МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Сезонный анализ загрязнения атмосферы в мегаполисе Санкт-Петербург»

Исполнитель Троицкая Анастасия Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Крюкова Светлана Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой
(подпись)
кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

« 08 » июня 2025 г.

Санкт–Петербург
2025

Содержание

Содержание 2

Введение 4

1 Физико-географические особенности территории мегаполиса Санкт-Петербург 6

1.1 Климатические условия Санкт-Петербурга 7

1.2 Температура воздуха над Санкт-Петербургом 8

1.3 Влажность в Санкт-Петербурге 9

1.4 Осадки в Санкт-Петербурге 10

1.5 Атмосферное давление в Санкт-Петербурге 11

1.6. Ветровой режим в Санкт-Петербурге 12

1.7 Инверсии в Санкт-Петербурге 13

2 Состояние качества атмосферного воздуха над территорией мегаполиса 13

2.1 Характеристики, определяющие качество атмосферного воздуха 13

2.2 Источники загрязнения атмосферы 16

2.3. Основные загрязнители атмосферного воздуха в мегаполисах и их воздействие на окружающую среду 17

2.4. Предельно допустимые концентрации и комплексные показатели загрязненности атмосферы 23

2.5. Влияние метеорологических условий на качество атмосферного воздуха . 27

3 Анализ погодных условий в Санкт-Петербурге и их влияние на загрязняющие вещества в атмосфере посезонно 28

3.1 Направление ветра 28

3.2 Скорость ветра 34

3.3 Влажность воздуха 39
3.4 Температура 44
3.5 Осадки 49
3.6 Загрязняющие вещества 54
3.6.1 Станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга 54
3.6.2 Анализ концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе 56
Заключение 70
Литературные источники 72

Введение

В современном мире негативное влияние антропогенного воздействия в первую очередь сказывается на состоянии атмосферы. Вредные вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух и накапливающиеся там, оказывают прямое воздействие на здоровье населения и условия его жизни, особенно они выражены в крупных мегаполисах.

Загрязнение воздуха — это наличие вредных веществ в атмосфере, которое появляется, когда химикаты, пыль или биологические материалы попадают в воздух, которые в свою очередь, нанося ущерб окружающей среде и здоровью человека. Источники загрязнения воздуха многочисленны и разнообразны, включая промышленную деятельность, автомобильный транспорт, сжигание ископаемого топлива, природные явления, такие как лесные пожары, а также сельское хозяйство.

Загрязнение антропогенными веществами оказывает комплексное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Чрезмерное количество выбросов приводят к ухудшению качества воздуха (вследствие чего видимости), почвы, воды, снижению урожайности, образованию кислотных дождей и смога и т.д.. Все это может привести к снижению качества жизни, так как оно может вызывать различные заболевания и проблемы со здоровьем.

Конечно, с течением времени и ростом количества промышленности, транспорта и населения в целом, правительства и организации по охране окружающей среды поднимают эту проблему все чаще. В связи с этим, актуальность проблемы загрязнения атмосферы неоспорима.

Особенно это касается крупных мегаполисов, которые имеют не только огромную плотность населения, но и большие территориальные охваты, а значит, в связи с этим у населения есть бóльшие потребности в своем личном и общественном транспорте. А для предприятий больше возможностей для

реализации в экономическом и территориальном плане. Из этого следует, что мегаполисы больше подвержены загрязнениям со стороны инфраструктур.

Для оценки загрязнения атмосферы необходимо также понять в какие сезоны происходит бóльшая часть выбросов, дабы понять, когда критически важно принимать меры по контролю антропогенного воздействия и тем самым снижать уровень загрязнения воздуха.

Таким образом, изучение загрязнения атмосферы Санкт-Петербурга является актуальной и важной задачей, которая позволяет возможности уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду и сохранения здоровья жителей.

Целью работы является анализ сезонного загрязнения в мегаполисе Санкт-Петербург. В связи с постоянным ростом территории и плотности населения, проблемы загрязнения воздуха будут только расти, а значит надо выявить и провести анализ выбросов по сезонам и отметить “слабые места” в каждом сезонном отрезке для всех источников антропогенных воздействий на атмосферу. Для достижения этой цели в работе были поставлены следующие задачи:

1. Оценить метеорологическую, экологическую обстановку города и качество атмосферного воздуха последствием сбора информации на соответствующих интернет ресурсах и документах.
2. Выявить наиболее вредоносные вещества, откуда они поступают в атмосферу, в каких масштабах.
3. Проанализировать в какие периоды года (сезоны) в атмосферу поступает большее количество веществ, понять причину различий результатов (если они присутствуют).

1 Физико-географические особенности территории мегаполиса Санкт-Петербург

Санкт-Петербург расположен на северо-западе Российской Федерации, в пределах Приневской низменности. Занимая прилегающее к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и многочисленные острова Невской дельты. Площадь города покрыта многочисленными каналами и реками, число которых насчитывается порядка 65, общая протяжённость всех водотоков на территории Санкт-Петербурга достигает 282 км, а их водная поверхность составляет около 7 % всей площади города. Вследствие чего в городе часто случаются наводнения. Площадь города составляет 1439 км², а население – ~5,6 миллиона человек по официальным показателям, но фактическое число – около 8 миллиона (за счет различных видов миграции) [1]. Санкт-Петербург является вторым городом по площади и населению в России.

В 2000–2010-е года промышленность в Санкт-Петербурге возросла в значительных масштабах за счет инвестиций, а также запросов потребителей. Автомобильная, фармацевтическая, металлургическая, пищевая промышленности и т.д.. Это лишь часть отраслей. Также не стоит забывать, что население за счет естественного прироста и миграции неуклонно росло, и будет расти с каждым годом. Ведь город является источником относительно хорошего образования и рабочих мест. А чем больше число населения, тем больше число потребления любого вида продуктов отраслей промышленности, в частности транспорта. С этого момента можно смело сказать, что Санкт-Петербург находится под влиянием загрязнения атмосферы. Все выбросы производимые заводами, транспортом и иными источниками привели к ухудшению качества воздуха. По данным за 2022 год Санкт-Петербург находится на седьмом месте среди Российских городов по уровню загрязнения воздуха [2].

1.1 Климатические условия Санкт-Петербурга

Климат – умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому поясу, находящийся на границе Атлантико-арктической и Атлантико-континентальной области. Городу присуща умеренно мягкая зима с температурой в среднем -5°С – -10°С и умеренно теплое лето с температурой в районе 18°С – 25°С. Вода, окружающая город, дает не только большую влажность, но и активно влияет на продолжительность и характер сезонов. Так Балтийское море дает нам циклоны, которые в свою очередь формируют жаркое, влажное лето и достаточно умеренную влажную зиму. Присутствие облачности и пасмурности в большинстве дней года уменьшает продолжительность солнечного сияния, которая составляет всего 35-40 от возможной продолжительности за год. Число дней без солнца достигает 110-125 дней. В период с ноября по январь, отличающийся преимущественно пасмурной погодой, число дней без солнца превышает 20 дней в месяц, а в декабре даже более 25. В теплое время года (май-август) дни без солнца бывают редко – всего 1-2 в месяц [3].

Также важно учесть климат Санкт-Петербурга по сезонам:

В Петербурге зима характеризуется влиянием Атлантического океана и Балтийского моря. В городе умеренно холодно, но часто бывают оттепели, которые могут длиться до половины сезона. Обычно снег лежит устойчиво, но бывают годы, когда снежный покров устанавливается только в середине января. Осадки выпадают преимущественно в виде снега, но в последние годы присутствует тенденция на частое выпадение дождя. Период со среднесуточной температурой ниже нуля (то есть климатическая зима) длится около 130 дней, начинаясь в середине ноября и заканчиваясь во второй половине марта.

В Санкт-Петербурге весна обычно приходит в конце марта, когда среднесуточная температура становится стабильно положительной и снег начинает таять. Однако иногда весна наступает раньше или позже обычного. В некоторых случаях снег полностью сходит уже в начале марта.

Часто бывают резкие похолодания. После тёплых дней в апреле (15–20°C) температура может внезапно упасть до 5–10°C в начале мая. При этом возможны осадки в виде мокрого снега или даже снегопады.

Лето начинается обычно неустойчивой, иногда прохладной погодой, частые дожди, возможен град. Со второй половины июня до конца августа температура днем, как правило, превышает 20°C, возможны и периоды жаркой погоды с температурой выше 30°C, за счет высокой влажности жара ощущается сильнее.

Осенью часты большие колебания температуры, возвраты тепла (15-20°C) в конце сентября и начале октября. Дожди становятся более продолжительными, но менее интенсивными, чем летом. Постепенно пасмурная и сырая погода становится преобладающей. Первые заморозки случаются в начале ноября, установление снежного покрова происходит обычно к концу ноября.

