 2021 и 2022 годов, которые являются аналогичными. Используя данные Национальной сети мониторинга качества воздуха, Байматова и др. (2022) сообщили о различной динамике концентрации SO_2 в период ковидных ограничений, не повлиявших на работу предприятий тяжелой промышленности. В одних городах, предположительно, отмечалось повышение концентрации (Петропавловск, Шымкент), в других – снижение (Алматы, Караганда, Оскемен). В данном исследо-

вании можно смело сравнивать 2020 год, основной год эпидемиологических ограничений, со средними показателями 2021 и 2022 годов, которые свидетельствуют о снижении концентрации SO_2 в большинстве городов.

Как видно из рис. 22, наиболее высокие средние концентрации SO_2 по районам наблюдаются в районах Алматинской области и города Алматы. Это видно и на графике средних значений SO_2 по всем районам: в Алматинском районе (город) отмечено самое высокое среднее значение – 178 мкг/м^3 .

Средние концентрации SO_2 в городах с населением более 100 000 человек при-

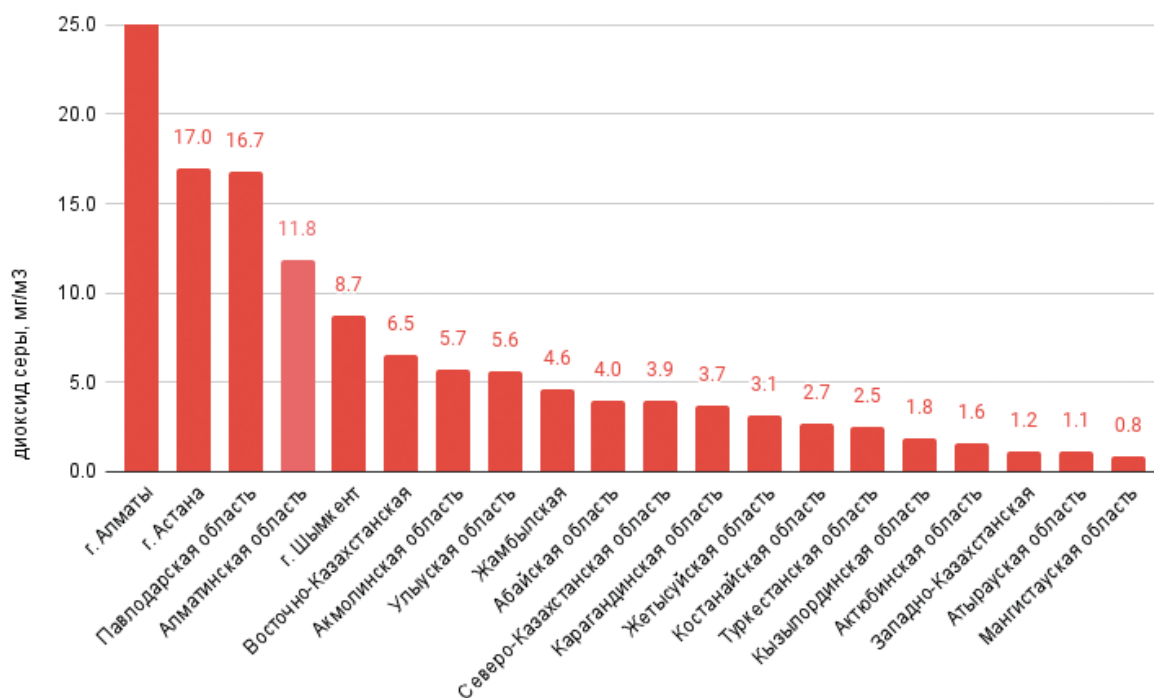


Рис. 22. Средние концентрации SO_2 в областях Казахстана и городах Алматы, Шымкент, Туркестан в период с мая 2018 по декабрь 2022, по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022.

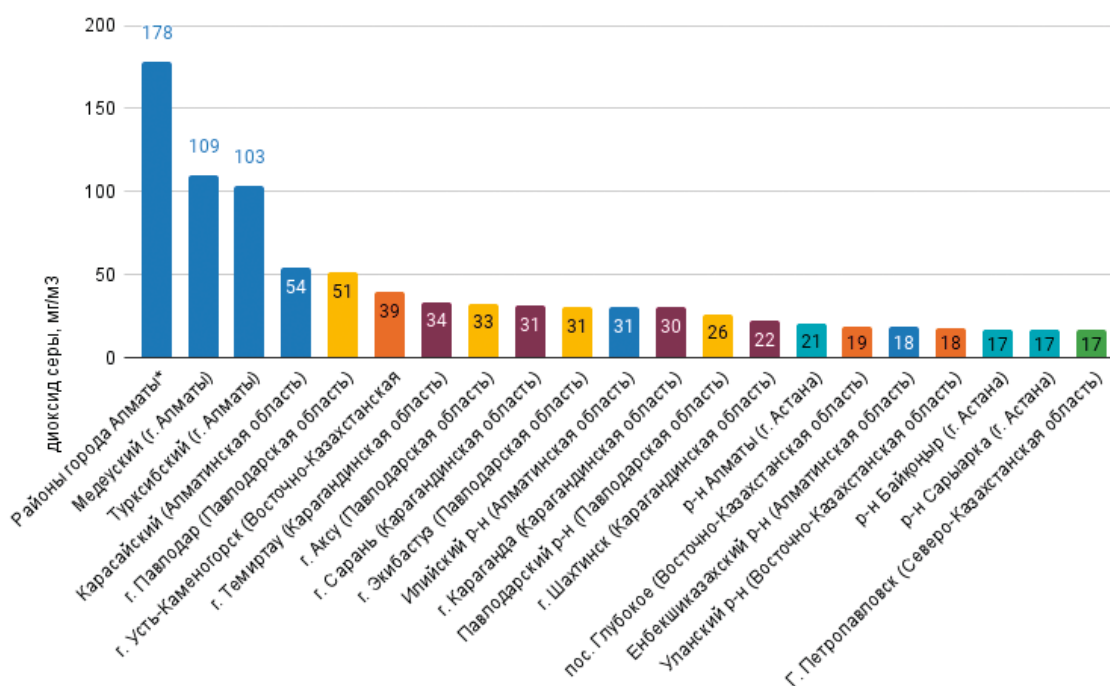


Рис. 23. 20 наибольших концентраций SO_2 по в районах городов и областей Казахстана (с указанием областей) в период с мая 2018 г. по декабрь 2022 г. Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022. Примечание (*): „Районы города Алматы“ включают 6 районов в составе города Алматы – Алатауский, Алматинский, Ауэзовский, Бостандыкский, Жетысуский, Наурызбайский. См. раздел Административное деление Казахстана.

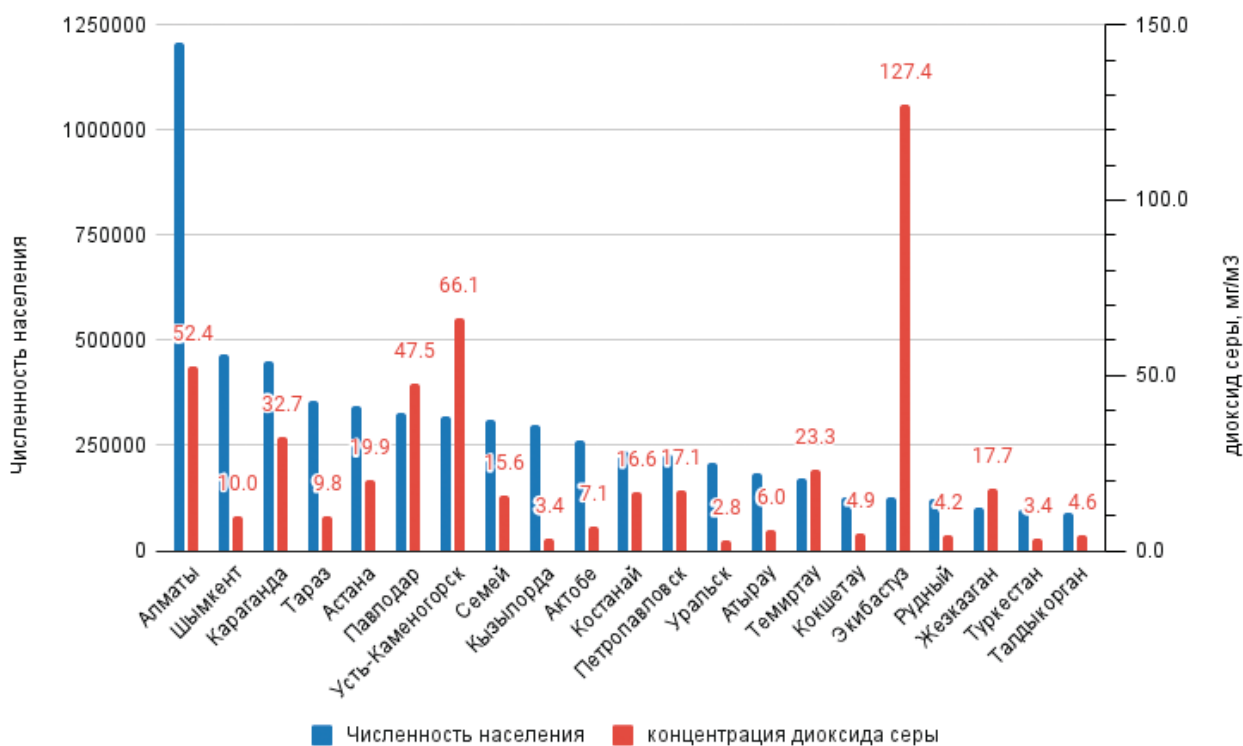


Рис. 24. Средние концентрации SO_2 в отдельных городах Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; Natural Earth, 2022. Примечание: Точные данные о численности населения могут быть не актуальны, так как основаны на данных Natural Earth (2022) без точной датировки.

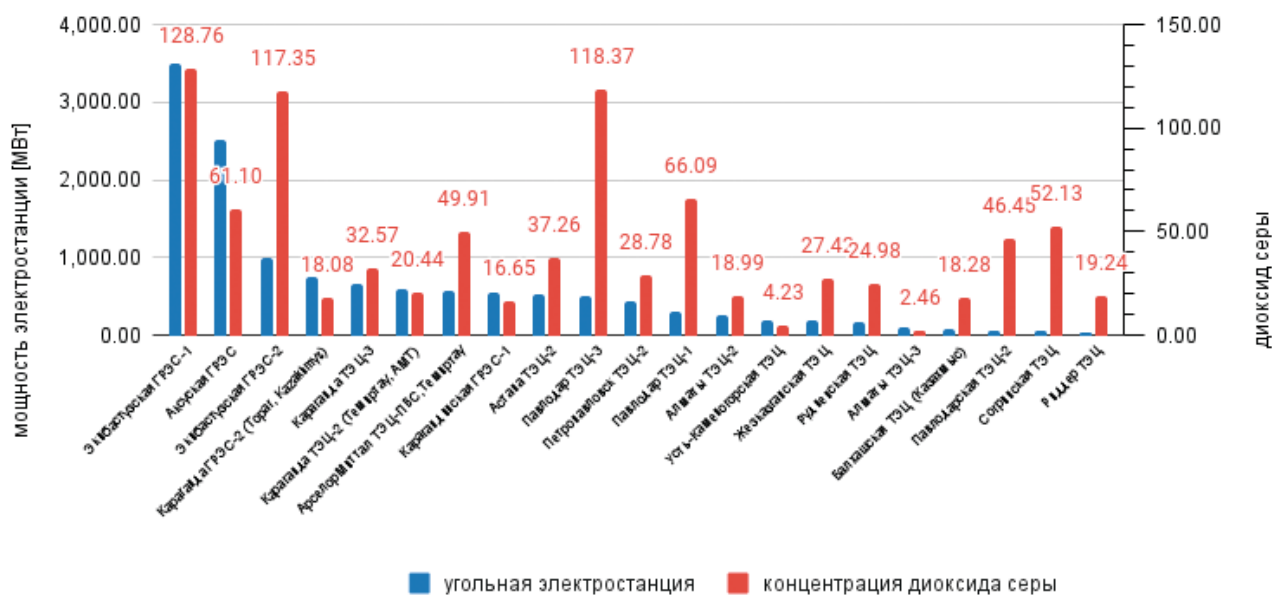


Рис. 25. Средние концентрации SO_2 в районе отдельных угольных электростанций Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

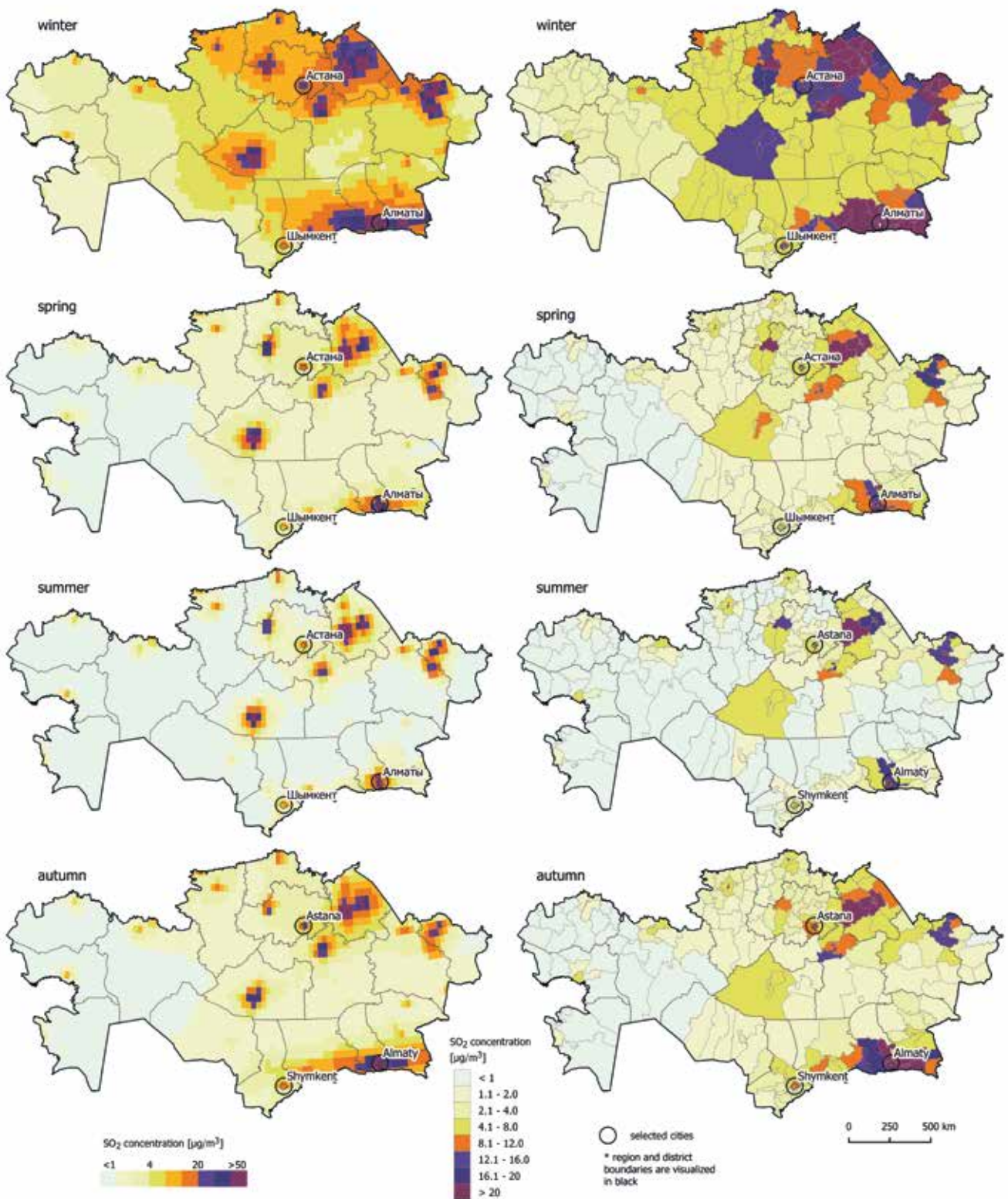


Рис. 26. Средние концентрации SO_2 в областях Казахстана, рассчитанные для сезонов с мая 2018 года по декабрь 2022 (справа) на основе пиксельных значений (слева), полученных от службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); данные контрибьюторов OpenStreetMap, 2022.