1.2 Температура воздуха над Санкт-Петербургом

Температура немаловажный фактор для климата, потому как она непосредственно влияет на характер погоды. Влияние на количество испарений – чем больше температура, тем больше испарений воды с поверхности. Влажность – при повышении температуры относительная влажность воздуха обычно снижается, а при понижении — наоборот, возрастает. Но самое главное – влияние на ветер. Разница температур двух взаимодействующих воздушных масс создает градиенты давления, что вызывает изменение характера ветра. Тем самым можно смело сказать, что температура влияет на направление и скорость движения ветра. А при изучении загрязнения атмосферы и характер передвижения веществ в пределах города это очень важный критерий.

По многолетним измерениям, начиная с 1743 года, заметна тенденция на повышения средней температуры воздуха. Особенно сильные изменения

приходятся на период 1980-2000 года, когда начались увеличения оборотов заводов, предприятий, сельского хозяйства, а также расширения спроса на автомобильный транспорт. В это время на территории России (на тот момент СССР) – эпоха перестройки. Стремительно росла промышленная отрасль. Наиболее крупными и результативными были отрасли машиностроения, автомобилестроения и металлургии.

Среднегодовая температура воздуха с начала ведения измерений повысилась на 2,1°С, для зимнего периода на 7,1°С, летнего – 0,7°С (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Средние значения температур (среднегодовые и по сезонам) в период 1752-2024 года (разделенные на периоды, каждые ~68 лет)

Периоды	Среднегодовое	Зима (декабрь-февраль)	Весна (март-май)	Лето (июнь-август)	Осень (сентябрь-ноябрь)
1752-1820	3,6	-16,7	2,0	16,4	4,5
1821-1889	3,7	-14,4	1,9	15,9	4,7
1890-1958	4,3	-12,9	2,9	16,2	5,1
1959-2024	5,7	-9,6	4,8	17,2	6,1
Разница	2,1	7,1	2,8	0,7	1,6

Вычисления производились с 1752 года, так как с этого года идут непрерывные измерения (не считая 1801-1804 года, данные в этот период отсутствуют).

Как видно из таблицы 1.1 температура увеличивалась постепенно, в период 1959-2024 наибольшие значения. Значительная разница видна в зимний период. Это еще раз подтверждает факт влияния промышленности, которая активно начала развитие именно в этот период.

1.3 Влажность в Санкт-Петербурге

В Санкт-Петербурге влажность воздуха по большей части времени на высоком уровне. Это объясняется соседством с Балтийским морем и преобладанием циклонов, которые в свою очередь приносят влажный воздух с Атлантики. Циклоны дают осадки, которые значительно превышают

интенсивность испарения. Низкое количество ясных безоблачных дней также играют роль.

Самая высокая влажность приходится на зимний период – 80-95%. Самый низкий – летом, около 60-70%. Среднегодовое значение 75% [4].

1.4 Осадки в Санкт-Петербурге

Санкт-Петербург отличается большим количеством осадков. Как уже писалось ранее виной тому циклоны, тянущиеся с Атлантики.

Осадки очень важны в рассмотрении вопроса о загрязнении атмосферного воздуха. Дело в том, что осадки помогают задерживать частицы (осаждать и вымывать) от распространения в воздухе.

Эффективность вымывания, как указывают различные авторы, зависит от характера выпавших осадков, их интенсивности и продолжительности, распределения капель дождя, спектра аэрозолей [5].

В таблице 1.2 представлены среднемесячные осадки в Санкт-Петербурге за период 2000-2024 гг. [6].

Таблица 1.2 – Таблица среднемесячных осадков в Санкт-Петербурге за период 2000-2024 гг.

	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
2000	37	19	43	24	35	86	152	64	53	73	68	61	714
2001	27	34	37	54	41	70	119	70	34	78	85	37	685
2002	34	54	39	31	21	75	116	40	52	58	61	31	610
2003	48	24	28	20	127	72	85	159	29	107	57	86	842
2004	30	37	47	8	67	109	83	84	89	40	44	62	699
2005	80	14	25	38	62	72	127	58	25	41	60	49	651
2006	25	13	34	31	61	57	17	47	33	98	81	40	537
2007	58	23	37	30	67	88	79	78	39	34	30	23	586
2008	47	63	58	43	19	70	73	77	58	108	57	52	724
2009	42	39	27	29	11	113	63	139	81	96	73	90	801
2010	26	69	58	25	69	108	61	97	58	42	118	81	813
2011	82	48	25	7	56	53	97	69	116	55	29	59	697
2012	43	24	53	54	34	62	66	153	142	68	111	53	861
2013	39	32	10	26	52	37	87	96	55	68	54	53	610
2014	50	41	31	10	93	75	44	102	21	23	42	41	573
2015	68	35	12	62	48	21	87	46	24	26	67	58	555
2016	56	48	20	69	30	97	151	189	30	36	104	36	864
2017	32	34	30	87	13	81	123	145	70	92	34	80	821
2018	41	43	38	57	14	23	96	62	68	26	20	32	519
2019	72	47	53	22	73	23	93	49	52	104	24	86	699
2020	48	48	60	26	25	66	94	107	39	62	42	45	663
2021	35	62	47	23	139	22	50	135	43	73	94	52	777
2022	63	63	14	18	26	47	76	113	67	75	50	67	677
2023	52	29	81	24	17	48	95	49	62	129	86	60	730
2024	47	42	39	70	7	46	97	184	28	37	56	62	715

Как видно из таблицы 1.2 обильные (>=80 мм/мес) осадки приходятся в основном на летние и осенние месяцы.

1.5 Атмосферное давление в Санкт-Петербурге

Термические и динамические воздействия оказывают значительное влияние на характер изменений атмосферного давления. В Санкт-Петербурге годовой режим атмосферного давления характеризуется существенными колебаниями, особенно в осенне-зимний период, что приводит к повышенной активности циклонов.

В таблице 1.3 представлены среднемесячные значения давления в Санкт-Петербурге за 2010-2024 гг. [6].

Таблица 1.3 - Среднемесячные значения давления в Санкт-Петербурге за 2010-2024 гг.

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Ср.значение
2010	1026,2	1014,6	1006,6	1015,9	1011,9	1011,9	1014,6	1011,9	1014,5	1013,2	1006,6	1013,3	1013,4
2011	1010,6	1018,6	1014,6	1013,3	1017,2	1013,2	1011,9	1013,3	1009,3	1013,2	1017,2	1001,3	1012,8
2012	1016,3	1022,1	1011,9	1008,2	1015,8	1009,5	1012,1	1014,5	1009,1	1009,7	1012,2	1018,6	1013,3
2013	1012,2	1017,5	1016,2	1014,7	1014,8	1014,7	1012,9	1015,8	1012,9	1012,9	1006,7	1008,3	1013,3
2014	1021,4	1013,8	1011,9	1014,6	1014,5	1011,5	1017,5	1010,2	1018,9	1021,1	1025,3	1008,2	1015,7
2015	1005,7	1011,5	1020,9	1006,7	1011,7	1012,6	1008,1	1019,8	1018,1	1021,3	1006,9	1010,6	1012,8
2016	1011,7	1005,8	1014,9	1010,9	1017,3	1012,7	1009,5	1013,7	1015,3	1028,7	1013,3	1010,5	1013,7
2017	1014,9	1015,8	1010,9	1009,9	1015,9	1006,6	1009,3	1013,3	1018,3	1008,6	1009,9	1004,9	1011,5
2018	1014,3	1023,3	1011,4	1012,7	1021,7	1010,8	1013,7	1013,5	1012,9	1010,2	1024,8	1017,1	1015,5
2019	1004,5	1006,4	1003,4	1024,5	1012,5	1012,5	1008,1	1014,9	1012,5	1008,6	1015,5	1004,7	1010,7
2020	1006,9	998,4	1013,4	1008,4	1013,2	1016,5	1009,8	1013,5	1013,2	1013,9	1017,1	1019,9	1012,0
2021	1011,9	1018,5	1011,2	1012,6	1010,7	1016,6	1014,0	1012,4	1016,7	1015,3	1008,3	1010,2	1013,2
2022	1004,5	1002,0	1001,1	1012,7	1011,9	1014,3	1012,9	1019,9	1016,3	1012,9	1020,7	1015,2	1012,0
2023	1014,0	1013,0	1002,9	1020,9	1021,9	1016,8	1007,0	1014,5	1018,0	1005,6	1005,6	1006,6	1012,2
2024	1011,9	1010,2	1016,5	1010,9	1020,6	1011,5	1012,2	1012,9	1020,5	1016,6	1010,2	1012,4	1013,9

Как видно из таблицы 1.3, атмосферное давление в городе варьируется в широком диапазоне от 966,9 до 1054,8 гПа. В летние месяцы давление в минимуме, а в мае — максимально, так как это связано с изменением барического поля атмосферы при переходе от зимнего к летнему сезону.

1.6. Ветровой режим в Санкт-Петербурге

Основным критерием влияния на направление и скорость ветра является Балтийское море (Финский залив). А также характер застройки разных районов города. От плотности ее зависит развитие скорости ветра.

В таблице 1.4 представлено количество повторений направления ветра за период 2010-2024 гг. [6].

Таблица 1.4 Количество повторений направления ветра по годам в период 2010-2024 гг.

Направление/год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Общегодовая
С	67	78	46	139	127	165	148	136	132	146	107	111	104	117	69	1692
СВ	233	162	174	103	98	50	120	130	192	126	120	183	129	150	140	2110
В	163	108	140	174	149	138	157	112	182	149	160	170	142	204	137	2285
ЮВ	224	171	274	64	75	64	38	54	53	47	40	46	56	40	55	1301
Ю	111	18	113	123	196	200	227	262	229	293	294	242	265	229	254	3056
ЮЗ	318	477	360	306	266	330	302	323	353	32	352	280	303	289	307	4598
З	244	252	275	360	350	469	361	376	248	308	314	278	345	345	369	4894
СЗ	80	84	85	76	65	95	132	125	97	119	114	144	100	108	117	1541

Исходя из данных таблицы 1.4, можно сделать вывод, что преимущественными направлениями ветра - западное (22,7%) и юго-западное (21,4%). Это можно объяснить влиянием Финского залива. Эти направления обладают наибольшей скоростью (3-4 м/с), противоположные же (северное и восточное направления) наблюдаются реже и с меньшей скоростью (до 3 м/с).

Скорость ветра далеко не равномерна. В городе ветра достигают в среднем 3 м/с. Тогда как на окраинах и прибрежной зоне доходят до 4-5 м/с.

Если оценивать ветер по сезонам, то ветры западного, южного и юго-западного направления обычно наблюдаются в период высокой активности циклонического развития, обычно это зимние и осенние месяцы. В переходе от зимы к лету циклоническая деятельность уменьшается, а значит, и скорости ветров идут на спад. Поэтому летом чаще всего наблюдаются штили.

1.7 Инверсии в Санкт-Петербурге

Инверсии температуры воздуха, наряду с другими явлениями, такими как штиль, туман и слабый ветер, относятся к метеорологическим условиям, которые препятствуют рассеиванию вредных выбросов в атмосфере и особенно вертикальному перемешиванию воздуха.

В нижних слоях атмосферы возникают условия, которые способствуют образованию застоя. Эти условия ограничивают объем воздуха, в который поступают примеси от различных источников, и приводит к увеличению загрязнения.

Чем чаще наблюдаются инверсии и чем мощнее «задерживающие» слои, тем хуже качество воздуха в городе.

Приземные инверсии обычно создают условия, неблагоприятные для рассеивания примесей от низких источников. Приподнятые инверсии способствуют накоплению вредных примесей от высоких источников.

Увеличение числа инверсий обычно наблюдается при антициклонической погоде. А разрушаются при возникновении сильных ветров и циклонической погоде.

2 Состояние качества атмосферного воздуха над территорией мегаполиса

2.1 Характеристики, определяющие качество атмосферного воздуха

Для поддержания жизни человеку необходим воздух, однако качество атмосферного воздуха ухудшается из-за деятельности людей, такой как использование транспорта, развитие промышленности и увеличение численности населения.

Атмосферный пограничный слой — это нижняя часть атмосферы, которая соприкасается с поверхностью Земли и обменивается с ней теплом, влагой и импульсом. На качество воздуха в этом слое влияют различные

факторы, включая погодные условия, географическое положение, использование земли и деятельность человека.

Некоторые характеристики, которые можно выделить при оценивании качества атмосферного воздуха: Концентрация загрязняющих веществ в воздухе, география региона, метеорология региона, землепользование, атмосферная фотохимия.

Рассмотрим каждую характеристику:

Концентрация загрязняющих веществ в воздухе: Вредные вещества в воздухе - это химические соединения, которые могут негативно повлиять на здоровье людей, окружающую среду и климат. Количество вредных веществ в воздухе зависит от того, как быстро они попадают в атмосферу, как они рассеиваются в ней и как изменяются под воздействием химических реакций.

Среди наиболее распространенных вредных веществ можно назвать твердые частицы (ТЧ), диоксид серы (SO2), оксиды азота (NOx), озон (O3) и угарный газ (CO). Количество вредных веществ в приземном слое воздуха зависит от того, где именно они находятся, в какое время суток и в какой сезон года.

География региона: На состояние атмосферы в пограничном слое влияет окружающая местность. Например, наличие гор, долин или водоёмов может оказывать влияние на качество воздуха. В районах, расположенных в окружении гор, может наблюдаться ухудшение качества воздуха. Это связано с тем, что горы могут препятствовать рассеиванию загрязняющих веществ, что приводит к образованию так называемого «купола загрязнения». В то же время в районах, расположенных вблизи водоемов, качество воздуха может улучшаться. Это происходит благодаря охлаждающему эффекту водоёмов, который способствует стабилизации атмосферы и уменьшению рассеивания загрязняющих веществ.

Метеорология региона: На состояние воздуха в нижних слоях атмосферы оказывают воздействие различные погодные условия, такие как температура,

скорость и направление ветра, уровень влажности и стабильность атмосферы. Например, если в слое атмосферы присутствует слой инверсии (рост температуры с высотой), то это будет являться препятствием для рассеивания загрязняющих веществ.

Землепользование: Использование земельных ресурсов для различных целей, включая урбанизацию, сельское хозяйство и транспортную инфраструктуру, представляет собой землепользование. В процессе эксплуатации земли могут происходить выбросы загрязняющих веществ, таких как твердые частицы, оксиды азота и летучие органические соединения. Эти выбросы способны влиять на качество воздуха в приповерхностном слое атмосферы. Например, в городских районах из-за интенсивного автомобильного движения, промышленной активности и высокой плотности населения может наблюдаться ухудшение качества воздуха.

Атмосферная фотохимия: Химия атмосферы - это химические процессы, которые происходят в воздухе под воздействием солнечного света и загрязняющих веществ. Атмосферная фотохимия играет ключевую роль в формировании вторичных загрязнителей, таких как озон и твердые частицы. Количество первичных загрязнителей, таких как оксиды азота и летучие органические соединения, влияет на скорость химических реакций в атмосфере. Это, в свою очередь, может сказаться на качестве воздуха в нижних слоях атмосферы.

2.2 Источники загрязнения атмосферы

Вредные вещества в атмосфере Земли, которые могут вызвать негативные последствия для здоровья людей, окружающей среды и климата, называются атмосферным загрязнением.

Причины загрязнения воздуха могут быть естественными или созданными человеком.

На рисунке 2.1 представлена схема источников загрязнения, разделенные на естественные и антропогенные [7].

Рисунок 2.1 – Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха

Природные источники генерируют такие выбросы как: угарный газ, оксид азота, диоксид серы (источники - вулканические извержения, лесные пожары) и пыльные бури (пустынные регионы).

Но значительная часть загрязнений атмосферы приходятся на антропогенные источники. К основным источникам относятся транспорт, промышленность, сельское хозяйство и электроэнергетика.

Лидирующее место по выбросам - транспорт. Особенно это касается крупных городов, где количество транспорта и интенсивность движения крайне высока. Такой источник вырабатывает опасные для здоровья газы: оксид

углерода, углеводороды, альдегиды, диоксид серы, сажа, бензапирен. Последствием длительного вдыхания таких веществ могут быть проблемы с дыханием, рак легких и др.

Работа промышленных предприятий также способствует загрязнению воздуха: в атмосферу попадают вредные вещества, образующиеся в процессе производства, при сжигании и утилизации отходов. Промышленные выбросы могут содержать различные загрязняющие компоненты, такие как твердые частицы, летучие органические соединения и токсичные химические вещества.

Еще один серьезный источник загрязнения атмосферы - сельское хозяйство. Выбросы, связанные с этой отраслью, происходят из-за содержания скота, использования удобрений и сжигания урожая. Животные выделяют метан - мощный парниковый газ. Удобрения, в свою очередь, выделяют аммиак и оксиды азота, которые могут вызывать кислотные дожди и способствовать изменению климата. При сжигании сельскохозяйственных культур выделяются твердые частицы и угарный газ. Это влияет на качество воздуха и здоровье людей.

Производство электроэнергии - немаловажный вид источника выбросов. При сжигании таких видов ископаемого топлива, как уголь, нефть и природный газ, на электростанциях в атмосферу выделяется большое количество углекислого газа, диоксида серы и оксидов азота.

2.3. Основные загрязнители атмосферного воздуха в мегаполисах и их воздействие на окружающую среду

В крупных городах с населением более 10 миллионов человек жизнь кипит и бурлит. Эти мегаполисы - локомотивы экономического развития, но они также создают ряд экологических проблем из-за сильного загрязнения воздуха.

В крупных городах главными источниками загрязнения атмосферы становятся такие вещества как: угарный газ (CO), оксиды серы (SOx), оксиды азота (NOx), озон (O3), толуол (C7H8), бензол (C6H6), формальдегид (CH2O), хлористый водород (HC1), ксилолы, сероводород (H2S), аммиак (NH3), фенол (C6H6O), этилбензол (C8H10) взвешенные вещества, твердые частицы (ТЧ) и летучие органические соединения (ЛОС).