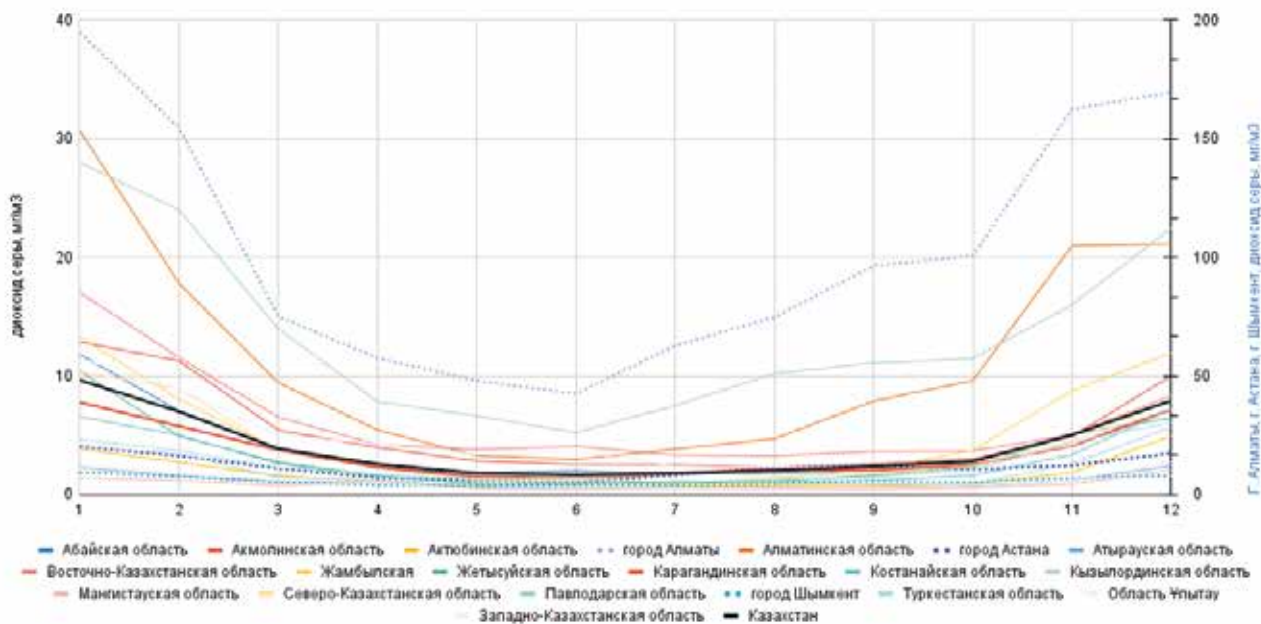


Рис. 27. Среднемесячные концентрации SO_2 в областях Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (СAMS, 2022). Примечание: Правая вертикальная ось относится к городам Астана, Алматы и Шымкент, левая вертикальная ось – к остальным регионам.

ведены на рис. 24. Наиболее высокие концентрации были зафиксированы в районе города Экибастуз ($127,4 \text{ мкг/м}^3$), где в настоящее время расположена самая мощная угольная электростанция. Аналогичные показатели характерны и для других городов с угольными электростанциями, таких как Оскемен ($66,1 \text{ мкг/м}^3$), Павлодар ($47,5 \text{ мкг/м}^3$) и Алматы ($52,4 \text{ мкг/м}^3$).

Средние концентрации SO_2 в районе угольных электростанций представлены на рис. 25. График построен на основе измерений в пределах 10 км от места расположения электростанции. Концентрация SO_2 может быть связана не только с выхлопными газами электростанций, но и с их техническим состоянием и уровнем модернизации. На некоторые концентрации может влиять сочетание выхлопов нескольких электростанций из-за их взаимной близости и разрешения S5P.

Сезонность загрязнения воздуха

Анализ сезонности SO_2 (рис. 26) показывает, что пик концентраций приходится на зимний период. Вероятно, это является следствием как природных, так и антропогенных факторов. Высокие зимние концентрации SO_2 обусловлены низким уровнем растительности и малым количеством осадков. В то же время в холодные месяцы увеличивается количество выбросов, связанных с интенсивным отоплением жилых домов (Mackiewicz-Walec et al. 2014). В некоторых местах концентрации SO_2 стабильно высоки в течение всего года и превышают пределы ВОЗ в каждый сезон, а также казахстанские стандарты качества. Во многих местах в городах Алматы, Павлодар, Экибастуз и Караганда концентрации превышают национальный предел 50 мкг/м^3 даже в летний период.

Сезонная картина среднемесячных значений SO_2 для всех областей представлена на рис. 27. График дополнен средним

значением для всей территории Казахстана. Практически во всех регионах самые низкие значения приходятся на летние месяцы. Что касается распределения по всей стране, то самые высокие концентрации в течение всего года наблюдаются в городе Алматы. Кроме того, очень высокие значения наблюдаются во всей Алматинской области. Города Астана и Шымкент также достигают более высоких значений, чем другие регионы. Без учета городов республиканского значения самые высокие круглогодичные концентрации наблюдаются в Павлодарской области, где расположены угольные электростанции и горнодобывающая промышленность.

Твердые частицы (PM₁₀)

Общий анализ

Высокие концентрации PM₁₀ наблюдаются, прежде всего, на юге и юго-востоке Казахстана. Это связано с природными источниками, такими как голая почва и пустыни, где образуются пыль и другие частицы. Высокая скорость ветра, скудный растительный покров, частые засухи и континентальный климат Казахстана создают благоприятные условия для развития пыльных бурь на всей территории страны. Пыльные бури могут поднимать мелкие

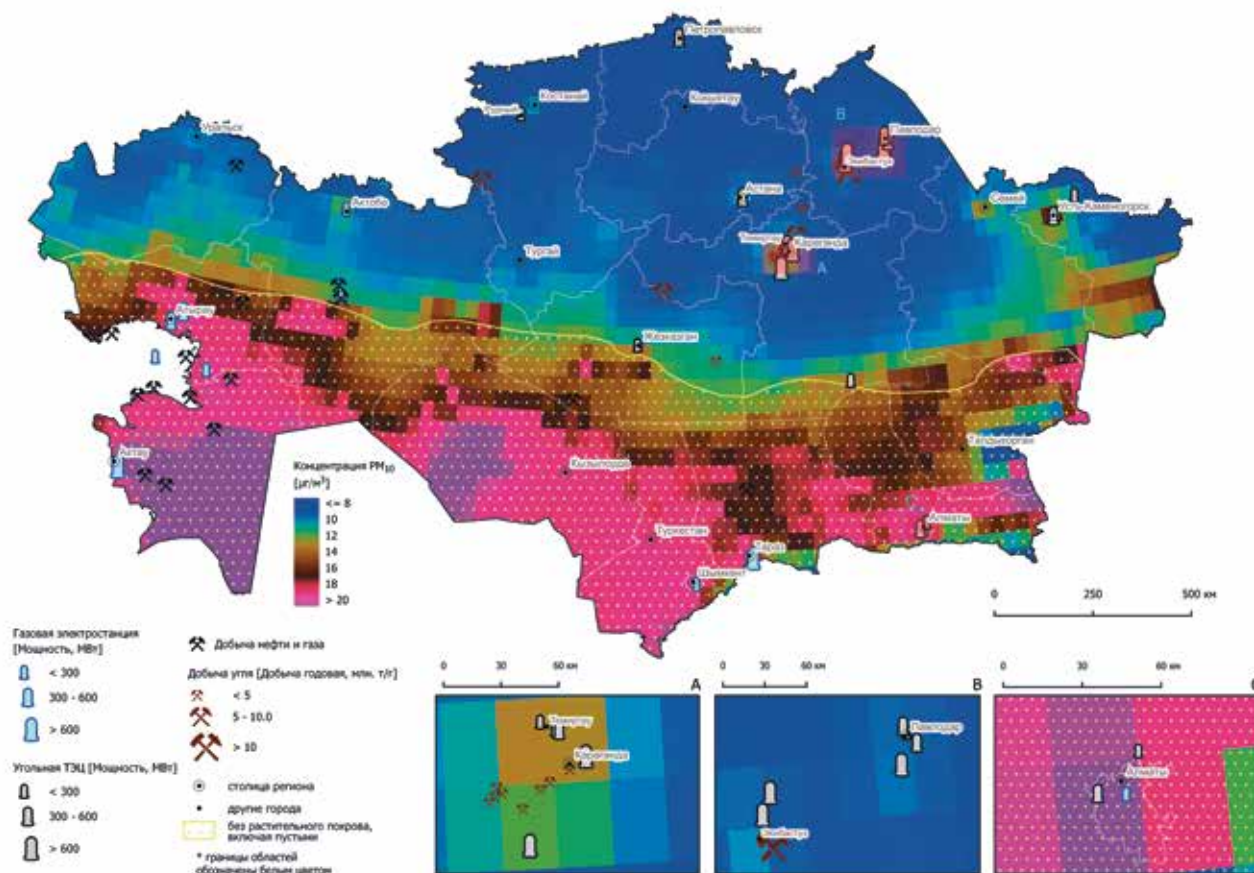


Рис. 28. Медианные концентрации PM₁₀ в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Города: А) Караганда, Б) Павлодар, В) Алматы. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; European Commission, 2022.

частицы с земли и переносить их на большие расстояния, что в значительной степени способствует увеличению содержания PM_{10} в воздухе (Issanova and Abuduwaili, 2017). Сильные пыльные бури приводят к тому, что концентрация PM_{10} превышает 500 и даже 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Issanova et al., 2023). На рис. 28 желтыми точками отмечены районы с естественной концентрацией PM_{10} .

Также можно заметить, что пределы ВОЗ по годовому содержанию PM_{10} (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, отмечено розовым цветом) превышена на значительной части территории Казахстана. За пределами районов с преимуще-

ственно естественным происхождением PM_{10} повышенные концентрации наблюдаются в городских районах на севере страны. В таких городах, как Караганда, Оскемен, Актобе, Астана, Костанай.

Распределение частиц PM_{10} меняется по годам. Наибольшие концентрации были зафиксированы в 2020 году, что может быть связано с природными условиями, в частности, с частотой пыльных бурь. На рис. 29 показаны средние концентрации PM_{10} областям Казахстана. Наибольшие значения отмечены в Мангистауской области, расположенной в засушливой юго-западной части страны.

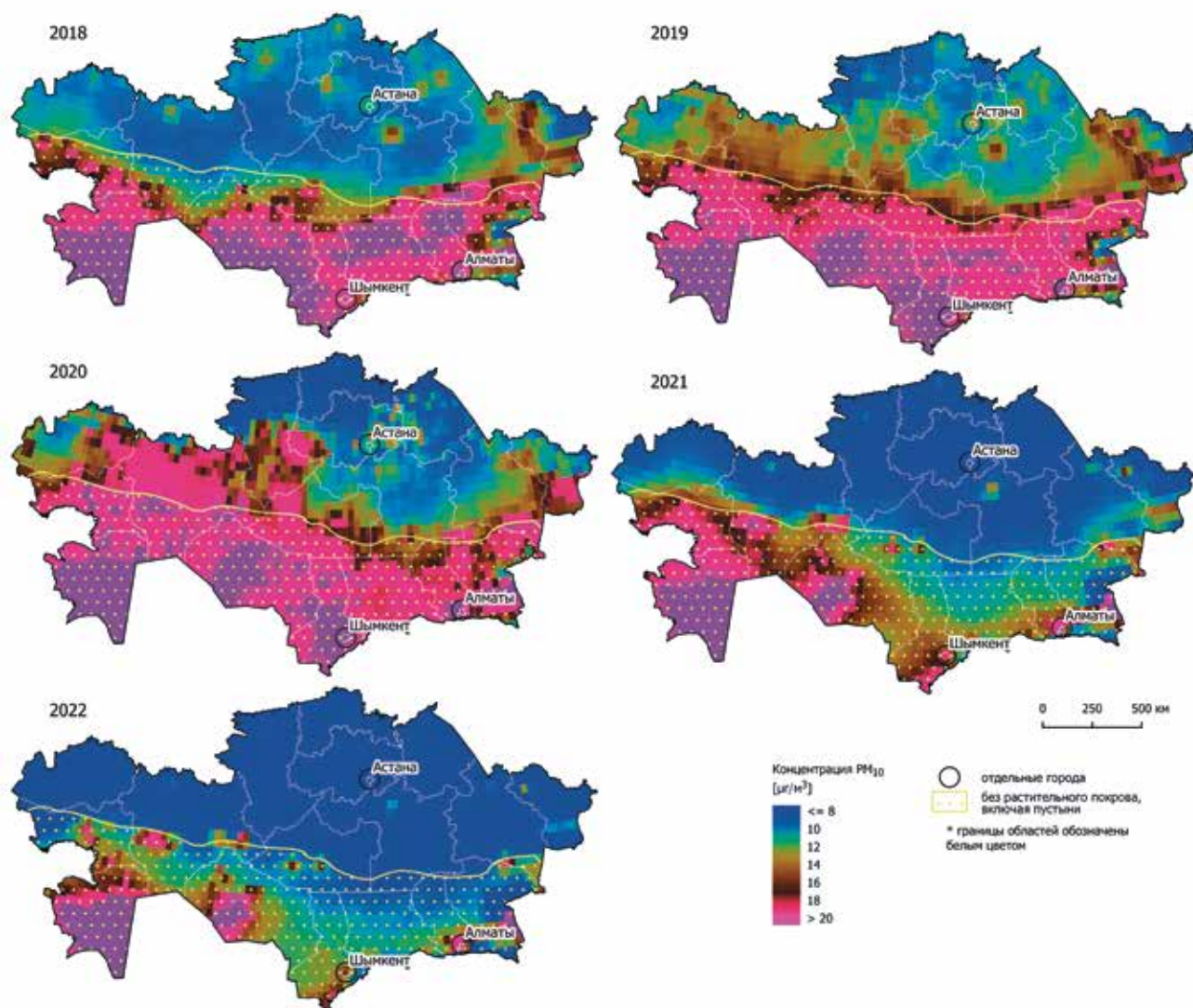


Рис. 29. Среднегодовые концентрации PM_{10} в Казахстане в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; European Commission, 2022.

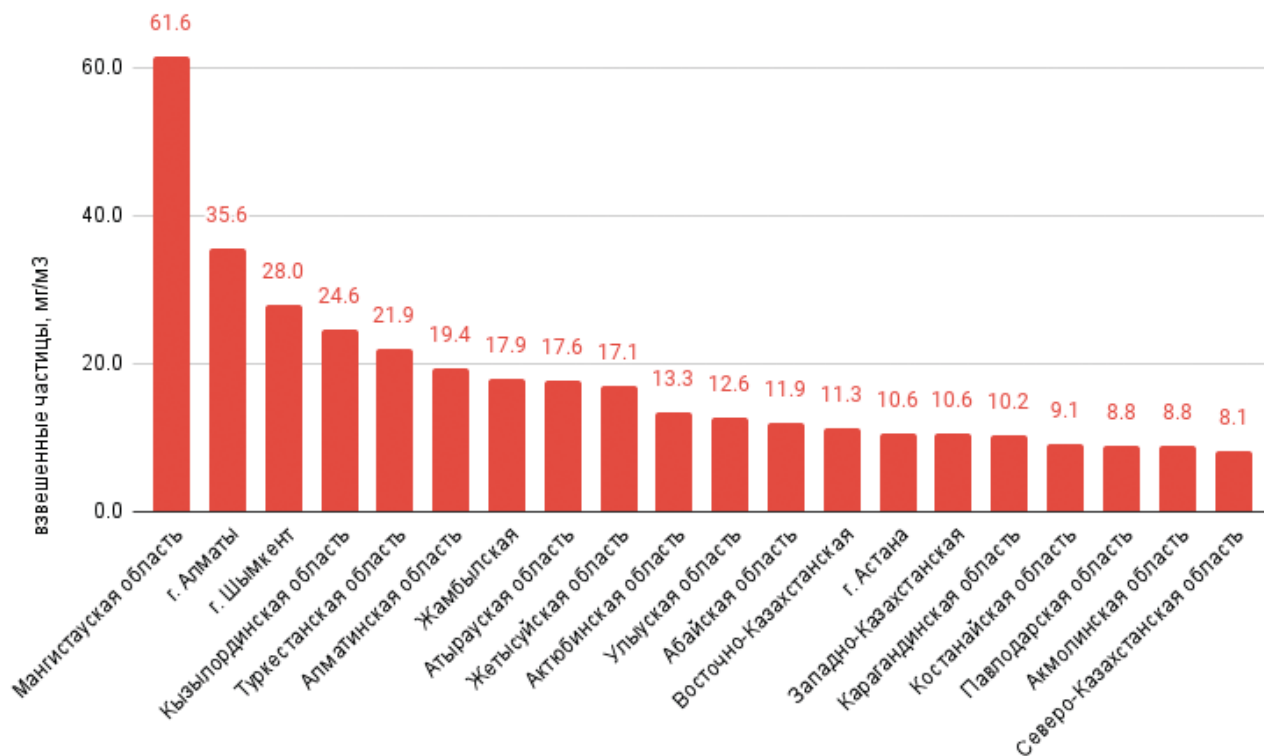


Рис. 30. Средние концентрации PM_{10} в регионах Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022.