Все перечисленные вещества оказывают значительное влияние на качество атмосферного воздуха и здоровье человека. Вот краткое описание воздействия каждого из них:

Угарный газ (CO): Это бесцветный, без запаха газ, образуется в результате неполного сгорания углеродсодержащих материалов, таких как бензин, древесина, уголь и газ. Основными источниками CO являются автомобили, промышленные процессы и бытовые устройства (например, печи и газовые плиты). Он может вызывать головные боли, головокружение и в высоких концентрациях - отравление. Хотя угарный газ сам по себе не является парниковым газом, он может влиять на химические реакции в атмосфере, способствуя образованию других загрязняющих веществ, таких как озон в тропосфере.

Оксиды серы (SOx): Включают диоксид серы (SO2) и триоксид серы (SO3). Оксиды серы являются одним из основных компонентов смога и могут приводить к ухудшению качества воздуха. Они образуются в результате сжигания ископаемых видов топлива (угля, нефти и природного газа), а также в процессе металлургической переработки. SO2 и SO3 могут реагировать с водой в атмосфере, образуя серную кислоту (H2SO4). Это приводит к образованию кислотных дождей, которые могут наносить ущерб экосистемам, почвам, водоемам и зданиям.

Оксиды азота (NOx): Включают оксид азота (NO) и диоксид азота (NO2). Оксиды азота способствуют образованию смога и кислотных дождей. В атмосфере они могут реагировать с другими загрязнителями, такими как летучие органические соединения (ЛОС), образуя озон в тропосфере -

является основным компонентом смога. Долгосрочное воздействие NOx связано с повышенным риском развития сердечнососудистых заболеваний. Кислотные дожди, образующиеся в результате реакции NOx с водяными каплями в атмосфере, могут негативно влиять на экосистемы, повреждая растения, почву и водоемы.

Озон: Находится на уровне земли (в тропосфере) и образуется в результате химических реакций между летучими органическими соединениями (ЛОС) и оксидами азота (NOx) под воздействием солнечного света. Тропосферный озон является основным компонентом смога и может вызывать множество проблем: раздражение дыхательных путей, ухудшение функции легких, обострение астмы и другие респираторные заболевания. Озон может повредить растения, снижая их фотосинтетическую активность и приводя к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур. Тропосферный озон является парниковым газом, который способствует глобальному потеплению.

Толуол (C7H8): Толуол является летучим органическим соединением (ЛОС), которое может испаряться в атмосферу при комнатной температуре. Он образуется в результате сжигания топлива, а также в процессе производства и использования различных химических веществ, включая растворители и краски. В атмосфере толуол может участвовать в фотохимических реакциях, приводящих к образованию озона на уровне земли. Этот процесс способствует образованию смога. Может вызывать головные боли, головокружение и нарушения центральной нервной системы при высоких концентрациях. Также может быть канцерогенным.

Бензол (C6H6): Как и толуол, является ЛОС и образуется в результате сжигания топлива, а также в процессе промышленного производства, использования растворителей, красок и других химических веществ. В атмосфере бензол участвует в фотохимических реакциях, которые приводят к образованию озона на уровне земли. Известный канцероген, который может вызывать лейкемию и другие виды рака.

Формальдегид (CH2O): Формальдегид выделяется из различных источников, включая промышленные процессы, сжигание топлива, использование строительных материалов (например, фанеры и ДСП), а также из бытовой химии и косметических средств. Он также может образовываться в результате процессов горения (например, при курении или сжигании древесины). Может вызывать раздражение глаз, носа и горла, а также быть канцерогенным. Долгосрочное воздействие формальдегида связано с повышенным риском развития рака, особенно рака носоглотки и лимфомы. Формальдегид является одним из основных компонентов, способствующих образованию смога и вторичного озона в атмосфере.

Хлористый водород (HC1): Газ с резким запахом, который может вызывать раздражение дыхательных путей, контакт с кожей или слизистыми оболочками может вызвать химические ожоги и раздражение. В высоких концентрациях может быть опасен для здоровья. Хлористый водород может способствовать разрушению озонового слоя, хотя его влияние не так значительно, как у некоторых других хлорсодержащих соединений (например, хлорфторуглеродов).

Ксилолы: Группа органических соединений, которые могут вызывать головные боли, тошноту и другие симптомы при вдыхании. Также могут быть канцерогенными. Они способствуют образованию фотохимического смога, особенно в сочетании с другими загрязнителями, такими как оксиды азота (NOx) и озон (O3).

Сероводород (H2S): Газ с характерным запахом тухлых яиц. Является загрязнителем, который может выделяться в атмосферу в результате различных процессов, таких как разложение органических веществ, деятельность животноводческих комплексов, нефтедобыча и переработка, а также в результате деятельности некоторых промышленных предприятий. В высоких концентрациях может быть смертельным.

Аммиак (NH3): Газ с резким запахом, выделяющимся в результате сельскохозяйственной деятельности (например, от удобрений и навоза), а также в процессе сжигания органических материалов и некоторых промышленных процессов. Может вызывать раздражение глаз и дыхательных путей. Высокие концентрации могут привести к серьезным проблемам со здоровьем. Аммиак может способствовать образованию вторичных загрязнителей, таких как аммонийные соединения и частицы (PM2.5). Он также может приводить к эвтрофикации водоемов, что вызывает избыточный рост водорослей и ухудшение качества воды. Аммиак может взаимодействовать с другими загрязнителями, такими как оксиды серы и азота, образуя аммонийные соли, которые являются частью аэрозольной фазы в атмосфере.

Фенол (C6H6O): Фенол может выделяться в атмосферу в результате промышленных процессов, таких как производство пластмасс, синтетических волокон, красителей и других химикатов. Также он может образовываться при сжигании органических материалов. Токсичное вещество, которое может вызывать раздражение кожи и дыхательных путей, а также иметь канцерогенные свойства. Хроническое воздействие на организм может привести к более серьезным проблемам со здоровьем, включая повреждение печени и почек, а также неврологические расстройства. Фенол может быть частью смога и других форм загрязнения воздуха. Он может взаимодействовать с другими загрязнителями, образуя более сложные соединения. Является токсичным для водных организмов. Попадание фенола в водоемы может оказывать негативное влияние на экосистемы, приводя к гибели рыб и других водных организмов. Также способствовать загрязнению почвы, что может повлиять на растения и микроорганизмы.

Этилбензол (C8H10): Этилбензол может выделяться в атмосферу в результате

различных промышленных процессов, таких как производство стирола, который используется для создания полимеров и пластиков. Он также может образовываться при сжигании углеводородов.

При длительном воздействии возможны более серьезные проблемы со здоровьем, включая повреждение печени и почек. Этилбензол классифицируется как возможный канцероген для человека. Может быть частью смога и других форм загрязнения воздуха. Он может взаимодействовать с другими загрязнителями, образуя более сложные соединения, которые могут ухудшать качество воздуха.

Взвешенные вещества: Могут возникать из различных источников, включая промышленные выбросы, сжигание ископаемого топлива, дорожный транспорт, строительные работы и природные источники (например, пыльные бури и вулканическая активность). Могут проникать в легкие и вызывать респираторные заболевания, сердечнососудистые проблемы и другие серьезные заболевания. Мелкие частицы (например, PM2.5, диаметром 2.5 мкм и меньше) способны проникать глубоко в легкие и даже в кровоток. Некоторые взвешенные частицы, такие как сажа, могут поглощать солнечное излучение и способствовать потеплению атмосферы. В то же время, другие частицы (например, серные аэрозоли) могут отражать солнечный свет и иметь охлаждающий эффект.

Летучие органические соединения (ЛОС): Широкая группа органических химикатов, которые могут оказывать негативное влияние на здоровье человека и способствовать образованию озона на уровне земли. Выделяются из различных источников, включая промышленные процессы, транспорт, использование растворителей, лакокрасочных материалов и тд.. Некоторые ЛОС могут влиять на климатические процессы, участвуя в образовании облаков и изменяя радиационный баланс атмосферы.

Все эти вещества требуют контроля и снижения выбросов для защиты здоровья человека и окружающей среды.

2.4. Предельно допустимые концентрации и комплексные показатели загрязненности атмосферы

Предельно допустимая концентрация (ПДК) - такая концентрация, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение всей жизни, прямо или опосредованно (через экологические системы, а также через возможный экономический ущерб) не возникает заболеваний или изменений состояния здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований сразу или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

В практике нормирования и для санитарной оценки степени загрязнения воздушной среды используются следующие виды ПДК:

Предельно допустимая концентрация вредного (загрязняющего) вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКрз) – это такая концентрация вещества в воздухе, которая не вызывает у работающих людей при ежедневном вдыхании в пределах 8 часов в течение всего рабочего стажа заболеваний или отклонений от состояния здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования непосредственно в процессе работы или в отдаленной перспективе.

Предельно допустимая среднесуточная концентрация вредного (загрязняющего) вещества в воздухе населенных мест (ПДКсс) – это такая концентрация вещества в воздухе населенного пункта, которая не оказывает на человека прямого или косвенного действия в условиях непосредственно долгого круглосуточного вдыхания.

Предельно допустимая максимальная разовая концентрация вредного (загрязняющего) вещества в воздухе населенных мест (ПДКмр) – это такая концентрация, которая не вызывает рефлекторных реакций в организме человека.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосферном воздухе устанавливаются СанПиН 1.2.3685-21.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, введенные в действие с 01.03.2021 [7].