Сезонность загрязнения воздуха

Изменения концентраций PM_{10} на всей территории Казахстана приведены на рис. 31. В масштабах страны сезонные изменения в основном зависят от природных условий, что и характерно для средних значений за исследуемый период. Повышенные концентрации наблюдаются независимо от времени года, особенно на юге страны. Они связаны с наличием бесплодных земель с частыми пыльными бурями, которые чаще всего происходят в весенние и летние месяцы (Issanova and Abuduwaili, 2017). Это подтверждается результатами анализа, поскольку концентрации в эти месяцы значительно выше по сравнению с другими месяцами. Самые низкие природные концентрации PM_{10} наблюдаются в зимние месяцы в северной части Казахстана. Хотя влияние антропогенной деятельности на повышение концен-

траций в основном проявляется в зимний период, оно наблюдается во все сезоны в районах, менее подверженных влиянию природных условий. В городах Караганда и Оскемен медианные значения не опускаются ниже 13 мкг/м^3 и 15 мкг/м^3 соответственно.

Сезонная динамика среднемесячных значений PM_{10} для каждого региона представлена на рис. 32. График дополнен средним значением для всей территории Казахстана и подтверждает описанную выше закономерность концентрации PM_{10} в течение года (влияние антропогенной деятельности на территориях, с меньшей ролью природных условий). В большинстве регионов наибольшие концентрации достигаются в весенне-летние месяцы. В Мангистауской области с обширными пустынными территориями и частыми песчаными бурями концентрации значительно выше, чем в других регионах. Увеличение содержания PM_{10} для некоторых городов в зимние месяцы связа-

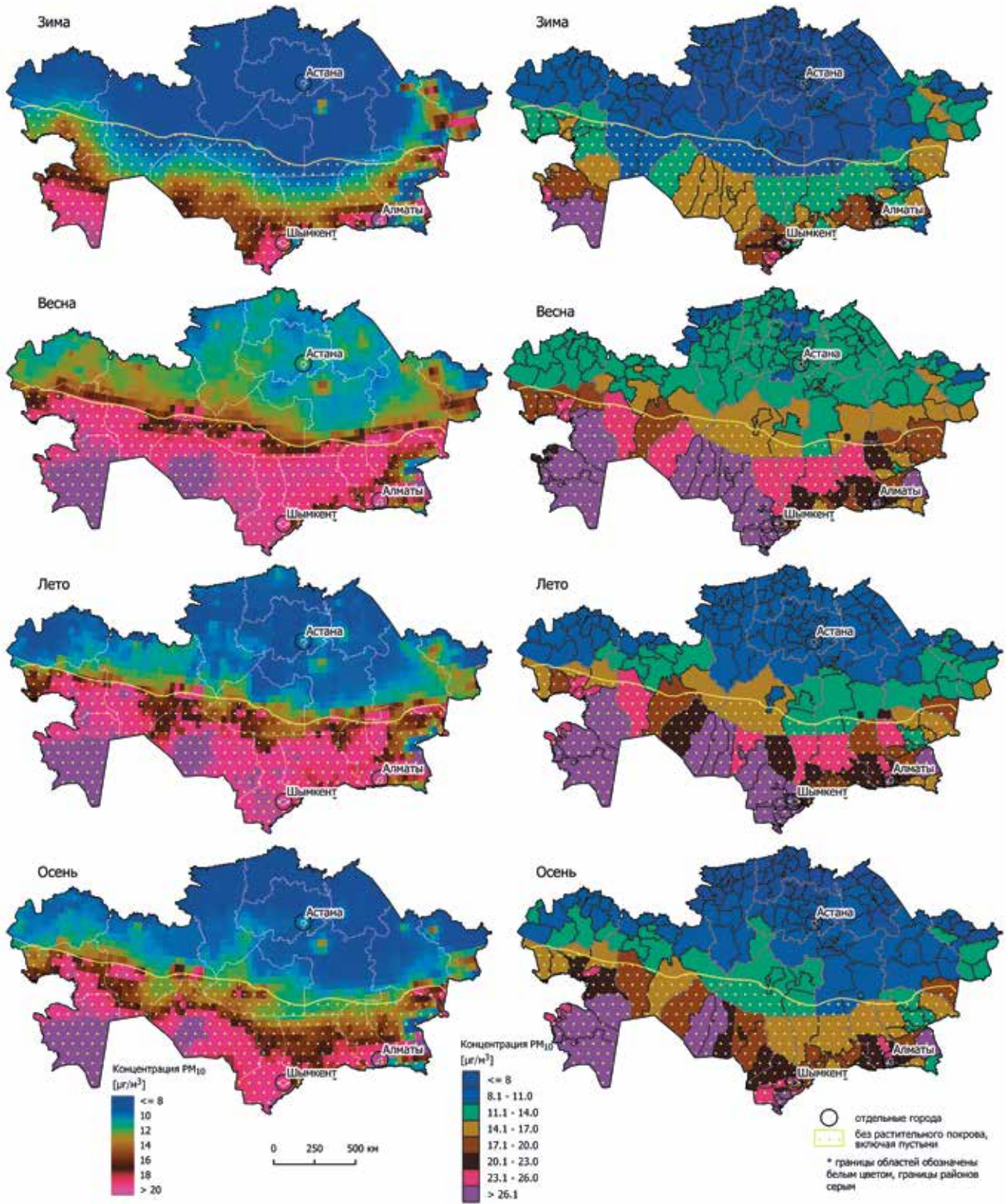
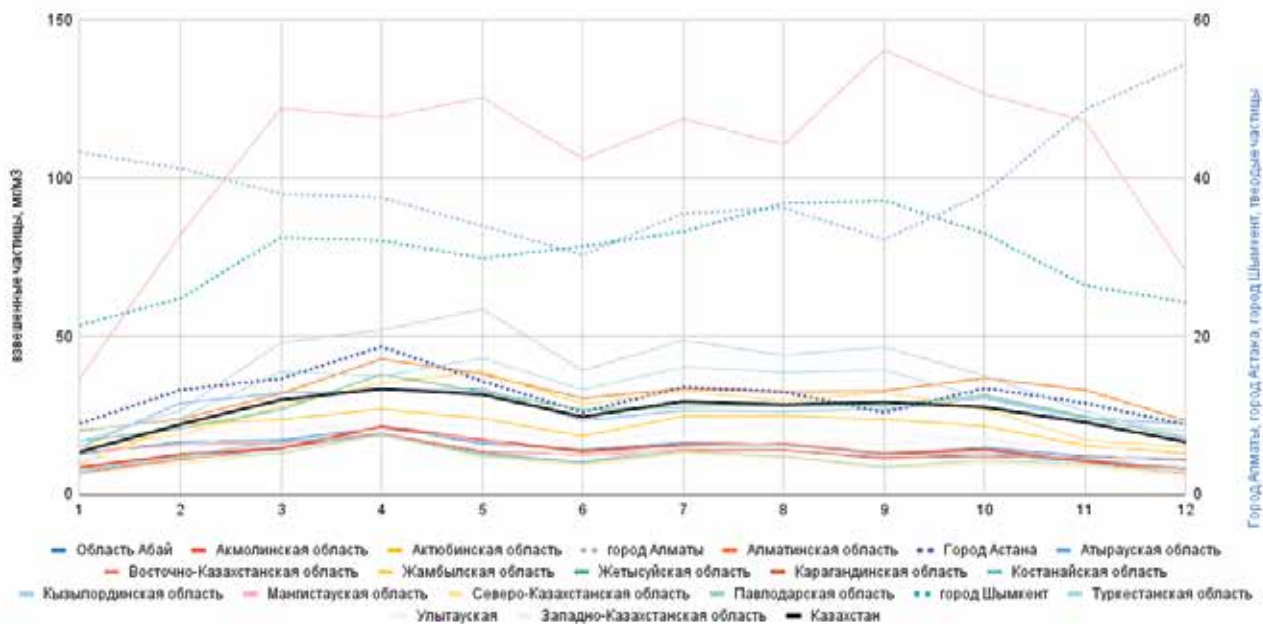


Рис. 31. Средние сезонные концентрации PM_{10} в Казахстане в целом (слева) и по районам (справа) в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; European Commission, 2022.

но в основном с антропогенной деятельностью. На рис. 33 показаны значительно бо-

лее высокие концентрации в городах, где расположены шахты или электростанции.



Город Алматы, город Астана, город Шымкент, твердые частицы

Рис. 32. Среднемесячные концентрации PM_{10} в областях Казахстана в период с мая 2018 года по декабрь 2022 по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные Службы мониторинга атмосферы „Коперник“ (СAMS, 2022). Примечание: Правая вертикальная ось относится только к городам Астана, Алматы и Шымкент, левая вертикальная ось к остальным областям.

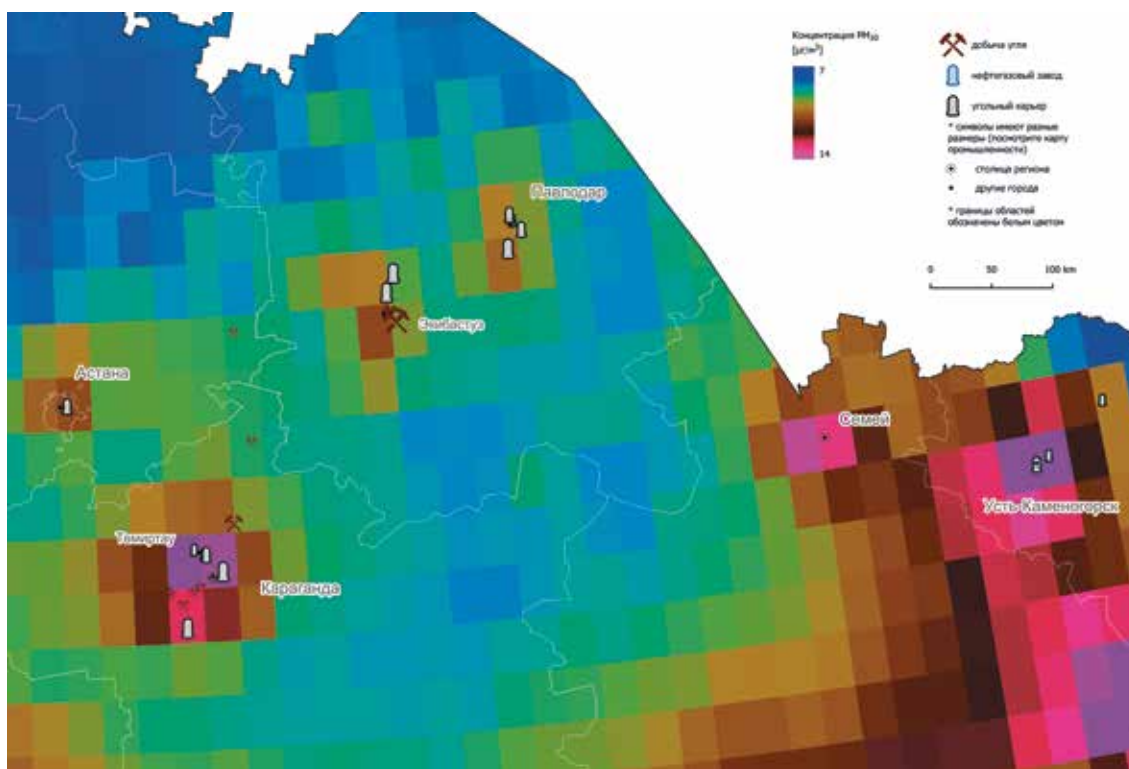


Рис. 33: Концентрация PM_{10} в северо-западной части Казахстана для зимнего сезона; медиана 2018–2022 гг. получена по данным Службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (СAMS, 2022 г.); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022. Примечание: цветовая шкала настроена на отображаемую область и не может быть напрямую сравнена с предыдущими картами по PM_{10} .

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ: ДЕТАЛЬНЫЙ ОБЗОР

Карагандинская область расположена в центральной части Казахстана. Ее административным центром является одноименный город Караганда, четвертый по величине в стране. После разделения в 2022 году на две области (часть территории Карагандинской области вошла в состав новой Улытауской области с административным центром в Жезказгане) площадь области составляет около 239 000 квадратных километров, а численность населения около 1,3 миллионов человек.

Регион известен своими богатыми минеральными ресурсами, включая уголь, железо и медь. Карагандинский угольный бассейн является одним из крупнейших в мире

и составляет основу энергетической и металлургической промышленности региона. Среди других крупных отраслей региона – горнорудная и машиностроительная.

Диоксид азота (NO_2)

На рис. 34 представлены средние концентрации NO_2 в Карагандинской области, измеренные в период с мая 2018 по декабрь 2022 года. Наиболее высокие концентрации сосредоточены вокруг двух крупнейших городов региона – Караганды и Тимиртау. Караганда – центр угледобычи, крупный промышленный и культурный

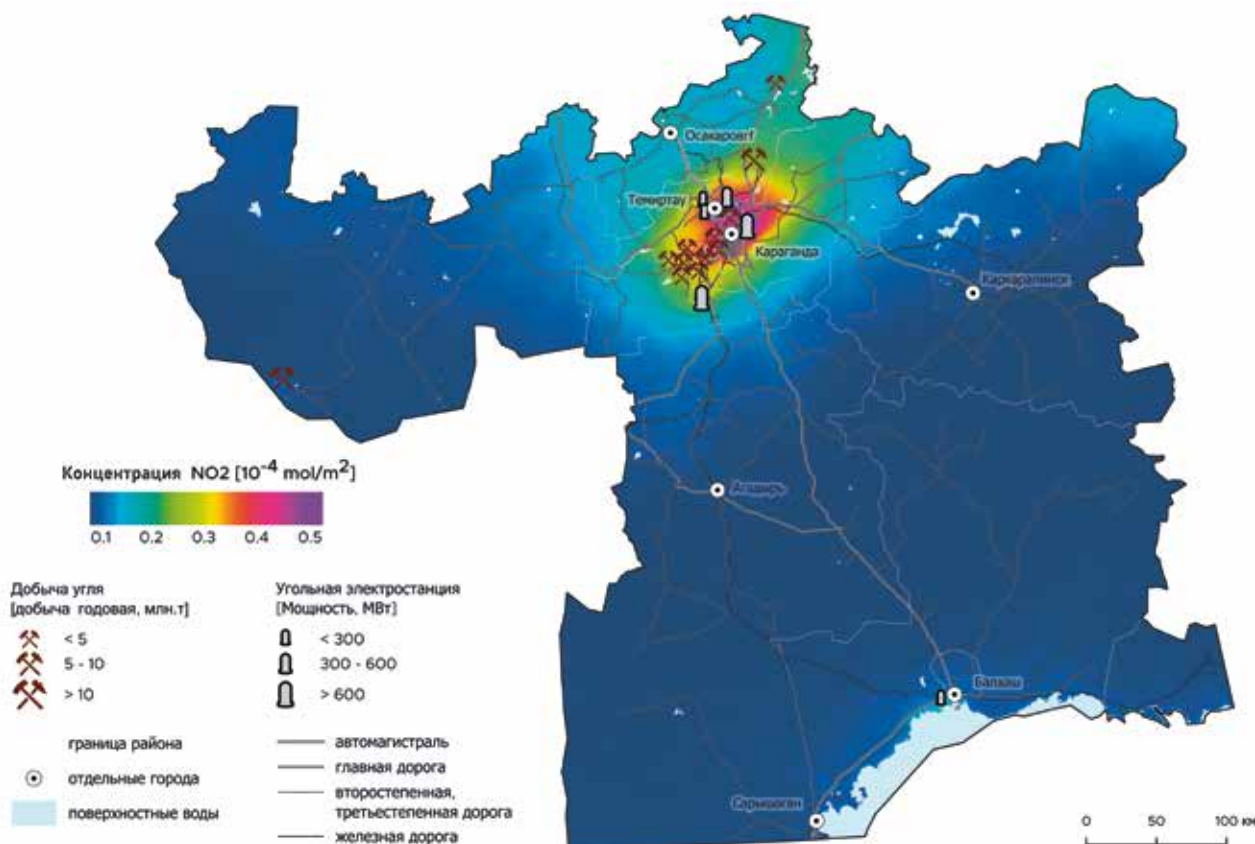


Рис. 34. Средняя концентрация NO_2 в Карагандинской области в период с 2018 по 2022 год, полученная со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

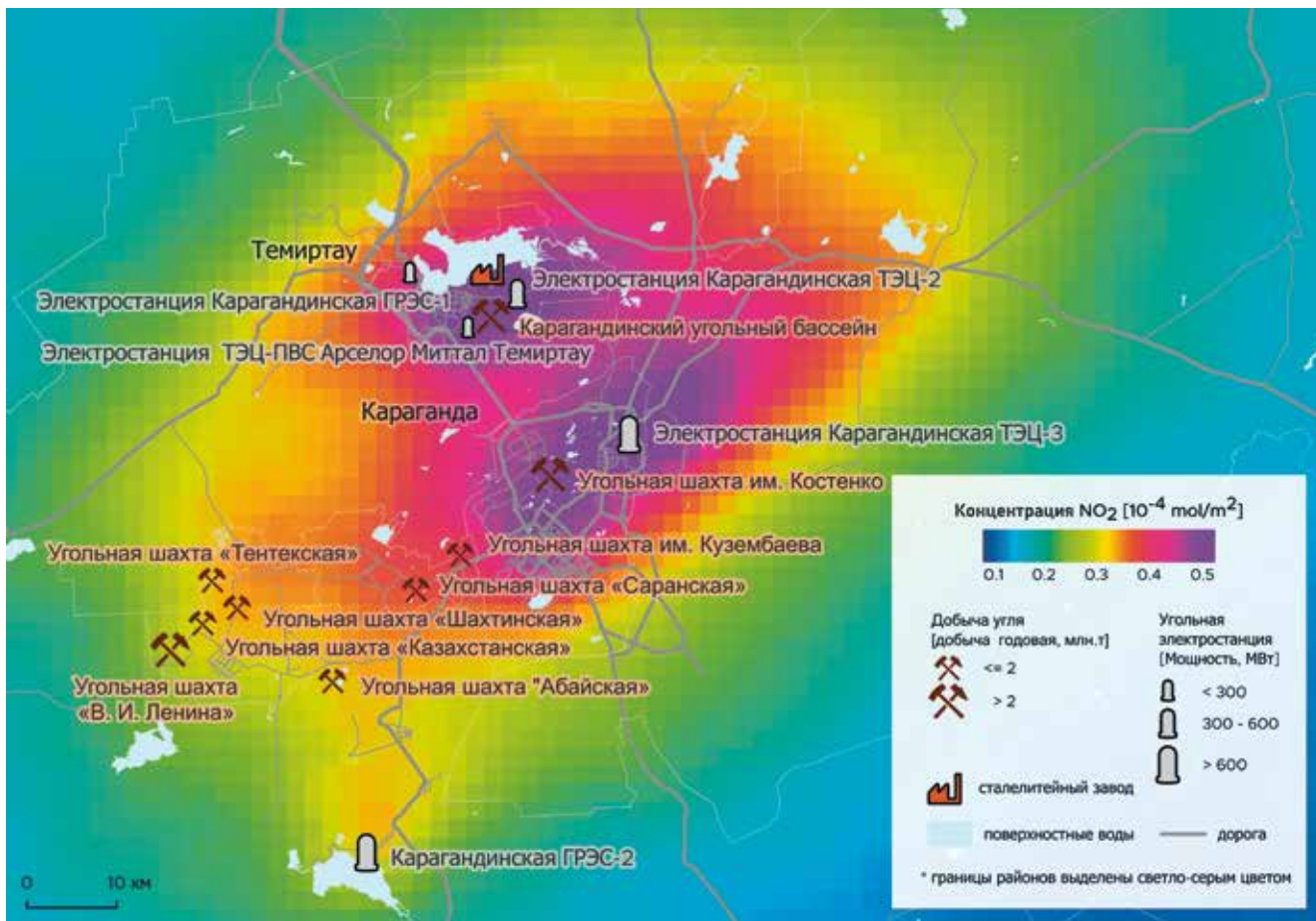


Рис. 35. Средняя концентрация NO_2 в районе городов Караганда и Темиртау в период с 2018 по 2022 гг. по данным спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

центр. Она известна своей металлургической и химической промышленностью, а также машиностроительными и предприятиями по производству продуктов питания. Темиртау расположен примерно в 30 км к северу от Караганды и известен своей металлургической промышленностью, являющейся основным работодателем в городе. Сталелитейный завод Темиртау, принадлежащий компании АО «АрселорМиттал Темиртау», является одним из крупнейших в Казахстане и производит широкий спектр металлопродукции для внутреннего и внешнего рынков. В городе также имеется ряд других промышленных предприятий машиностроительной, химической отраслей и производства строительных материалов.

Повышенные концентрации также можно обнаружить между дорогами А17 и Р27, идущими на северо-восток от города

Караганда к городам Экибастуз и Павлодар в соседней Павлодарской области. На относительно небольшом участке повышенные значения наблюдаются также на юге области, к западу от города Балхаш.

На рис. 35 более подробно показана территория вокруг городов Караганда и Темиртау. На этой территории расположены десять угольных шахт и разрезов с общим годовым объемом добычи до 23 мегатонн. Самая крупное угольное месторождение «Борлы» с годовым объемом добычи 7,3 мегатонны принадлежит корпорации «Казахмыс». Остальные девять разрезов находятся в ведении АО «АрселорМиттал Темиртау» (Global Energy Monitor, 2022).

Кроме того, в районе расположены пять угольных электростанций с совокупной максимальной мощностью более 2 100 мегаватт. Более двух третей этого объема

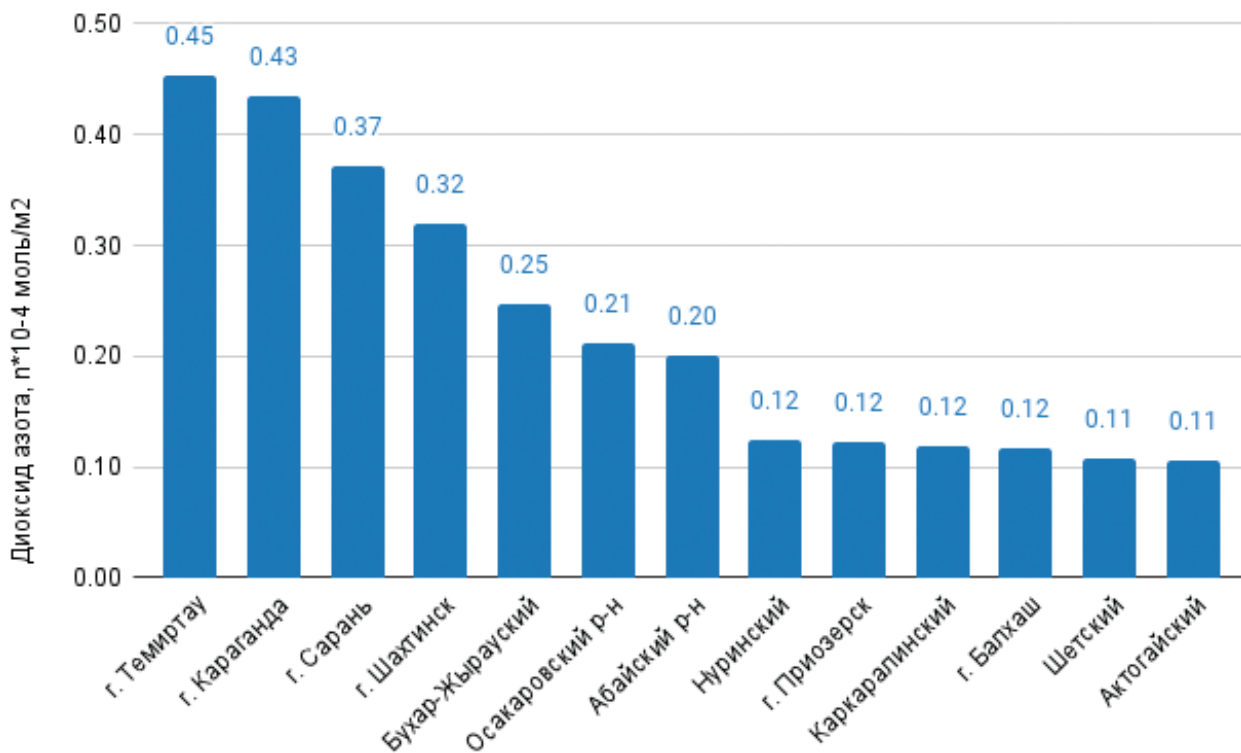


Рис. 36: Средние концентрации NO₂, рассчитанные для каждого района Карагандинской области по спутниковым данным Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); HDX, 2022.

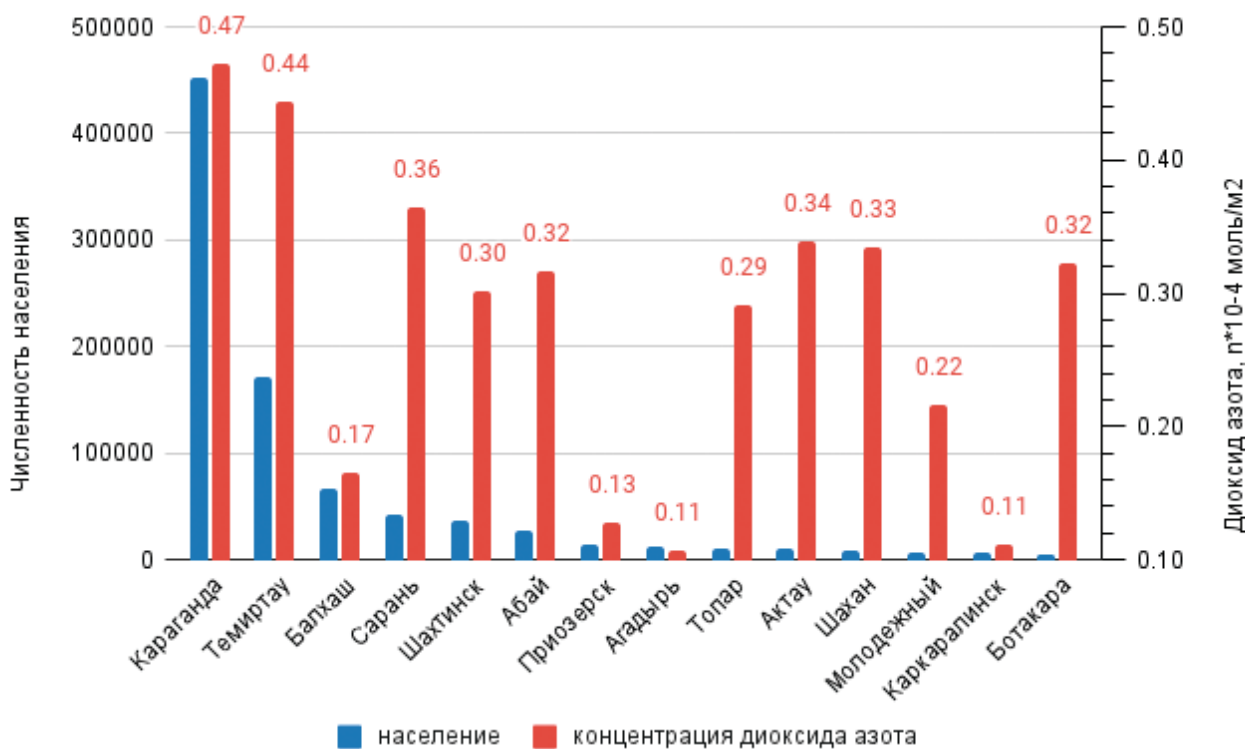


Рис. 37: Средние концентрации NO₂, рассчитанные для городов и поселков Карагандинской области с населением более 5000 человек по спутниковым данным Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018-2022; модифицировано); HDX, 2022.

приходится на Карагандинскую ГРЭС-2 (743 МВт) и Карагандинскую ТЭЦ-3 (670 МВт) (Global Energy Monitor, 2022).

Однако крупнейшим загрязнителем в этом районе и одновременно одним из крупнейших в Казахстане является сталелитейный завод „АрселорМиттал Темиртау“. Годовая номинальная мощность этого предприятия по нерафинированной стали составляет около 6 мегатонн (Global Energy Monitor, 2022). Ближайший жилой дом находится в 500 метрах от завода (Арника, 2022).

Средние концентрации NO_2 по районам Карагандинской области представлены на рис. 36. Наиболее загрязненными районами являются Темиртауский и Карагандинский, а также небольшие шахтерские города Сарань и Шахтинск, расположенные к западу от Караганды, и Бухар-Жырауский район, охватывающий территорию вокруг городов Темиртау и Караганда, территорию между этими городами и границей области к северо-западу от городов.

На рис. 37 показана зависимость между численностью населения и концентрацией NO_2 . Населенные пункты на графике расположены слева направо по численности населения. В случае первых пяти городов мы можем наблюдать линейную зависимость между численностью населения городов и количеством NO_2 в атмосфере вокруг них. Заметным исключением является город Балхаш, где концентрация NO_2 относительно низка по отношению к численности населения. С другой стороны, есть такие города, как Актау, Шахан или Ботакара, с населением менее десяти тысяч человек, которые, вероятно, имеют высокие концентрации NO_2 в основном из-за географической близости к областному центру региона и городу Темиртау.

Метан (CH_4)

На рис. 38 показаны медианные концентрации CH_4 в Карагандинской области в период с мая 2018 года по декабрь 2022 года.

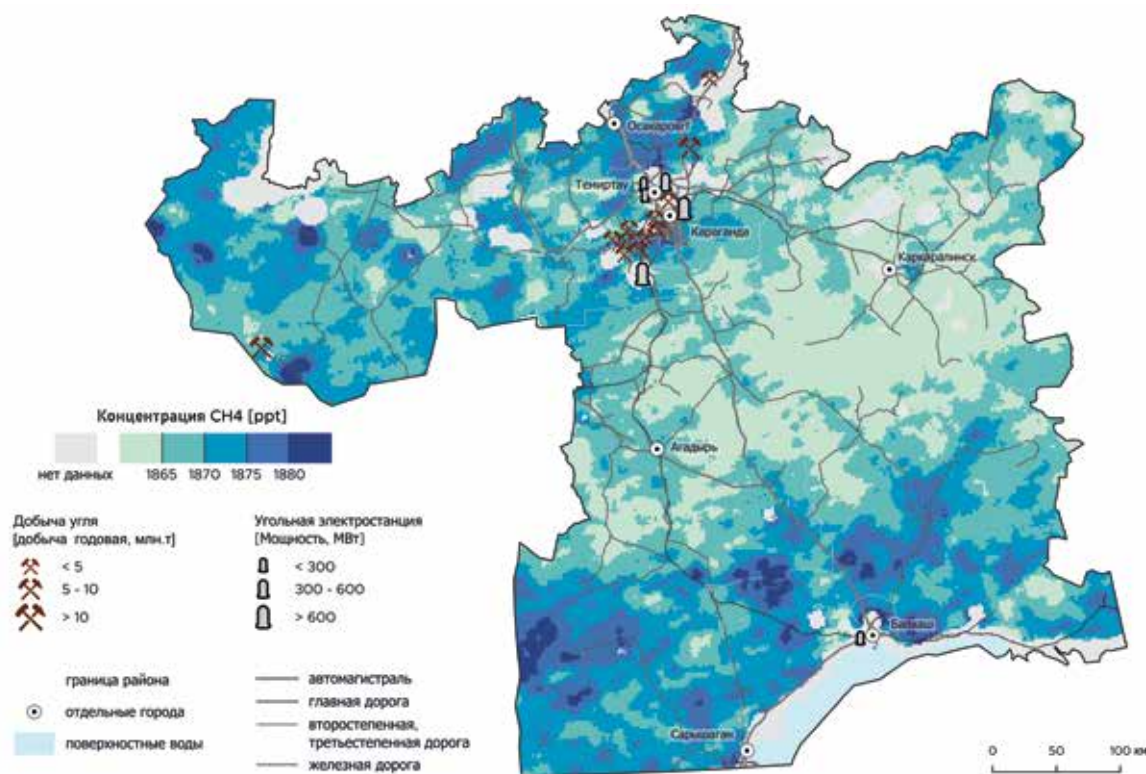


Рис. 38: Средняя концентрация CH_4 в Карагандинской области в период с 2018 по 2022 год, полученная со спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

Поскольку региональная вариативность измеренных значений в пределах области относительно невелика, значения, используемые в цветовой шкале, были скорректированы, чтобы подчеркнуть региональные различия. Сравнительно более высокие концентрации наблюдаются в южной части области, а также в окрестностях областного центра и на северо-западе области.