Для оценки качества атмосферного воздуха, полученные концентрации загрязняющих веществ (в мг/м^3, мкг/м^3) сравнивают с ПДК. Средняя концентрация за месяц загрязняющего вещества сравнивается со среднесуточной ПДК (ПДКс.с.), наибольшая разовая концентрация – с максимальной разовой ПДК (ПДКм.р.) [8].

Таблица 2.1 – Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе, мг/м3

Название вещества	Предельно допустимые концентрации, мг/м3		
	Максимально разовая	Среднесуточная	Среднегодовая
Угарный газ (CO)	5	3	3
Оксиды азота (NOx)	0,2	0,1	0,04
Озон (O_3)	0,16	0,1	0,03
Толуол (C_7H_8)	0,6	0,4	0,4
Бензол (C_6H_6)	0,3	0,06	0,005
Этилбензол (C_8H_{10})	0,02	-	-
Ксилолы	0,2–0,3 (в зависимости от изомера)	0,04 (только для м-ксилола)	-
Оксиды серы (SOx)	0,5	0,05	0,05
Формальдегид (CH_2O)	0,05	0,01	0,003
Хлористый водород (HCL)	0,02	0,1	0,02
Сероводород(H_2S)	0,008	0,002	0,002
Аммиак(NH_3)	0,2	0,1	0,04
Твердые частицы (PM10)	0,3	0,06	0,04
Твердые частицы (PM2.5)	0,16	0,035	0,025

В таблице 2.1 приведены ПДК веществ, которые непосредственно оказывали влияние на загрязнение атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

Значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ устанавливаются в соответствии с утвержденными гигиеническими нормативами [9].

Для оценки качества загрязнения атмосферного воздуха за месяц используют два показателя: СИ (стандартный индекс) – наибольшая измеренная концентрация примеси, деленная на ПДКм.р.; НП – наибольшая повторяемость превышения разовыми концентрациями примеси ПДК (выражается в %) [8].

В таблице 2.2 показан уровень загрязнения воздуха, который оценивается по 4 категориям по значениям СИ и НП:

Таблица 2.2 – 4 категории загрязнения воздуха и их градация в СИ и НП,%

Загрязнение атмосферы	СИ	НП, %
Низкое	от 0 до 1	0
Повышенное	от 2 до 4	от 1 до 19
Высокое	от 5 до 10	от 20 до 49
Очень высокое	более 10	более 50

Если значения СИ и НП попадают в разные категории, то степень загрязнения определяют по наибольшему показателю [8].

Комплексные показатели загрязнения атмосферы — это меры, которые используются для оценки общего качества воздуха. Они учитывают несколько загрязняющих веществ и их концентрацию, чтобы создать картину качества воздуха в определённой местности.

Некоторые комплексные показатели загрязнения атмосферы:

Индекс качества воздуха (AQI). Это шкала от 0 до 500, которая используется для информирования населения о ежедневных уровнях качества воздуха. AQI основан на пяти загрязнителях: приземном озоне, PM2.5, PM10, угарном газе и диоксиде серы.

Рисунок 2.2 – Индекс качества воздуха AQI

На рисунке 2.2 показан индекс загрязнения со шкалой от 0 до 301+, где 0-50 – хороший показатель, 51-100 – удовлетворительный, 101-150 – плохой (для чувствительных людей), 151-200 – плохой (для всех), 201-300 – очень плохой, 301+ – опасный.

Индекс качества окружающей среды (EQI). Это составной индекс, который учитывает несколько экологических факторов, включая качество воздуха, воды, землепользование и токсичные вещества. EQI присваивает каждому фактору определенный балл и объединяет их для получения общей оценки.

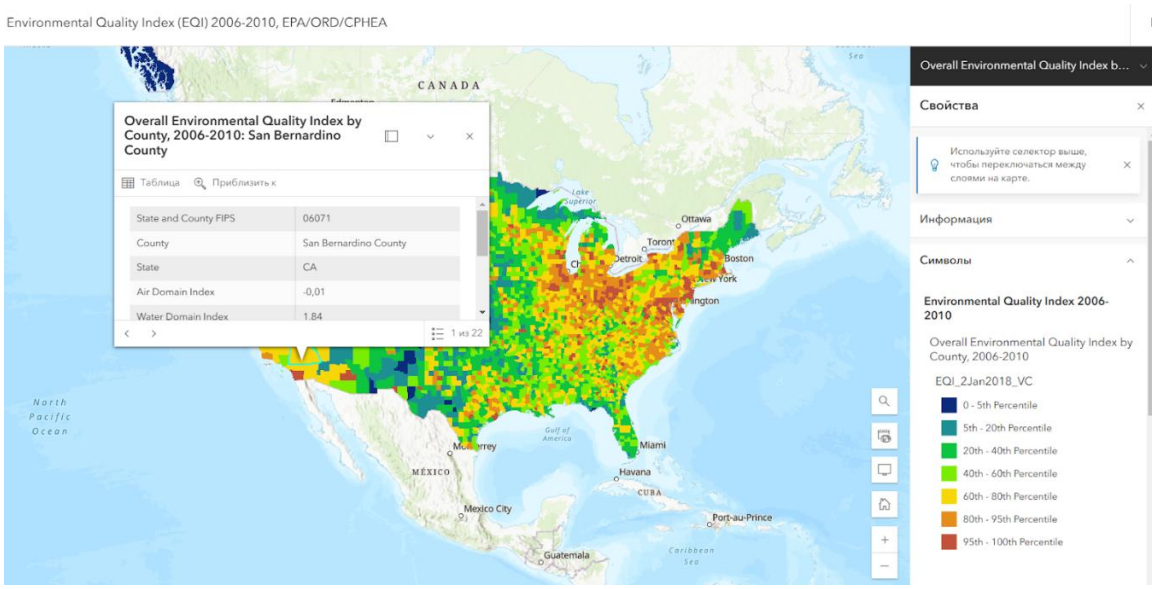

Рисунок 2.3 – Карта EQI территории США за 2006-2010 гг.

На рисунке 2.3 представлена карта, отображающая Индекс качества окружающей среды (EQI) для округа Сан-Бернардино в Калифорнии за период с 2006 по 2010 год (индекс отображает данные только на территории США). Цвета на карте соответствуют процентилям индекса: 5+ — 20-й процентиль, 60+ — 80-й процентиль, 90+ — 100-й процентиль.

2.5. Влияние метеорологических условий на качество атмосферного воздуха

Загрязнение воздуха в городе имеет множество особенностей и зависит от разнообразных факторов.

Одним из ключевых факторов, влияющих на распространение вредных веществ, являются погодные условия в городе. Примеси, попадающие в атмосферу, перемещаются и рассеиваются в соответствии с законами турбулентной диффузии. Время, в течение которого примеси остаются в воздухе, зависит от различных факторов.

Кроме того, в атмосфере происходит оседание крупных частиц, химические и фотохимические реакции между различными веществами, перенос веществ на большие расстояния и их вымывание из атмосферы вместе с осадками.

К метеорологическим факторам, влияющим на распространение примесей, относятся скорость и направление ветра, стабильность атмосферы, слои инверсии и изотермии, температура воздуха, облачность, туман, инерция и другие.

3 Анализ погодных условий в Санкт-Петербурге и их влияние на загрязняющие вещества в атмосфере посезонно

3.1 Направление ветра

Направление ветра играет большую роль, каждый поток с определенной стороны несет за собой свои последствия для рассеивания или же загрязнения воздуха. Направление ветра определяет, куда будут перемещаться загрязняющие вещества. Если ветер дует от промышленной зоны в сторону жилых районов, это усиливает загрязнение воздуха в городе. Если же ветер дует в сторону незаселённых территорий, воздействие на людей снижается.

Рассмотрим каждое направление и его роль в переносе и рассеивании над городом.