Наибольшие концентрации CH_4 в Карагандинской области наблюдаются в городах Сарань и Караганда. Кроме этих двух районов, средние концентрации относительно стабильны и составляют около 1870 млрд^{-1} . Города Приозерск и Темиртау не представлены на графике по двум причинам: 1) они небольшие по площади и 2) расположены вблизи крупного водоема. Как уже отмечалось, из-за проблем с качеством данных по CH_4 , измеренных спут-

ником Sentinel-5P, поставщик данных применил фильтр воды над этими районами. Из-за сочетания небольшого размера этих районов и их близости к водоему для расчета статистики не хватило достоверных данных. Неопределенность в моделировании выбросов CH_4 над и вокруг водоемов необходимо учитывать не только в случае районов Приозерска и Темиртау, но и в других районах, поскольку в регионе много водоемов. Несмотря на то, что были приняты меры по ограничению объема данных из этих районов, их достоверность зависит от нескольких факторов, среди которых наиболее важным является замерзание воды.

На рис. 39 показаны средние значения для каждого района Карагандинской области. Наибольшие концентрации наблюдаются в городах Караганда и Сарань.

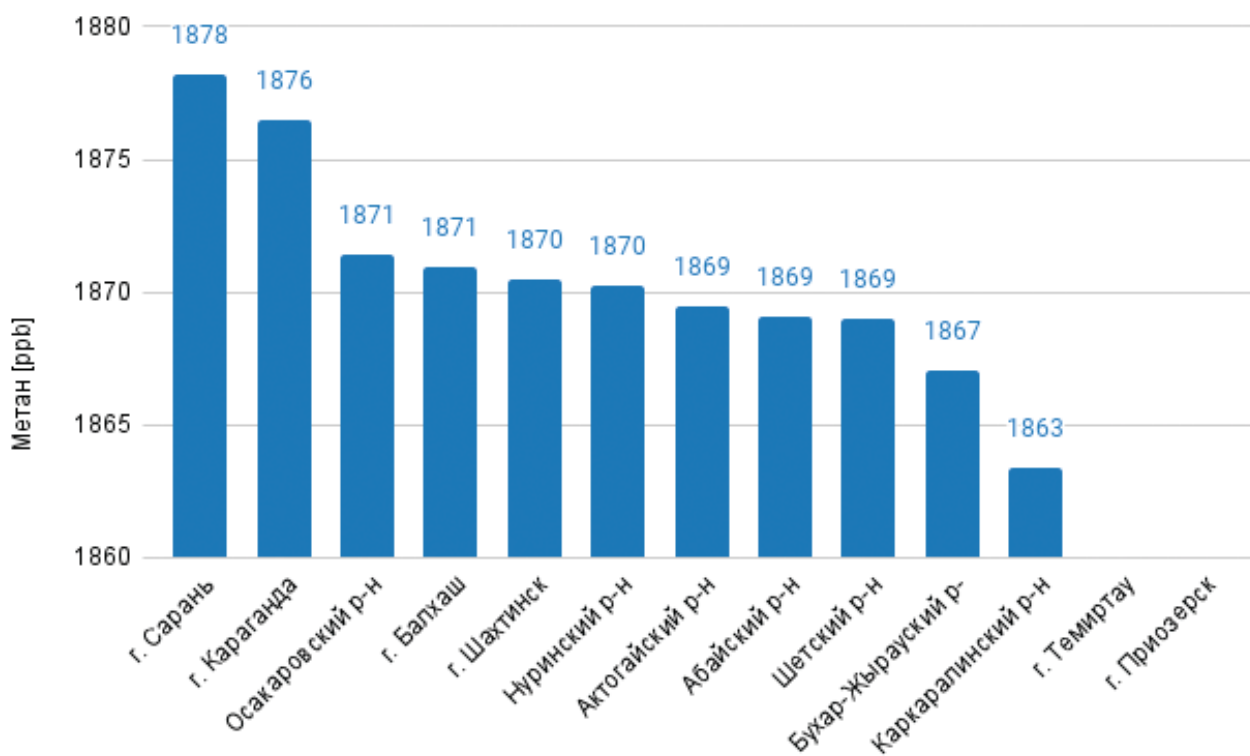


Рис. 39: Средние концентрации CH_4 , рассчитанные для районов Карагандинской области по спутниковым данным Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); HDX, 2022.

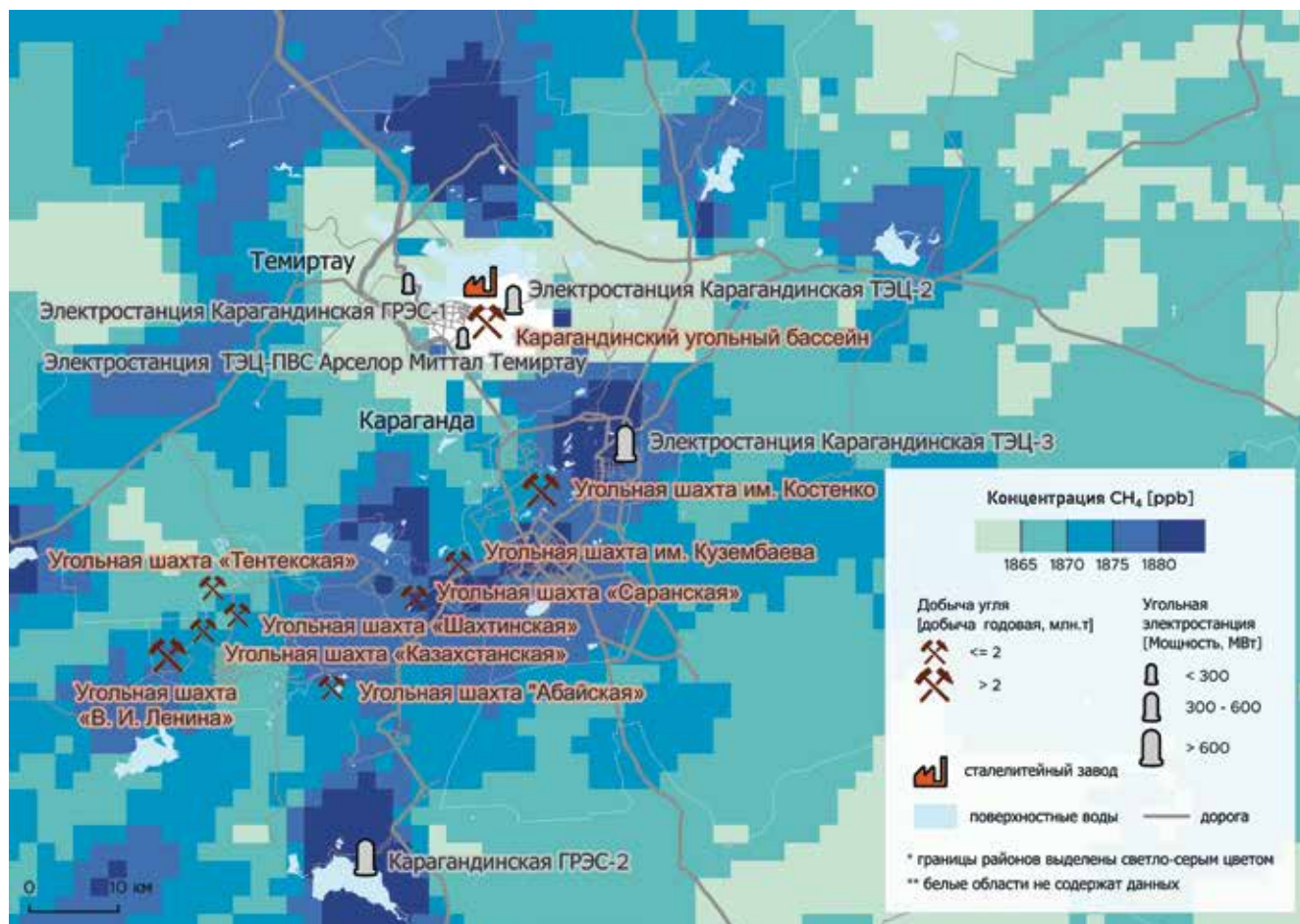


Рис. 40: Средняя концентрация CH₄ в районе городов Караганда и Темиртау в период с 2018 по 2022 гг. по данным спутника Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018–2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

При рассмотрении ситуации вокруг г. Караганды (рис. 40) несколько повышенные концентрации метана наблюдаются над угольными шахтами и разрезами и близи угольных электростанций – Карагандинской ТЭЦ-3 и Карагандинской ГРЭС-2. Однако ГРЭС-2 расположена вблизи водоема, где на концентрацию метана могут влиять недостоверные данные. Повышенные уровни метана наблюдаются в районе трех других угольных электро-

станций, расположенных к северу от Караганды.

На рис. 41 показана зависимость между численностью населения и концентрацией SO₂. Города на графике расположены слева направо по численности населения. В случае рассматриваемого загрязнителя не прослеживается никакой закономерности и связи с количеством жителей в том или ином городе.

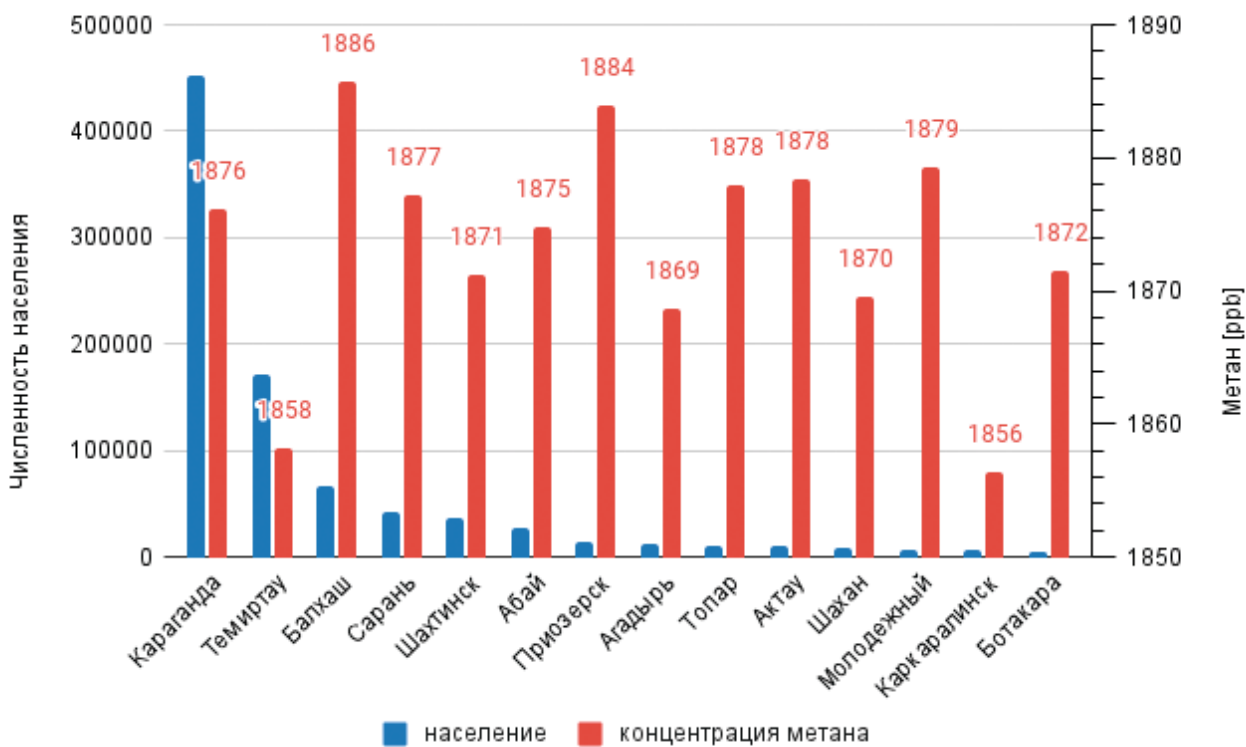


Рис. 41: Средние концентрации CH_4 , рассчитанные для городов и поселков Карагандинской области с населением более 5000 человек по спутниковым данным Sentinel-5P. Источники: Данные Copernicus Sentinel (ESA, 2018-2022; с изменениями); OpenStreetMap contributors, 2022; HDX, 2022.

Диоксид серы (SO_2)

На рис. 42 представлены измерения концентрации SO_2 в Карагандинской области в период с мая 2018 по декабрь 2022 года. Можно выделить аналогичное региональное распределение концентраций загрязнения, как и в случае с NO_2 . Наиболее высокие концентрации сосредоточены в районе двух крупнейших городов региона – Караганды и Темиртау. Как уже отмечалось выше, эта территория является центром угледобычи и других промышленных предприятий региона. Однако из-за более низкого пространственного разрешения данных по SO_2 распределение загрязнения здесь не столь детально. Но все же можно наблюдать рост концентрации SO_2 в северо-

ро-восточном направлении – от города Караганда к городу Экибастуз.

Средние концентрации SO_2 по городам и районам Карагандинской области представлены на рис. 43. Наибольшая средняя концентрация отмечена в Темиртау. Такие же высокие концентрации обнаружены в Караганде, Сарани и Шахтинске. На остальных территориях значения ниже.

На рис. 44 показана зависимость между численностью населения и концентрацией SO_2 . Города на графике расположены слева направо по численности населения. В случае с этим загрязнителем не прослеживается никакой закономерности и связи с количеством жителей в том или ином городе. В большинстве городов уровень концентрации достигает высоких значе-

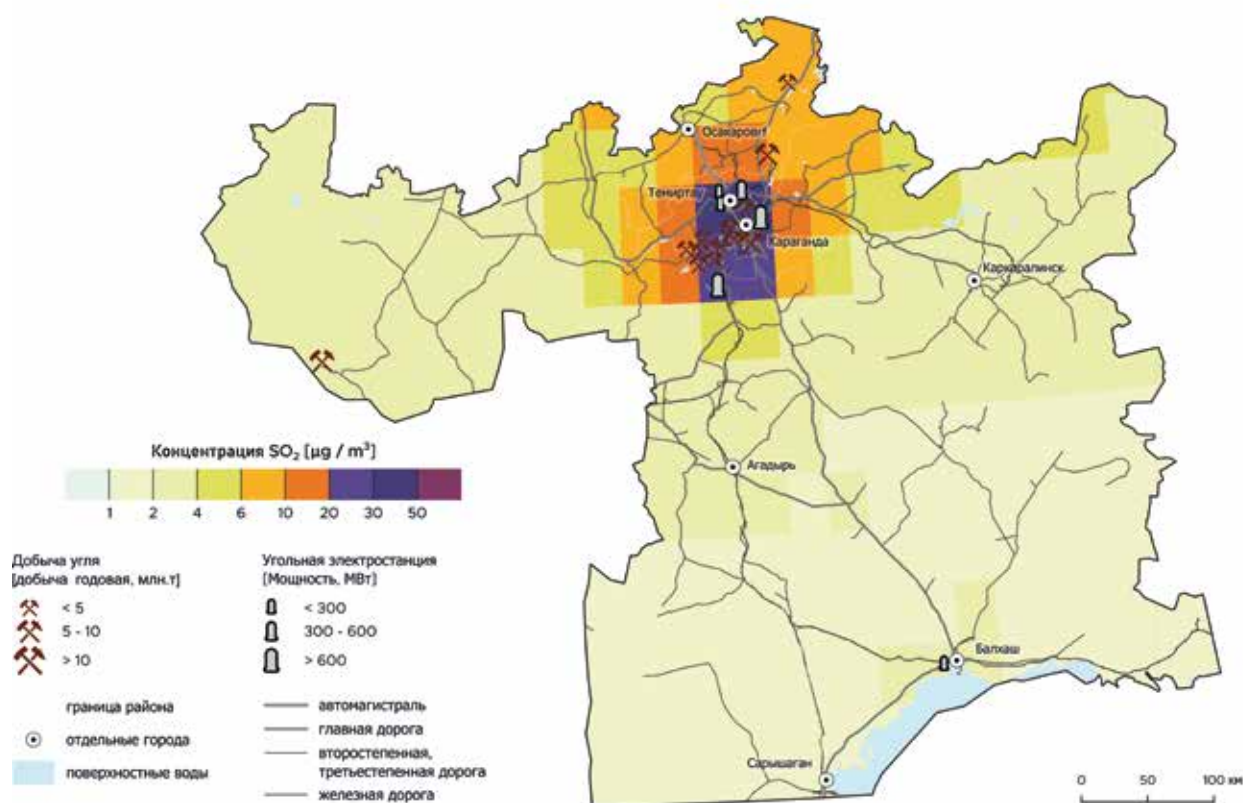


Рис. 42: Средняя концентрация SO₂ в Карагандинской области в период 2018–2022 гг. по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAM5, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022 г.; Global Energy Monitor, 2022.

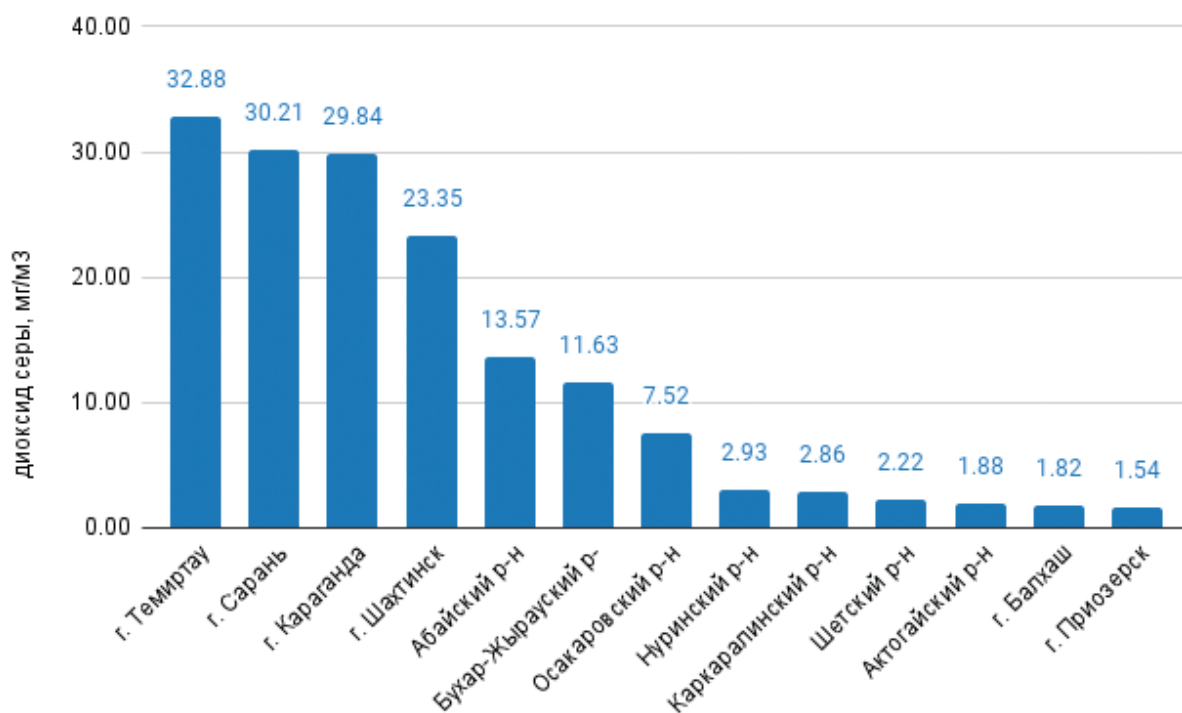


Рис. 43: Средние концентрации SO₂, рассчитанные для районов Карагандинской области по данным службы мониторинга атмосферы Copernicus. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAM5, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; HDX, 2022.

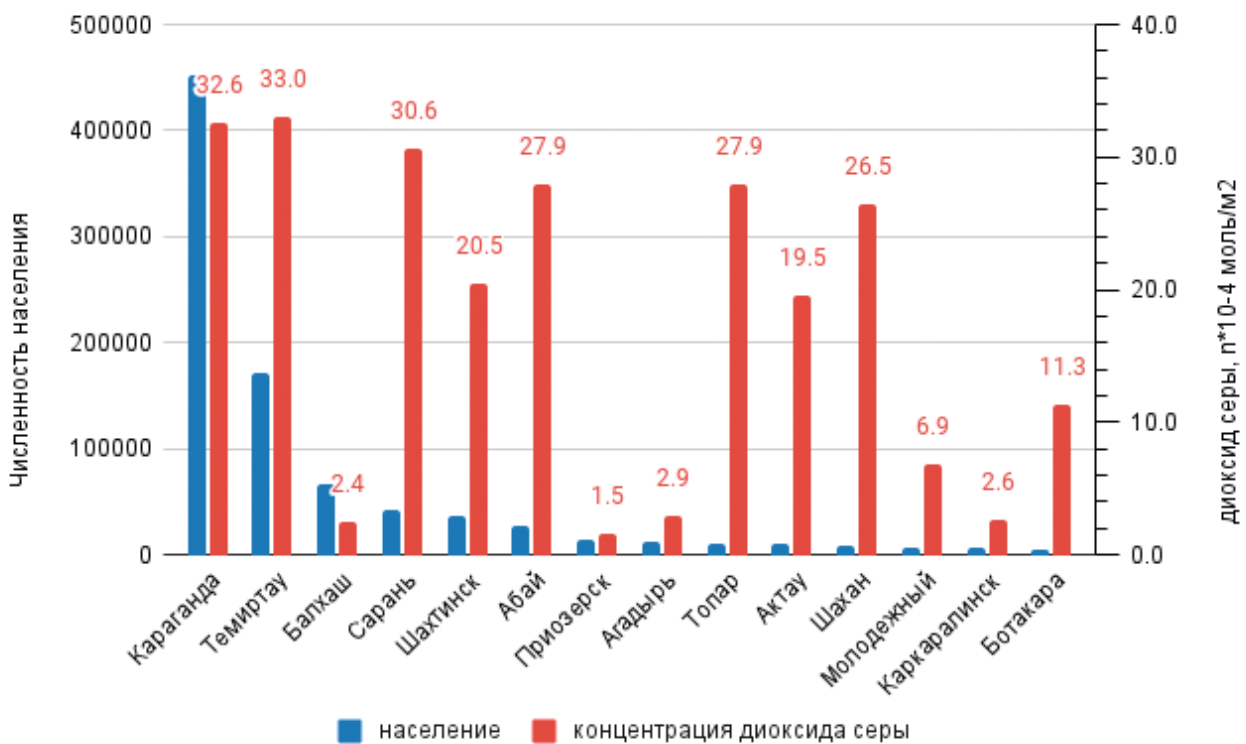


Рис. 44: Средние концентрации SO_2 , рассчитанные для городов и поселков Карагандинской области с населением более 5000 человек. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; HDX, 2022.

ний. В семи из них концентрации превышают суточные нормы ВОЗ – 20 мкг/м³ (Караганда, Термитау, Сарань, Абай, Шахтинск, Топар, Шахан).

Анализ не выявил увеличения концентраций над городом Балхаш, хотя Ассанов (2021) относит его к „горячим точкам“ загрязнения. Несмотря на наличие в регионе завода черной металлургии „Балхашцветмет“, известного своими выбросами загрязняющих веществ, анализ не выявил соответствующего роста концентраций над городом Балхаш.

Твердые частицы (PM_{10})

На рис. 45 прослеживается как антропогенное, так и природное влияние на распределение концентрации PM_{10} . Как уже отмечалось в главе, посвященной распределению PM_{10} по территории Казахстана, значительная часть PM_{10} происходит из природных источников. В летние месяцы концентрация этого загрязнителя возрастает практически по всей южной части страны из-за неразвитого почвенно-растительного покрова. На юге Карагандинской области находятся крупные природные источники твердых частиц. Поэтому повышенные значения, связанные с природным происхождением PM_{10} , наблюдаются в южной части области. Напротив, в северной части значительная часть PM_{10} связана с деятельностью человека. Сочетание горнодобывающей промышленности, металлургии и угольных электростанций повышает концентрацию PM_{10} в окрестностях

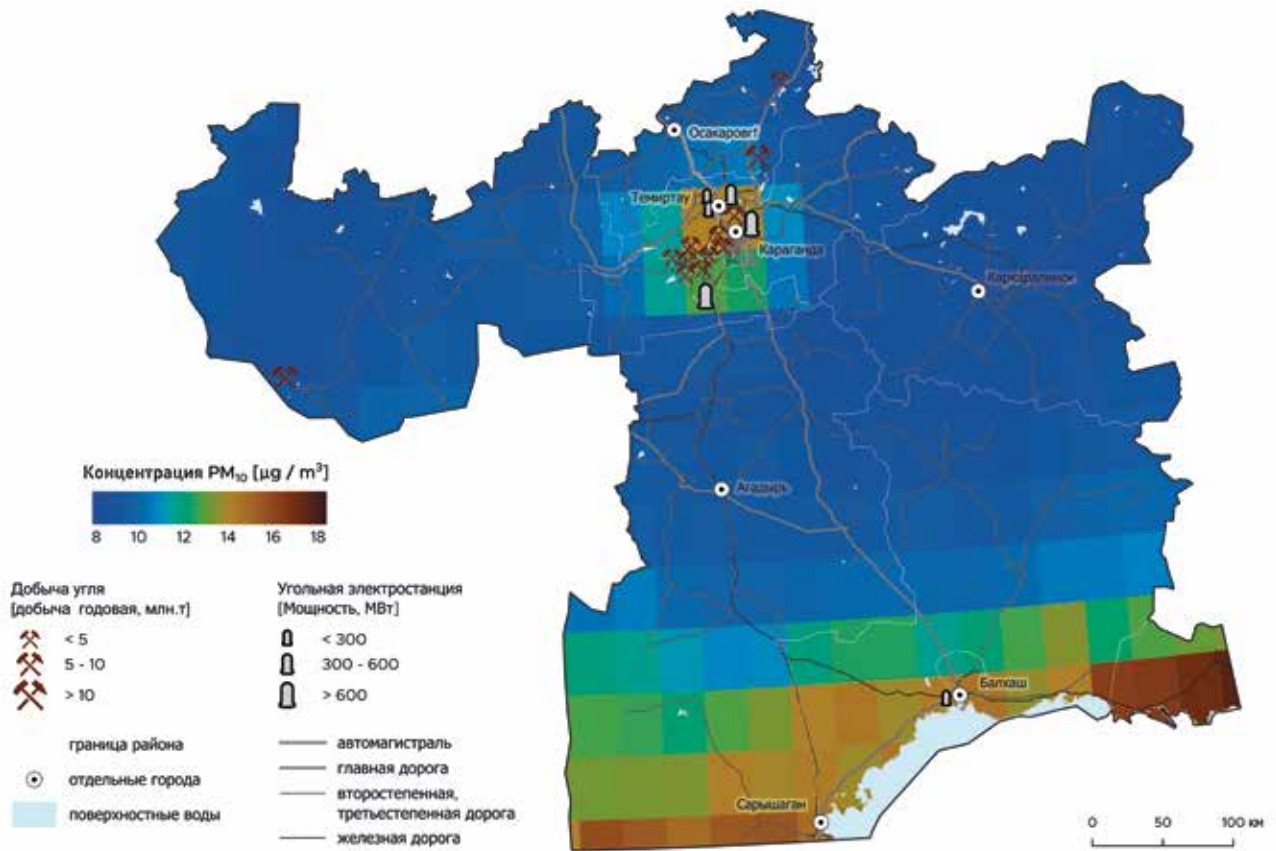


Рис. 45: Средняя концентрация PM_{10} в Карагандинской области в период 2018–2022 гг..
 Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; Global Energy Monitor, 2022.

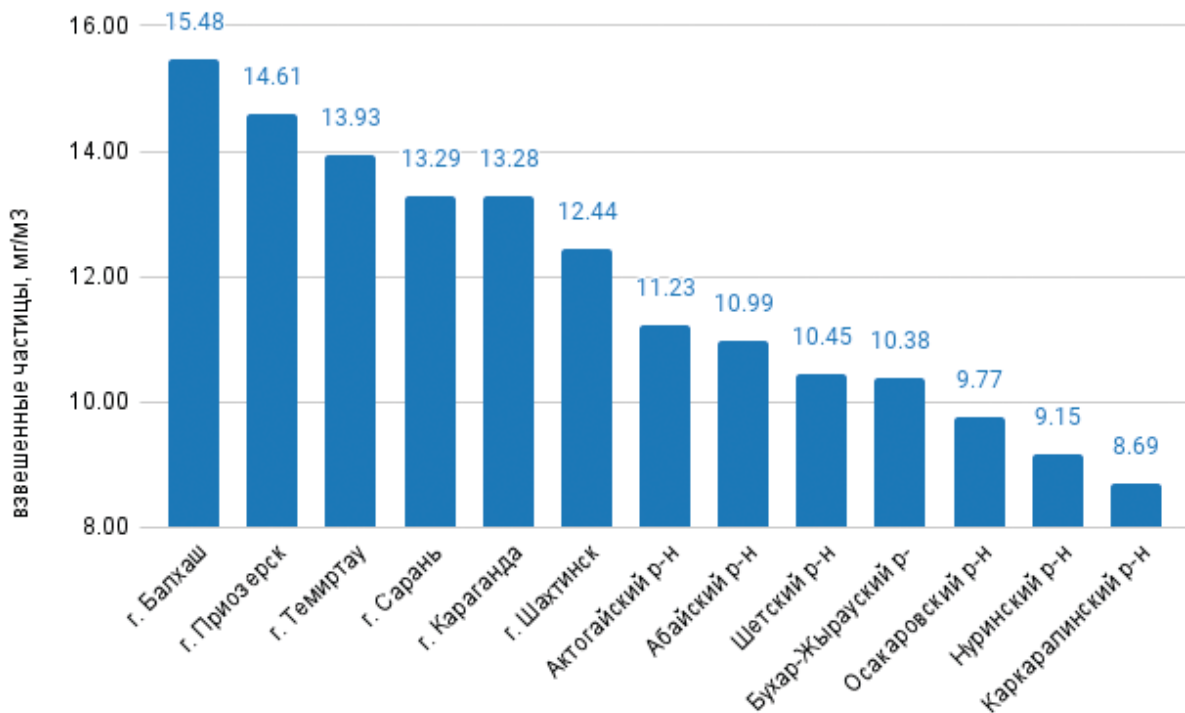


Рис. 46: Средние концентрации PM_{10} , рассчитанные для городов и районов Карагандинской области. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022; HDX, 2022.