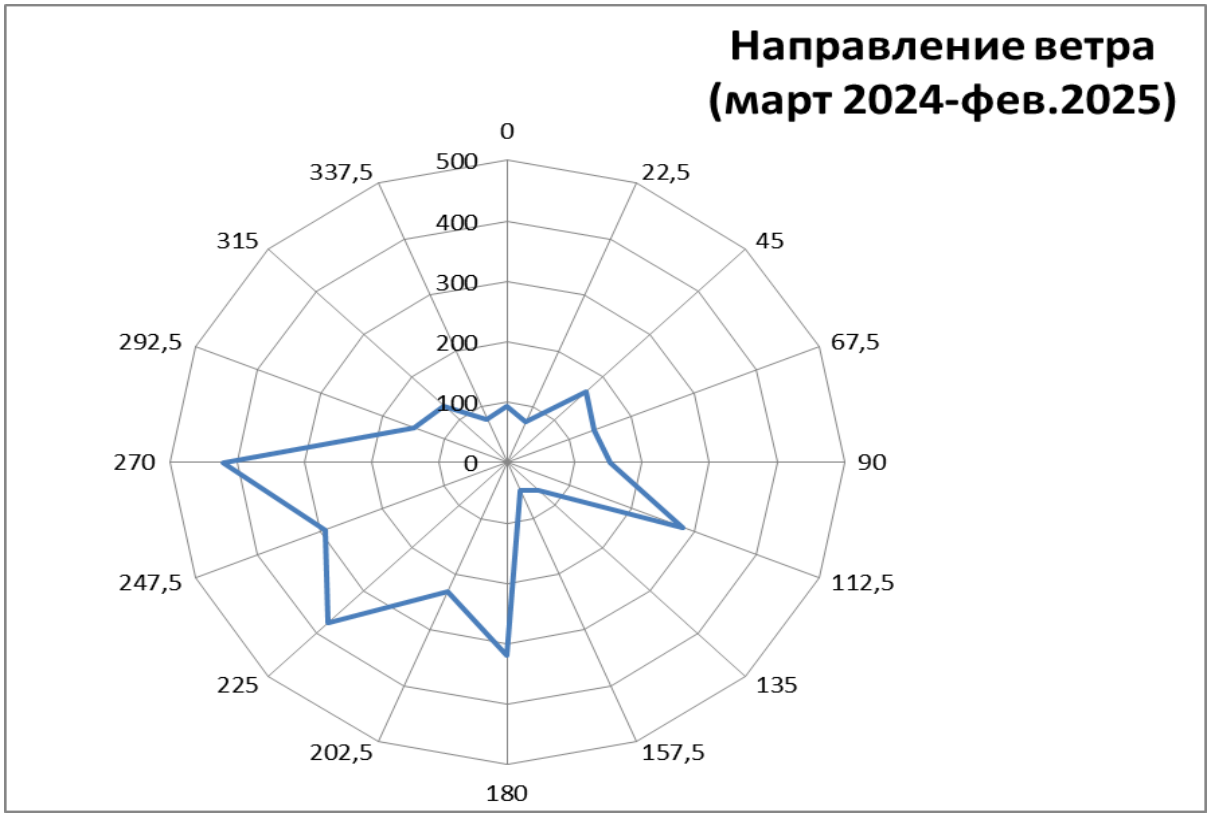

Рисунок 3.1 – Направление ветра за период март 2024 - февраль 2025 года.

На рисунке 3.1 представлена роза ветров на анализируемый период с марта 2024 года до февраля 2025 года.

В течение года (март 2024 - февраль 2025) на территории преобладали 180-270° ветра (западные, юго-западные и южные). Огромное влияние, конечно, оказывает Финский залив. Также можно заметить, заметное ответвление с восточной стороны. Это связанно с весенним прохождением холодных фронтов, которые как-бы «разворачивают» ветра в противоположную сторону. Преобладающие направления ветра остаются неизменными в течении всего года.

Всего за год было зафиксировано 274 штиля. Рассматривая тему загрязнения атмосферного воздуха, очень важно учитывать этот факт. Так как отсутствие ветра напрямую зависит на застой загрязняющих газовых масс.

Рассмотрим направления ветра посезонно.

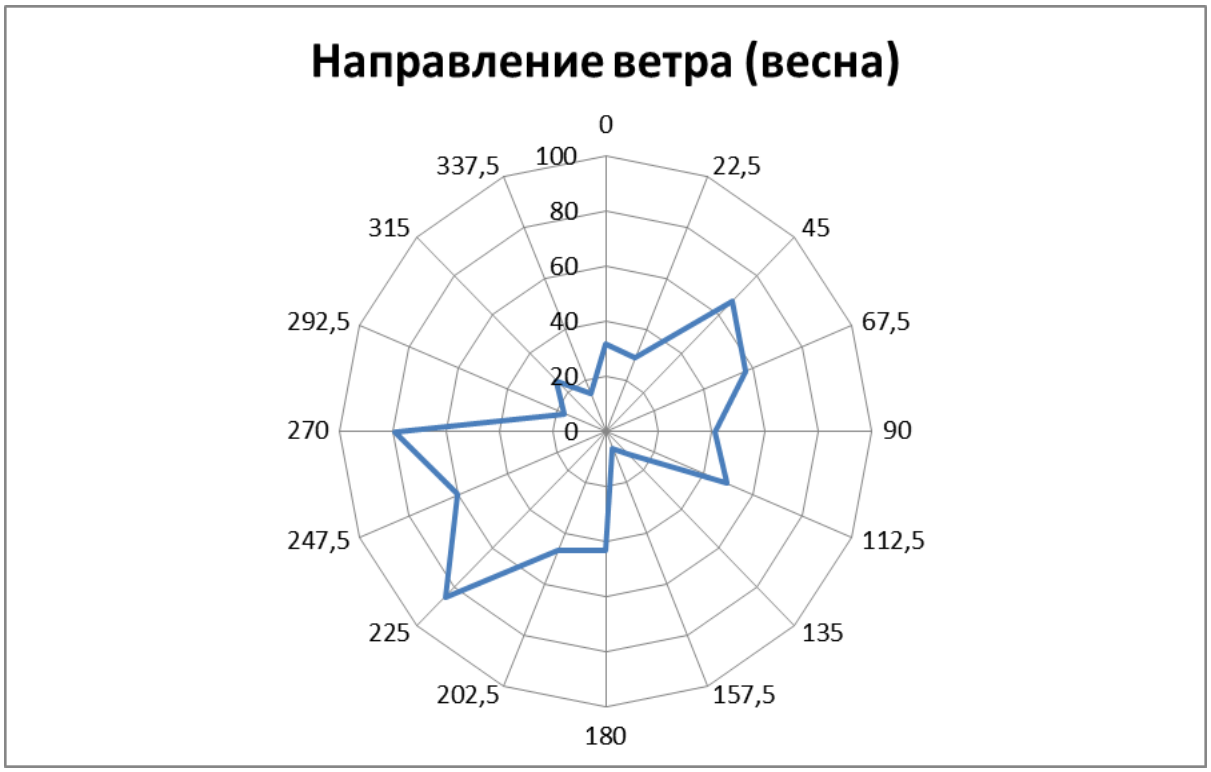

Рисунок 3.2 – Направление ветра в весенний период (март-май 2024 года).

На рисунке 3.2 представлена роза ветров за весенний период с марта до мая 2024 года.

Яркое расщепление направления ветра. Два преобладающих противоположных направления — западное с юго-западным и северо-восточное с восточным. Это происходит из-за перехода от зимних ветровых режимов к летним, что сопровождается усилением циклонической активности и частой сменой воздушных масс.

69 случая штиля за весь весенний период.

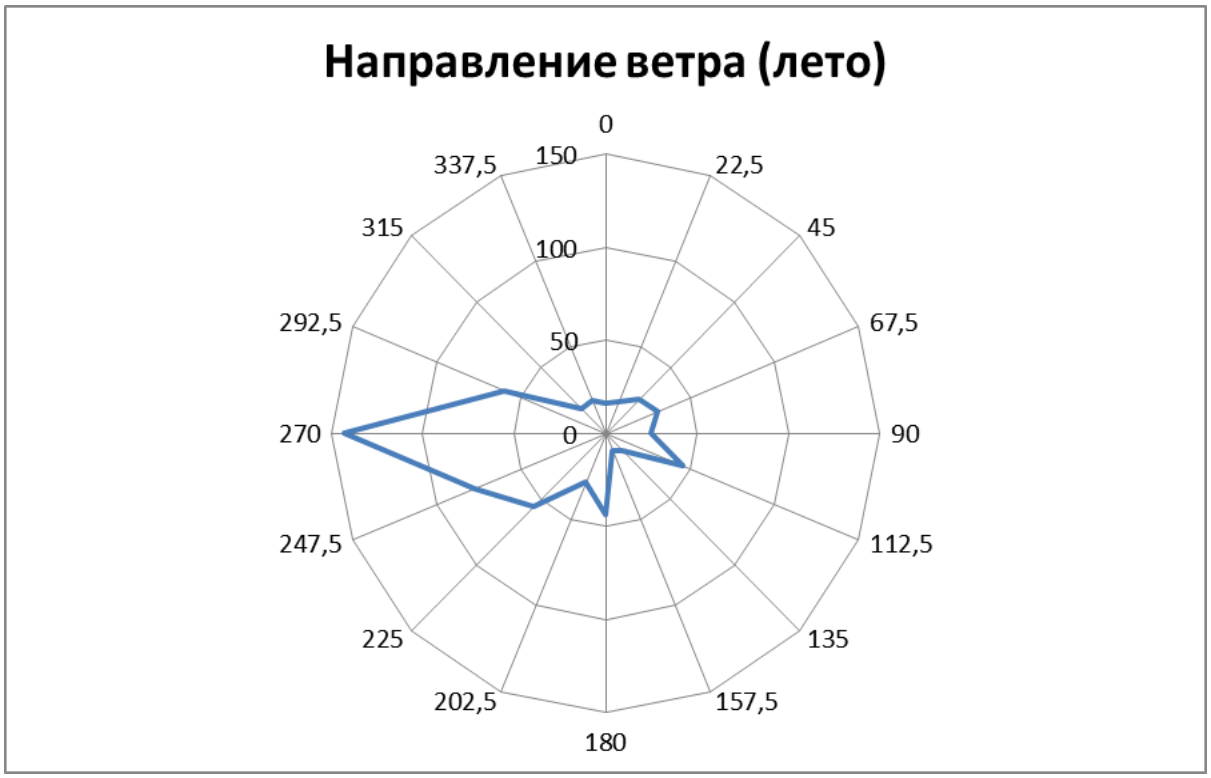

Рисунок 3.3 – Направление ветра в летний период (июнь-август 2024 года).