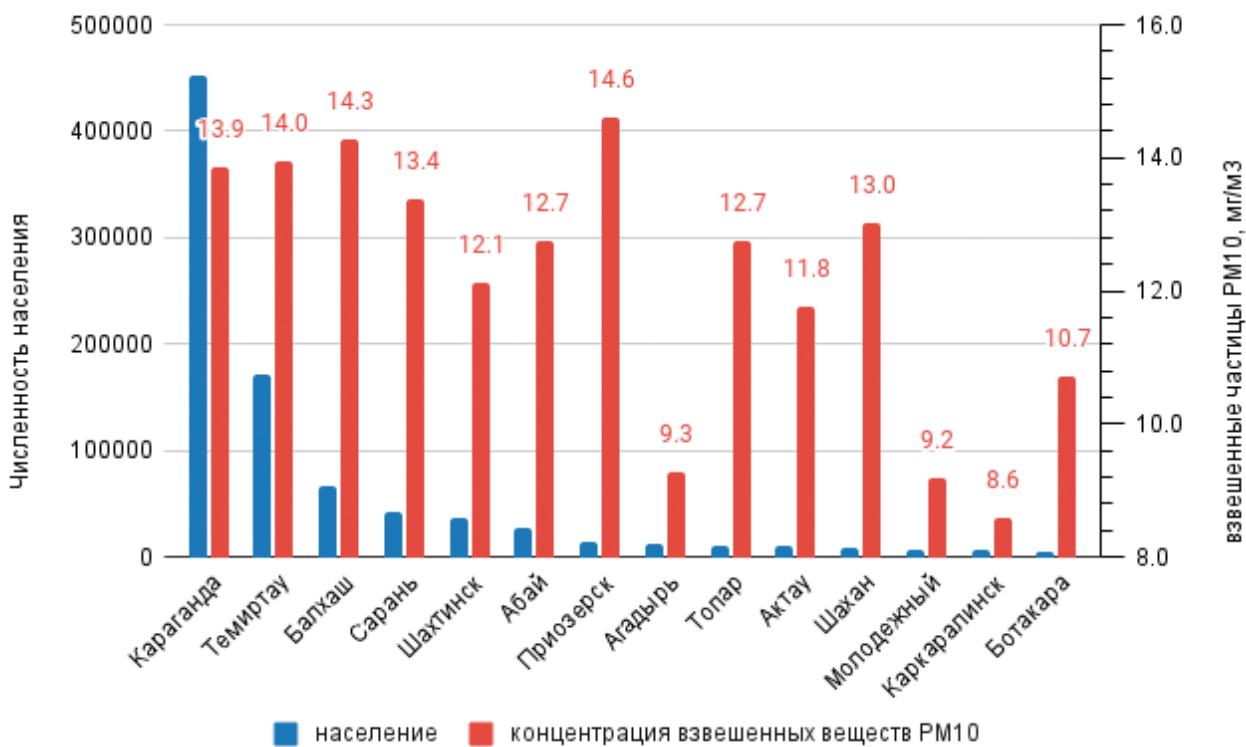


Рис. 47: Средние концентрации PM_{10} , рассчитанные для городов и поселков Карагандинской области с населением более 5000 человек. Источники: Данные службы мониторинга атмосферы Copernicus (CAMS, 2022); OpenStreetMap contributors, 2022); HDX, 2022.

городов Караганда и Темиртау в течение всего года.

Средние концентрации PM_{10} по районам Карагандинской области представлены на рис. 46. Как уже отмечалось выше, вокруг Караганды и Темиртау наблюдаются наиболее высокие концентрации загрязнителя, обусловленные деятельностью человека. Напротив, в районах, расположенных на юге, высокие значения достигаются за счет природных факторов.

На рис. 47 показана зависимость между численностью населения и концентрацией PM_{10} . Населенные пункты на графике рас-

положены слева направо по численности населения. Можно заметить, что для большинства городов концентрации PM_{10} сопоставимы между собой. В отличие от предыдущих загрязнителей, высокие уровни загрязнения PM_{10} можно наблюдать и в городах на юге Карагандинской области. В Балхаше вероятной причиной этого является деятельность предприятия черной металлургии „Балхашцветмет“, а также другие природные источники. В Приозерске это связано в первую очередь с природными факторами.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Загрязнение воздуха и изменение климата тесно взаимосвязаны. Оба эти явления представляют значительный риск для здоровья людей, экосистем и экономической стабильности. Их последствия ощущаются во всем мире, но особенно заметны в богатых природными ресурсами странах, таких как Казахстан. Осознавая всю сложность ситуации, Казахстан в 2021 году обновил свой Экологический кодекс. Эти поправки подтверждают приверженность страны снижению уровня загрязнения воздуха путем внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) и намечают путь к достижению углеродной нейтральности к 2060 году. Кроме того, снижение уровня загрязнения воздуха напрямую способствует достижению целей устойчивого развития ООН, а также целей Парижского соглашения по изменению климата.

Однако большие запасы полезных ископаемых в Казахстане исторически обусловили зависимость экономики от развития горнодобывающей, перерабатывающей и тяжелой промышленности. Эти отрасли играют важную роль в обеспечении экономического роста страны, но в то же время обостряют проблемы, связанные с улучшением качества воздуха и смягчением последствий изменения климата. По мере того как страна преодолевает эту двойственность, решающее значение приобретает взаимосвязь между драйверами экономического роста и экологическими обязательствами. В приведенных ниже разделах рассматриваются рекомендуемые стратегии, направленные на гармоничное сочетание этих задач.

Усилить мониторинг качества воздуха и сбор данных

Национальная гидрометеорологическая служба Казахстана (Казгидромет) отвечает за владение и эксплуатацию национальной сети мониторинга качества воздуха. Учитывая ограниченное количество измерительных станций, **необходимо расширить инфраструктуру мониторинга** путем создания большего количества стратегически важных станций в городских, промышленных и сельских районах, в том числе вблизи основных источников загрязнения, упомянутых в данном исследовании.

Эти станции должны быть оснащены высококачественными приборами, способными точно измерять широкий спектр загрязняющих веществ. Регулярное техническое обслуживание, калибровка и процедуры контроля качества имеют решающее значение для обеспечения надежности данных. Необходимо также повышать качество и достоверность данных путем применения стандартизированных методик измерений и строгих протоколов контроля качества. По опыту стран ЕС, оптимальным вариантом представляется **создание единой системы, управляемой одним органом** на национальном уровне, который также осуществляет контроль достоверности данных. Эта система также должна быть независимой от внешних и политических влияний.

Использование потенциала сетей гражданского мониторинга, таких как [AirKaz.org](https://airkaz.org), может дать дополнительное представление о проблеме. Привлечение общественности к сбору данных о загрязнении воздуха с помощью различных инструментов и приложений позволяет собрать большой объем информации, что дает более полное представление о качестве воздуха в различных районах. Кроме того, отчетность должна быть доступной и удобной для пользователей, а данные в режиме реального времени должны пре-

доставляться через онлайн-порталы и мобильные платформы.

Регулярное использование спутникового мониторинга и данных таких служб, как служба атмосферного мониторинга Copernicus, может дать более широкое представление об общем прогрессе и пространственно-временных изменениях в распределении загрязнений, включая проблему трансграничных загрязнителей.

Сокращение использования угля и внедрение возобновляемых источников энергии

Основные мероприятия должны быть направлены на **предотвращение строительства новых электростанций на основе ископаемого топлива**, постепенное снижение доли ископаемого топлива и диверсификацию производства энергии за счет возобновляемых источников.

Основываясь на примерах регионов с переходной угольной экономикой в ЕС и США, важно начать взаимодействие с предприятиями и населением, зависящими от угольной промышленности, с целью скорейшей **разработки комплексного плана постепенного сокращения потребления угля**. Этот план должен быть согласован с климатическими целями страны и переходом на более чистые источники энергии. Сотрудничество с операторами угольных станций, угольными компаниями и соответствующими заинтересованными сторонами необходимо для обеспечения справедливого, честного и плавного перехода. (World Bank, 2022)

Для угольных станций может быть принят поэтапный подход к выводу из эксплуатации с учетом срока их службы и наличия альтернативных источников энергии. При планировании вывода из эксплуатации угольных станций и шахт следует учи-

тывать **воздействие на угледобывающую отрасль**, включая потенциальную потерю рабочих мест и необходимость создания альтернативных источников средств к существованию для затронутого населения. Для начала успешного перехода от угля необходимо реализовать программы поддержки, такие как инициативы по переобучению и диверсификации местной экономики.

Учитывая высокую зависимость Казахстана от добычи нефти и газа, крайне важно сосредоточить усилия на максимальной декарбонизации этого сектора. Необходимо **предпринять усилия по максимальному сокращению сжигания и выбросов в атмосферу**, а также минимизации утечек при работе с нефтегазовыми продуктами и их транспортировке. Предпочтительно использовать запасы природного газа в качестве переходного топлива к возобновляемым источникам энергии. Страна может изучить возможность использования газа для балансировки колебаний выработки возобновляемой энергии, особенно в районах с высоким потенциалом солнечной и ветровой энергии, например, в пустынных регионах.

Инвестиции в строительство солнечных и ветровых электростанций, а также совершенствование инфраструктуры передачи и хранения энергии могут способствовать скорейшей интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистему. Для привлечения интереса бизнеса к возобновляемой энергетике рекомендуется разработать соответствующие меры поддержки, ввести льготные тарифы и инвестиционные стимулы для привлечения частного сектора к реализации проектов в области возобновляемой энергетике.

Особое внимание должно быть уделено эффективному централизованному теплоснабжению и охлаждению для поддержки экологически чистой и декарбонизированной инфраструктуры. Существует острая необходимость в приоритетном обновлении и улучшении жилых, коммерческих и общественных зданий с точки зре-

ния энергоэффективности. Примерно 55% жилых домов в Казахстане отапливаются индивидуальными системами отопления, из которых 55% приходится на уголь, 35% – на газ и 10% – на другие виды топлива. В небольших городах инфраструктура центрального отопления отсутствует, что еще больше способствует распространению индивидуальных систем отопления. Кроме того, значительная часть жилых домов, особенно панельных, не имеет должной теплоизоляции и мер по энергосбережению. Модернизация систем отопления, усиление теплоизоляции и продвижение энергосберегающих технологий могут способствовать снижению энергопотребления и улучшению качества воздуха в помещениях.

Кроме того, следует обратить внимание на небольшие города и поселки, где инфраструктура центрального отопления недостаточна или отсутствует, что приводит к большей зависимости от индивидуальных систем отопления, работающих на угле и других видах ископаемого топлива. **Внедрение централизованных систем отопления** или альтернативных вариантов экологически чистой энергии может помочь решить эту проблему и повысить энергоэффективность в более широком масштабе. Правительству совместно с региональными властями следует также рассмотреть возможность создания программ субсидирования индивидуальных домовладений для улучшения их теплоизоляции и систем отопления. На эти цели могут быть направлены средства, полученные в качестве платы за загрязнение окружающей среды.

Нормативно-правовая база, экологическая ответственность и местные кадастры выбросов

В последние годы Казахстан активизировал усилия по проведению более благоприятной и единой экологической политики, принятию и адаптации международных соглашений по климатической политике (например, Концепция перехода к зеленой экономике, Стратегия «Казахстан 2050» или «Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года»), реформируется межведомственное взаимодействие, обновлен Экологический кодекс.

Несмотря на наличие соответствующего законодательства, его **реализация и исполнение остаются неэффективными**, отсутствует должное взаимодействие между различными государственными органами и организациями, включая министерства, что препятствует практической реализации нормативно-правовых актов. Методы, используемые для установления предельно допустимых выбросов (ПДВ), связаны с недостатками нормативов качества окружающей среды и отсутствием эффективного контроля и обеспечения соблюдения этих норм. (Ассанов, 2021)

Поэтому, для эффективного соблюдения предлагаемых стандартов и нормативов качества воздуха, крайне важно укрепить потенциал регулирующих органов, отвечающих за охрану окружающей среды. Для этого необходимо выделить соответствующие ресурсы, включая финансирование, подбор персонала, обучение и техническое оснащение. Особое внимание следует также уделить обеспечению соблюдения законодательных норм, что связано с противодействием недобросовестной лоббистской и коррупционной деятельности. Необходимо проводить регулярные проверки и аудиты промышленных пред-

приятий, электростанций и других источников загрязнения на предмет соблюдения экологических норм. **Жесткие, но соразмерные наказания за несоблюдение стандартов и нормативов качества воздуха** должны повысить осведомленность промышленных предприятий и населения о последствиях несоблюдения нормативов.

Для решения проблемы трансграничных выбросов из таких городов, как Челябинск, Магнитогорск или Ташкент, Казахстану следует рассмотреть возможность **заключения двусторонних соглашений с Россией и Узбекистаном**. Эти соглашения должны быть направлены на установление целевых показателей сокращения выбросов, обмен информацией о промышленной деятельности и внедрение совместных механизмов мониторинга и правоприменения. Кроме того, Казахстану следует усовершенствовать собственные системы мониторинга качества воздуха, особенно в регионах, подверженных трансграничным переносам загрязняющих веществ.

Местные органы власти могут использовать инвентаризацию выбросов в качестве инструмента для выявления значимых источников загрязнения воздуха и направления своих действий по решению этой проблемы. Всестороннее понимание и количественная оценка местных источников загрязнения воздуха позволяют заинтересованным сторонам определить ключевые сектора, требующие быстрых и экономически эффективных мер по снижению выбросов. Это особенно важно для промышленных центров и городских районов, где инвентаризация выбросов должна предшествовать планированию целевых мероприятий. Эффективным инструментом для достижения долгосрочного улучшения качества воздуха является **разработка планов обеспечения чистоты воздуха** на городском и областном уровнях, основанных на актуальных данных инвентаризации. Эти планы должны содержать конкретные меры и стратегии, которые должны быть реализованы в ближайшие 5 лет.

Загрязнение PM_{10} будет оставаться постоянной проблемой для Казахстана в силу природных факторов, в том числе обширных территорий с ограниченным растительным покровом, способствующих легкому переносу частиц, зачастую в виде пыльных бурь. Однако Казахстан может внести косвенный вклад в борьбу с этой проблемой, **сосредоточившись на инициативах по борьбе с изменением климата и опустыниванием** в других регионах.

Меры по повышению энергоэффективности и ограничению выбросов в промышленности

Тяжелая промышленность и энергетика в Казахстане оказывают наибольшее влияние на качество воздуха и здоровье людей. Проблема возникает в связи с тем, что **предприятия тяжелой промышленности или электростанции часто находятся в непосредственной близости от городов или даже внутри них**. Это подчеркивает важность установки высокоэффективных фильтров и соблюдения строгих стандартов.

Внедрение финансовых инструментов, подкрепленных жесткими правилами и обязательствами в области энергоэффективности, основанными на рекомендованной Всемирным банком политике (World Bank, 2022), может существенно снизить энергопотребление и связанные с ним выбросы в таких ключевых секторах, как реконструкция зданий, промышленные процессы и транспорт. Это должно включать в себя продвижение энергоэффективного оборудования, модернизацию зданий и внедрение интеллектуальных транспортных решений, которые способствуют снижению загрязнения воздуха.

Создание привлекательной инвестиционной среды с помощью таких стимулов, как налоговые льготы, субсидии и оптими-

зация административных процессов, может способствовать привлечению частных инвестиций в повышение энергоэффективности. Любая финансовая поддержка и стимулирование промышленности должны быть связаны с использованием **наилучших доступных технологий (НДТ)** и переходом на низкоуглеродные процессы. Для стимулирования этой деятельности рекомендуется создание программ „зеленого“ финансирования, специально направленных на снижение промышленных выбросов и поддержку внедрения экологически чистых технологий.

Поощрение внедрения **систем энергетического менеджмента**, таких как ISO 50001, может помочь промышленным предприятиям в мониторинге и оптимизации энергопотребления. Внедрение эффективных методов энергоменеджмента позволяет компаниям выявлять возможности для экономии энергии, устанавливать цели по ее сокращению и постоянно улучшать свои энергетические показатели.

Дорожные карты по сокращению выбросов для конкретных секторов должны определять ключевые шаги, вехи и цели для перехода к более устойчивому производству. Надлежащая поддержка и передача технологий со стороны международных организаций, таких как ОЭСР или Всемирный банк, могут обеспечить руководство и техническую поддержку в разработке этих дорожных карт и мониторинге прогресса. Поддержка инициатив в области исследований и разработок, направленных на разработку инновационных решений по сокращению выбросов в промышленности, также будет способствовать развитию международной конкуренции и предоставит новые возможности для бизнеса.

В этой связи Казахстану следует создать действующий Реестр выбросов и переноса загрязнений (РВПЗ), соответствующий стандартам, изложенным в Протоколе РВПЗ к Орхусской конвенции, который вступил в силу в Казахстане в 2020 году. Регулярные отчеты от крупных загрязни-

телей должны проходить проверку и быть доступными для населения в Интернете. Эти данные должны влиять на государственные системы на разных уровнях: государственные стандарты экологической безопасности, процедуры выдачи юридических разрешений на выбросы загрязняющих веществ, государственную регуляторную политику.

В районах, где постоянный мониторинг указывает на нарушение допустимых пороговых значений загрязнения, необходимо ввести более строгие ограничения, сопровождаемые выдачей **квот на выбросы созагрязняющих веществ**. Эти заранее установленные ограничения должны не только учитывать существующие объемы выбросов, но и активно сдерживать появление новых источников выбросов.