На рисунке 3.3 представлена роза ветров за летний период с июня до августа 2024 года.

Летом ярко преобладают западные и северо-западные ветра, приносящие умеренно тёплую и влажную погоду. В периоды антициклонов усиливаются южные и юго-восточные ветра.

104 случая штиля, в летний сезон встречаются чаще, чем в другие сезоны, особенно в июле. Это может сказываться на застой загрязняющих веществ.

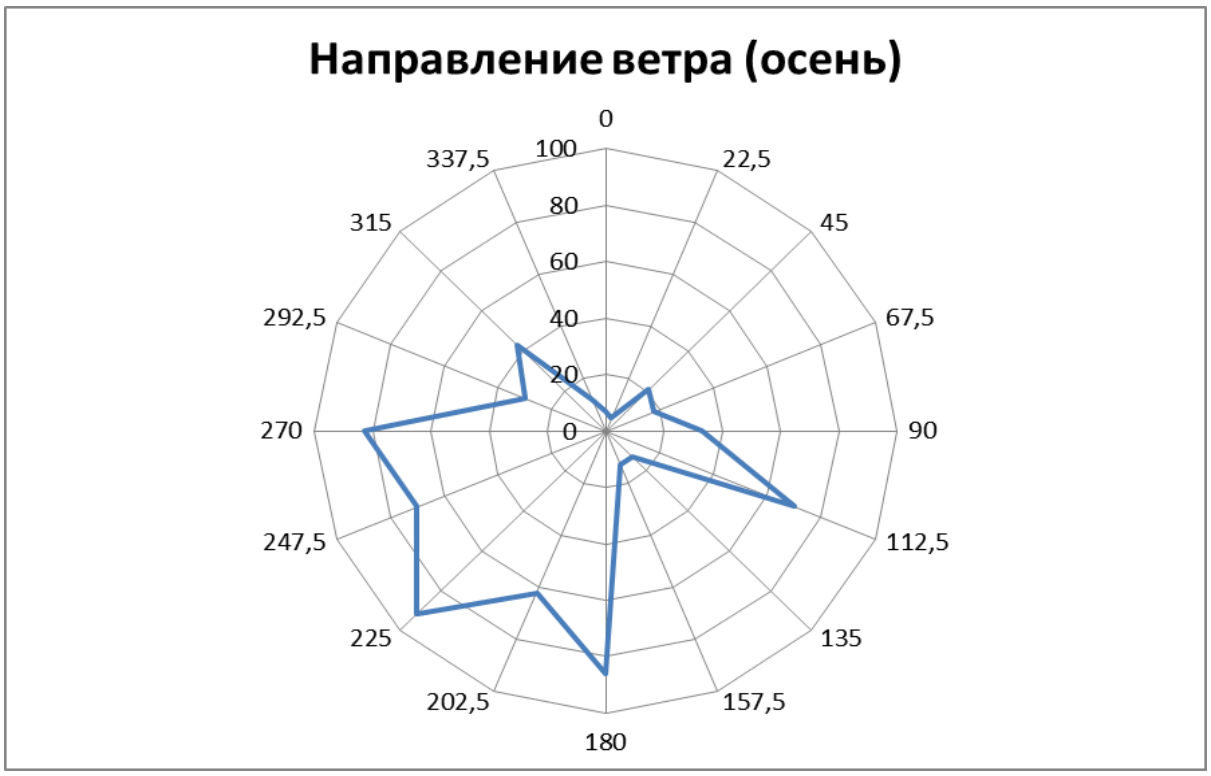

Рисунок 3.4 – Направление ветра в осенний период (сентябрь-ноябрь 2024 года).

На рисунке 3.4 представлена роза ветров за осенний период с сентября до ноября 2024 года.

Картина похожа с зимним периодом. Сильное влияние Атлантики и Финского залива, которые приносят осадки и потепления. Южное и юго-восточное направление характерно для начала осени, ветра влажные и теплые. Небольшой кусочек северо-западного ветра возникает при вторжении арктических воздушных потоков, которые в свою очередь приводят к похолоданию и усилению ветров.

69 случаев штиля за весь осенний период.

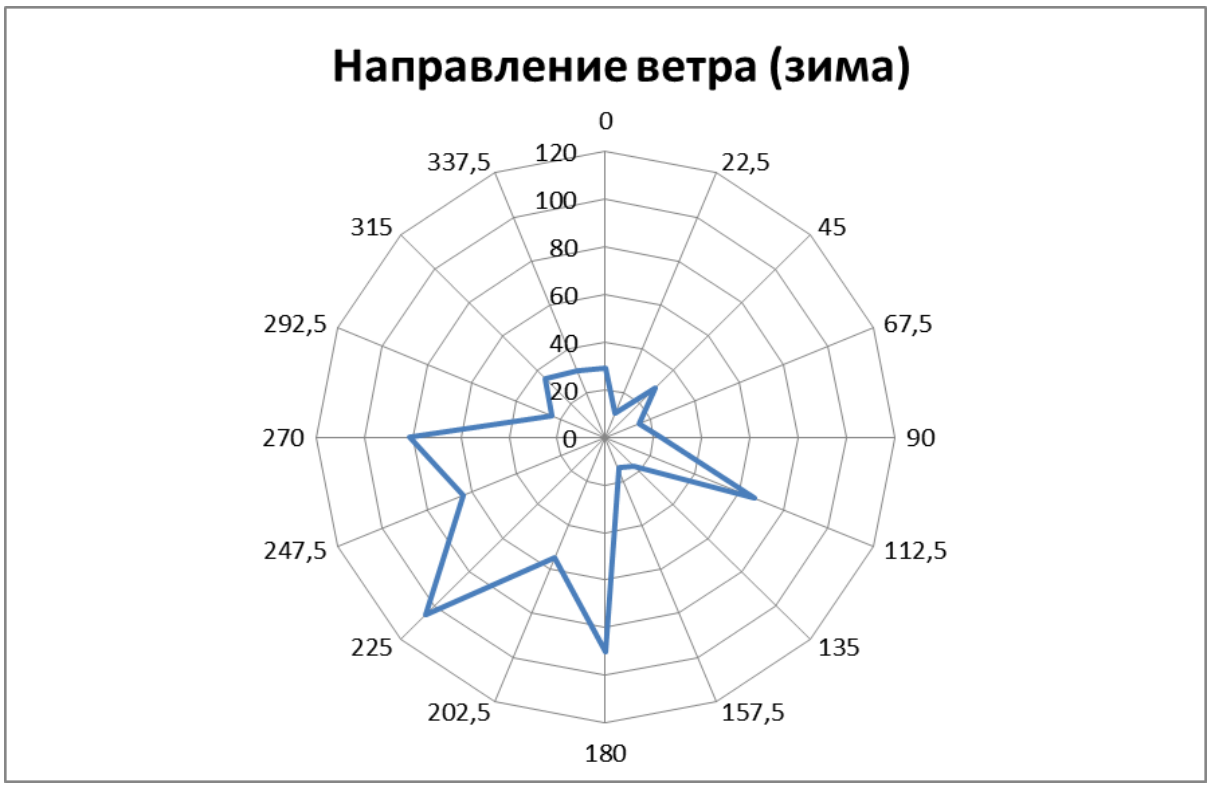

Рисунок 3.5 – Направление ветра за зимний сезон (декабрь 2024-февраль 2025гг.)

На рисунке 3.5 изображена роза ветров для зимнего периода (декабрь 2024—февраль 2025).

Активное влияние на направление потоков ветра оказывает Финский залив и циклоны, приходящие с Атлантики. Ветра западного и юго-западного направления приносят влажный и теплый воздух, который в свою очередь влияют на потепления и снегопады.

Явно выражено также юго-восточное направление. Это может говорить об антициклонах, которые приносят заморозки.

32 случая штиля за весь зимний период.

Рассмотрим каждое направление и их положительные и отрицательные качества:

1. Западное — самое частое по повторяемости (50% от всех направлений). Является самым «благоприятным», так как, идя с Финского залива, обладает наибольшей устойчивостью и мощностью. С потоком ветра приходят частицы морской соли, которые являются хорошим нейтрализатором

кислотных загрязнений. И в совокупности всех факторов хорошо рассеивает загрязнения. Но и у такого направления присутствуют минусы. С промышленных зон западного направления (Кронштадт и Лахта) выбросы с ветром уходят в восточные районы- основные выбросы получают Невский и Красногвардейский районы.