Осведомленность и участие общественности

Информированность общественности о качестве воздуха в Казахстане в целом низкая. Обеспечение доступа общественности к информации имеет решающее значение, включая данные государственного мониторинга качества воздуха, своевременные предупреждения о смоге и подробную информацию о работе основных источников загрязнения. Правительству **важно активно вовлекать общественность в процессы принятия решений**, такие как территориальное планирование, утверждение планов обеспечения чистого воздуха на муниципальном и областных уровнях, а также проведение мероприятий по оценке воздействия на окружающую среду и процедур выдачи разрешений для промышленных предприятий. Участие общественности не только имеет положительный эффект как таковое, но также помогает преодолеть потенциальное сопротивление со стороны общественности, политических организаций или коммер-

ческих интересов в отношении запланированных мер по сокращению загрязнения. Дальнейший упор должен быть сделан на участие общественности в мониторинге использования государственных экологических финансовых средств, таких как доходы от платы за загрязнение окружающей среды или от схем торговли выбросами парниковых газов.

В Казахстане существует значительная зависимость от пассажирского автотранспорта, зачастую состоящего из старых моделей с низкой эффективностью расхода топлива. Это способствует загрязнению воздуха, особенно в таких городах, как Алматы, Астана, Шымкент и Павлодар, где наблюдались высокие концентрации NO_2 и SO_2 . Кроме того, широко используются сильно загрязняющие методы отопления, включая уголь, газ, биомассу и мазут. Такая практика существенно влияет на качество воздуха и способствует загрязнению жилых районов и городских центров. Крайне важно решать эти проблемы, проводя **кампании по повышению осведомленности общественности** и рассказывая о важности экологически чистых вариантов транспорта, внедряя более чистые методы отопления в частных домохозяйствах, пропагандируя энергосбережение и препятствуя сжиганию биомассы. Правительственные инициативы и стимулы могут сыграть решающую роль в поддержке этих инициатив.

Кроме того, **создание системы раннего оповещения для оповещения** властей и общественности о чрезвычайном загрязнении воздуха окажется полезным для принятия своевременных профилактических мер и минимизации негативного воздействия на качество воздуха и здоровье человека. Для поощрения участия общественности в процессах принятия решений и привлечения заинтересованных сторон к разработке и реализации мер по контролю загрязнения воздуха решающее значение имеют удобные для пользователя платформы и инструменты для доступа к экологическим данным и их понимания.

Особые рекомендации для Карагандинской области

Для улучшения качества воздуха в Карагандинской области необходимо уделить приоритетное внимание **угольной промышленности региона**. В частности, основное внимание должно быть уделено стимулированию угольных электростанций к внедрению передовых технологий контроля загрязнения и обеспечению соблюдения строгих стандартов выбросов. Например, поощрение угольных электростанций к инвестированию в современные системы очистки дымовых газов от соединений серы, твердых частиц и других вредных веществ. Электростатические пылеуловители или тканевые (рукавные) фильтры могут эффективно улавливать и удалять загрязняющие вещества до того, как они будут выброшены в атмосферу, смягчая их воздействие на качество воздуха.

Также жизненно важно решить **проблему выбросов от угольных предприятий**, приняв меры по снижению выбросов пыли. Это может включать в себя технологии, улучшающие пылеподавление, использование закрытых конвейерных систем и создание механизмов строгого мониторинга и обеспечения соблюдения требований. Регулярный мониторинг уровня пыли и проведение проверок могут помочь выявить области, требующие улучшения, и обеспечить оперативное принятие корректирующих мер. Кроме того, должна быть создана система контроля соответствия угля стандартам качества, реализуемого на розничном рынке, который сейчас переполнен суррогатами неопределенного качества.

Отдельного внимания заслуживает и **металлургическая промышленность**, особенно сталелитейные, ферросплавные и медеплавильные заводы. Поощрение внедрения более чистых производственных технологий, таких как электродуговые печи вместо традиционных доменных пе-

чей, может значительно снизить выбросы загрязняющих веществ, таких как твердые частицы, диоксид серы и оксиды азота.

Наряду с этими мерами важно **улучшить общие усилия по экологическому мониторингу** в регионе. Расширение сети мониторинга качества воздуха за счет стратегического расположения станций, оснащенных высококачественными приборами, может обеспечить точные данные об уровнях загрязняющих веществ в режиме реального времени. Эти данные затем можно использовать для оценки эффективности мер по сокращению загрязнения и определения областей, требующих дальнейшего внимания.

Как подробно описано в разделе общих рекомендаций, местные органы власти должны **привлекать граждан к принятию** таких решений, как территориальное планирование, утверждение местных планов обеспечения чистого воздуха, оценки воздействия на окружающую среду, и выдача разрешений на промышленную деятельность. Участие широкой публики обеспечивает прозрачность процесса принятия решений, смягчает недовольство и позволяет контролировать использование средств.



Устаревшие технологии в тяжелой промышленности, не соответствующие современным стандартам, являются одной из основных причин чрезмерного загрязнения воздуха. АрселорМиттал Темиртау. (Фото: Ондрей Петрлик / Арника)

ИСТОЧНИКИ

- Arnika (2022): Temirtau: town where colored snow falls. Retrieved from <https://www.arnika.org/en/hotspots/kazakhstan/polluted-air-in-temirtau>
- Askarov, D. M., Amrin, M. K., Izekenova, A. K., Beisenbinova, Z. B., & Dosmukhametov, A. T. (2023): Health Status and Quality of Life in the Population near Zhezkazgan Copper Smelter, Kazakhstan. *Journal of Environmental and Public Health*, 2023. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2023/8477964>
- Assanov, D., Zapasnyi, V., & Kerimray, A. (2021): Air Quality and Industrial Emissions in the Cities of Kazakhstan. *Atmosphere*, 12(3), Article 3. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/atmos12030314>
- Baimatova, N., Omarova, A., Muratuly, A., Tursumbayeva, M., Ibragimova, O. P., Bukenov, B., & Kerimray, A. (2022). Seasonal Variations and Effect of COVID-19 Lockdown Restrictions on the Air Quality in the Cities of Kazakhstan. *Environmental Processes*, 9(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00603-w>
- Copernicus (2021): Atmospheric CO₂ and CH₄ concentrations. Copernicus Climate Change Service. Retrieved from <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/greenhouse-gas-concentrations>
- Copernicus (2021): Greenhouse gases. Copernicus Climate Change Service. Retrieved from <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/greenhouse-gases>
- CAMS (2022): CAMS global atmospheric composition forecasts. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Retrieved from <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-atmospheric-composition-forecasts>
- Carbon Limits (2016): Methane abatement potential from oil and gas systems in Kazakhstan. Carbon Limits AS. 20 p. Retrieved from https://www.carbonlimits.no/wp-content/uploads/2016/04/CarbonLimits_Methane_Kazakhstan.pdf
- EEA (2022): Sources and emissions of air pollutants in Europe. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air>
- ESA (2018-2022): Sentinel-5P imagery from 2018-2022 [dataset]. Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu/>
- EPA (2006): Technical Report on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining. Volume 1. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-05/documents/402-r-08-005-v1.pdf>
- European Commission (2000): Global Land Cover 2000 Product [dataset]. IFORCE. Retrieved from <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php>
- Ellis, D. (2022): Methane emissions from Kazakhstan mine ,equal to 2.6m cars'. *Mining Digital*

Magazine. Retrieved from <https://miningdigital.com/sustainability/methane-emissions-from-kazakhstan-mine-equal-to-2-6m-cars>

FAO (2021): Country Pasture/Forage Resource Profiles: Kazakhstan. Retrieved from <https://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=KAZ>

Flanders Investment & Trade. (2022): Corona virus – The situation in Kazakhstan. Retrieved from <https://www.flandersinvestmentandtrade.com/export/nieuws/corona-virus-situation-kazakhstan>.

GFDRR (2023): Wildfires – Kazakhstan. ThinkHazard. Retrieved from <https://thinkhazard.org/en/report/132-kazakhstan/WF>

Gilmour P. S., Morrison E. R., Vickers M. A., Ford I., Ludlam C. A., Greaves M., Donaldson K., & MacNee W. (2005): The procoagulant potential of environmental particles (PM10). *Occupational and environmental medicine*, 62(3), 164–171. Retrieved from <https://doi.org/10.1136/oem.2004.014951>

Global Energy Monitor (2022): GEM data on coal, oil and mining sites [datasets]. Retrieved from <https://globalenergymonitor.org>

HDX (2022a): Kazakhstan – Subnational Administrative Boundaries [dataset]. Retrieved from <https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-kaz>

IEA (2021): Methane Tracker 2021. IEA. Paris. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2021>

IEA (2022): Environmental Code of the Republic of Kazakhstan, №400-VI (as amended). Retrieved from <https://www.iea.org/policies/12917-environmental-code-of-the-republic-of-kazakhstan-400-vi-as-amended>

IPCC (2021): Chapter 6 – Short-lived Climate Forcers. In IPCC (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 2391. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Irving, W. and Tailakov, O. (2000): CH₄ emissions: Coal mining and handling. In IPCC (2000): *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, p. 129-144. Institute for Global Environmental Strategies, Japan. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_7_Coal_Mining_Handling.pdf

Issanova, G., and Abuduwaili, J. (2017): Dust Storms in Central Asia and Kazakhstan: Regional Division, Frequency and Seasonal Distribution. In G. Issanova & J. Abuduwaili (Eds.), *Aeolian processes as Dust Storms in the Deserts of Central Asia and Kazakhstan* (pp. 87–109). Springer. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-981-10-3190-8_5

- Issanova, G., Kaldybayev, A., Ge, Y., Abuduwaili, J., & Ma, L. (2023): Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms and Aeolian Processes in the Southern Balkash Deserts in Kazakhstan, Central Asia. *Land*, 12(3), Article 3. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/land12030668>
- IQAir (2021): World's Most Polluted Countries in 2021 – PM2.5 Ranking. Retrieved from <https://www.iqair.com/in-en/world-most-polluted-countries>
- Javadinejad, S., Eslamian, S., & Ostad-Ali-Askari, K. (2019): Investigation of monthly and seasonal changes of methane gas with respect to climate change using satellite data. *Applied Water Science*, 9(8), 180. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1067-9>
- Kazakhstan Meteorological Agency (2023): Climate of Kazakhstan. Retrieved from <https://www.kazhydromet.kz/klimat/klimat-kazahstana-1> (accessed March 9, 2023)
- Kerimray, A. (2020): Air quality in the cities of Kazakhstan. Health effects of air pollution. Center of Physical-chemical Methods of Research and Analysis, Al-Farabi Kazakh National University. Retrieved from https://unece.org/sites/default/files/2021-01/11_KAZ_Air_Quality_Kerimray_Eng_UNECE_UNEP_1.pdf
- Künzli N., Jerrett M., Mack W. J., Beckerman B., LaBree L., Gilliland F., Thomas D., Peters J., & Hodis H. N. (2005): Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environmental health perspectives*, 113(2), 201–206. Retrieved from <https://doi.org/10.1289/ehp.7523>
- Lan, X., K.W. Thoning, and E.J. Dlugokencky (2023): Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2023-03. Retrieved from <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>
- Lauvaux T., Giron C., Mazzolini M., d'Aspremont A., Duren R., Cusworth D., Shindell D. & Ciais P. (2022): Global assessment of oil and gas methane ultra-emitters. *Science* 375, 557-561(2022). Retrieved from <https://doi.org/10.1126/science.abj4351>
- Mackiewicz-Walec, E., Krzobietke, S., Lenart, L., Rogalski, L., & Smoczyński, L. (2014): Changes in sulphur dioxide concentrations in the atmospheric air assessed during short-term measurements in the vicinity of Olsztyn, Poland. *Journal of Elementology*, 3/2014. Retrieved from <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.2.634>
- Metalloinvest (2020): Mikhailovsky GOK. Retrieved from <https://www.metalloinvest.com/en/business/mining-segment/mgok/>
- NASA (2005): Fires in Kazakhstan. NASA image created by Jesse Allen, Earth Observatory, using data obtained from the MODIS Rapid Response team. Retrieved from <https://earthobservatory.nasa.gov/images/15035/fires-in-kazakhstan>
- Natural Earth (2022): 1:10m Cultural Vectors [dataset]. <https://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-cultural-vectors/>
- Otero, N., Rust, H. W., & Butler, T. (2021): Temperature dependence of tropospheric ozone under NO_x reductions over Germany. *Atmospheric Environment*, 253, 118334. Retrieved from

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118334>

- Roschanka V., Evans M., Ruiz F., Kholod N. (2017): A strategic approach to selecting policy mechanisms for addressing coal mine methane emissions: A case study on Kazakhstan. *Environmental Science and Policy* 78 (2017), p. 185-192. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-11/documents/cmm-emissions-case-study-kazakhstan.pdf>
- Sinergise (2023): Sentinel-5P L2. SentinelHub. Retrieved from <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-5p-l2/> (accessed March 9, 2023)
- The Astana Times (2021): Turkistan to Become Center of International Tourism and Pilgrimage. The Astana Times. Retrieved from <https://astanatimes.com/2021/04/turkistan-to-become-center-of-international-tourism-and-pilgrimage/>
- WHO (2000): Chapter 7.1: Nitrogen dioxide. In: WHO (2000): Air quality guidelines for Europe (2nd ed). World Health Organization, Regional Office for Europe. Retrieved from https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/123083/AQG2ndEd_7_1nitrogendioxide.pdf?ua=1
- WHO (2005): Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>
- WHO (2013): Health effects of particulate matter. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, pp. 20. Retrieved from https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
- WHO (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10) , ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- WHO (2023): Ambient (outdoor) air pollution. Retrieved from [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)
- World Bank (2021): Kazakhstan – Overview for 2021. Retrieved from www.worldbank.org/en/country/kazakhstan/overview
- World Bank (2023): Kazakhstan Discusses Actions to Reduce Air Pollution with Partners. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/04/25/kazakhstan-discusses-actions-to-reduce-air-pollution-with-partners>
- Xu, W., Wen, Z., Shang, B., Dore, A. J., Tang, A., Xia, X., Zheng, A., Han, M., Zhang, L., Zhao, Y., Zhang, G., Feng, Z., Liu, X., & Zhang, F. (2020): Precipitation chemistry and atmospheric nitrogen deposition at a rural site in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 223, 117253. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117253>



<https://arnika.org>

«Арника» объединяет людей, стремящихся к лучшей окружающей среде. Мы считаем, что природные богатства – это не только дар, но и обязанность сохранить их для будущего. С момента своего основания в 2001 году «Арника» стала одной из самых важных экологических организаций в Чешской Республике. Мы основываем нашу работу на привлечении общественности, решениях, основанных на фактах, и коммуникации. Мы проводим общественные кампании как в Чешской Республике, так и за рубежом. Арника фокусируется на охране природы, токсичных веществах и отходах и экологической справедливости.



<https://ecomuseum.kz>

«Экомузей» создан в Караганде в 1995 году. Его миссия – сбор и распространение экологической информации на территории Центрального Казахстана для повышения роли ответственности в решении актуальных экологических проблем и в развитии демократических процессов в обществе. Экомузей фокусируется на повышении осведомленности общественности, вовлечении общественности в действия по защите окружающей среды, исследованиях и внедрении экологически чистых технологий.



WORLD FROM SPACE

<https://worldfrom.space>

«World from Space» — чешская компания, приносящая преимущества космических технологий устойчивому обществу. Нашими ключевыми технологическими областями являются наблюдение Земли, геопространственные данные и анализ больших данных, особенно в городской, экологической и сельскохозяйственной сферах. Мы фокусируемся на расширенном анализе данных и машинном обучении с помощью спутниковых изображений и данных сервисов Copernicus. Флагманский продукт компании DynaCrop API обеспечивает глобальный мониторинг урожая для сельскохозяйственного программного обеспечения. Дайте нам знать о ваших идеях и посетите наш сайт.



Озеро Балхаш и медеплавильный завод «Казахмыс», который является основным источником загрязнения воздуха в этом районе (Фото: Ондрей Петрлик / Арника)



«АрселорМиттал Темиртау» является одним из крупнейших источников загрязнения воздуха во всей стране. Вид с Самаркандского водохранилища. (Фото: Ондрей Петрлик / Арника)

Скачать исследование можно:



Дополнительная информация:

www.ecocitizens.kz