2. Южное — можно назвать это направление самое «неблагоприятное». Часто его потоки слабые, особенно в жаркую погоду (лето, начало осени). Наиболее опасен для центральных районов города, так ветер несет потоки воздуха и соответственно выбросы с южных промышленных зон («Шушары», «Юго-Западная», «Предпортовая»), транспортных магистралей (Московское шоссе) сельхозпредприятий Ленинградской области. Ветра несут повышенную влажность, которая в свою очередь способствует образованию смога.

3. Восточное — не самое частое направление. Но имеет свои, довольно отрицательные, характеристики для города. С ветром промышленные выбросы восточных районов (Ижорские заводы, Колпино) достигают центральных и западных районов. Часто является слабым, что также является причиной накопления загрязнения в центральной части города. Зимой может приносить выбросы от ТЭЦ.

4. Северное — самое редкое направление. Приносит загрязнения с северных районов (Парнас, Просвещение, Сестрорецк). Но также имеет хорошую рассеивающую способность (сильный и холодный ветер). Летом — чистый арктический воздух. Зимой — выбросы с котельных.

Можно выделить следующие закономерности:

Лучшие для рассеивания направления — западное, северо-западное и северное. Наихудшие условия создают южное, юго-восточное и восточное при слабой скорости. Это связанно не только с расположением предприятий (большее количество на юге города). Город спроектирован с учетом большого влияния Балтийского моря и его ветров. Застройка идет таким образом, чтобы

западные ветра как-бы проветривали город насквозь, тем самым удаляя загрязненный воздух.

И также сезонные особенности:

Весна и осень имеют наиболее изменчивые условия в связи с переходами режимов между сезонами. Летом больше западных ветров с хорошим рассеиванием, но возможны частые застои на фоне штилей и южных слабых направлений. Зимой преобладают юго-западные и южные ветра, это связанно активной циклонической деятельностью над территорией.

3.2 Скорость ветра

Скорость ветра играет важную роль в рассеивании загрязняющих веществ в воздухе. Она влияет на перемещение и разбавление вредных частиц, а также на их концентрацию и распространение

Ветер помогает распределять загрязнения по большой площади. При слабом ветре (1-3 м/с) загрязняющие вещества накапливаются в одном месте, что может привести к локальным скоплениям. Умеренный ветер (4-6 м/с) эффективно перемешивает воздух, снижая концентрацию вредных частиц. Сильный ветер (более 7 м/с) быстро рассеивает загрязнения, но может переносить их на значительные расстояния.

При слабом ветре (менее 1 м/с) в городах с плотной застройкой могут возникать застойные зоны, где концентрация вредных веществ повышается. Сильный ветер, напротив, распределяет загрязнения по обширным территориям, но их концентрация становится ниже.

Ветер усиливает турбулентность, что способствует вертикальному перемешиванию воздуха и снижению концентрации загрязнений у поверхности. При слабом ветре, особенно в условиях температурной инверсии, вредные вещества скапливаются ближе к земле.

Сильный ветер способен переносить промышленные выбросы и пыль на сотни километров, вызывая трансграничное загрязнение.

Как итог ветер уменьшает концентрацию загрязнений на месте, но может расширять зону их распространения.

Рассмотрим скорость ветра посезонно.

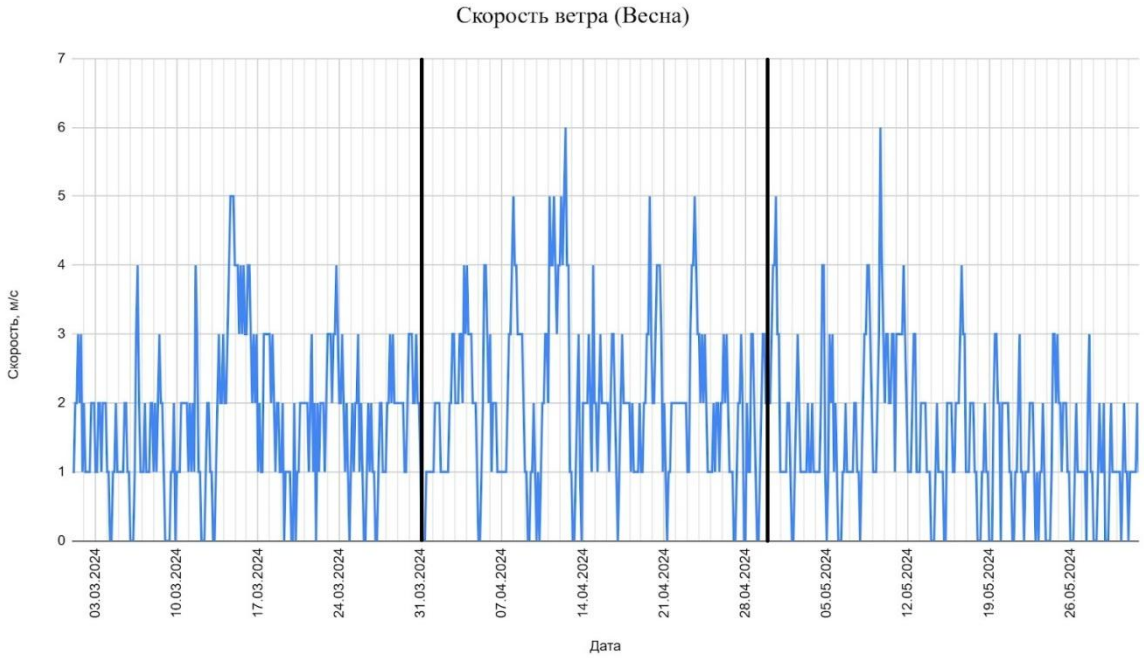

Рисунок 3.6 – Скорость ветра в весенний сезон (март-май 2024 года).

На рисунке 3.6 представлена скорость ветра за весенний период (март-май 2024 года).

Начало сезона характеризовалось преобладанием антициклонов, которые сменились на активную циклоническую деятельность к середине марта [11]. Температурные контрасты и циклоны с Атлантики вызвали усиления ветровой активности. До середины мая скорости ветров остаются высокими. К концу сезона температурные контрасты уменьшаются, начинается переход к более устойчивой летней погоде – понижение ветровой активности к минимуму.

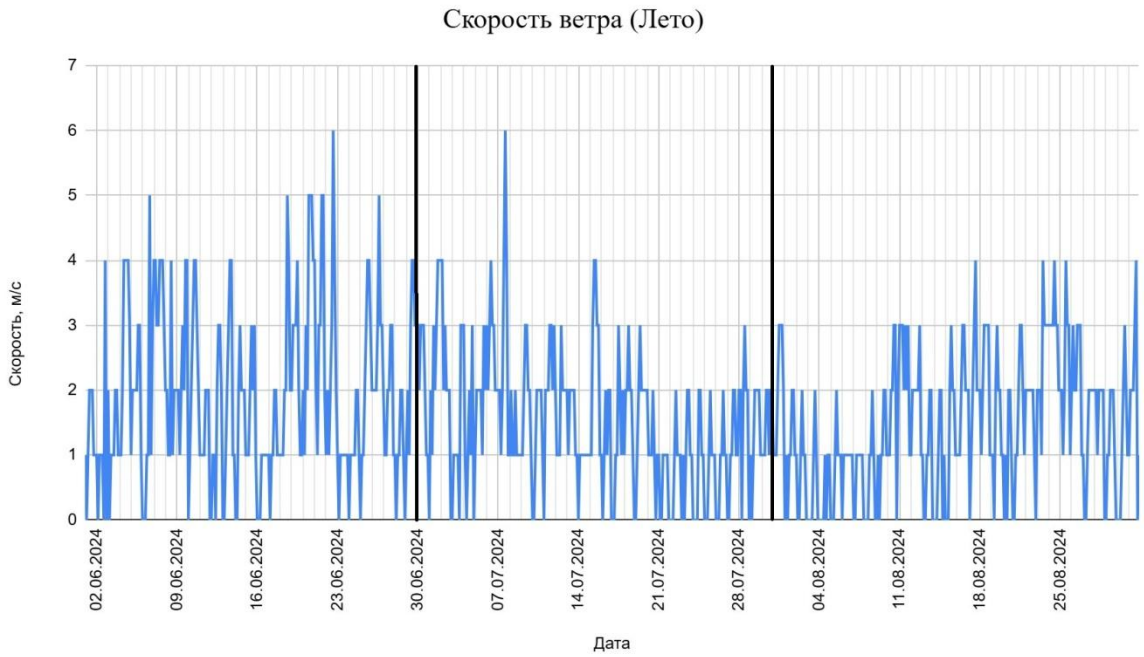

Рисунок 3.7 – Скорость ветра в летний сезон (июнь-август 2024 года).

На рисунке 3.7 представлена скорость ветра за летний сезон (июнь-август 2024 года).

В первой половине сезона скорость ветра часто доходила 3-4м/с и выше. Такая скорость хорошо рассеивает загрязняющие вещества. Во второй половине участились случаи штиля (всего 104 случая за сезон, чаще, чем в другие сезоны) и скорость в среднем 1-2м/с.

Летом преобладают слабые ветры, что в сочетании с высокой температурой может способствовать накоплению загрязняющих веществ.

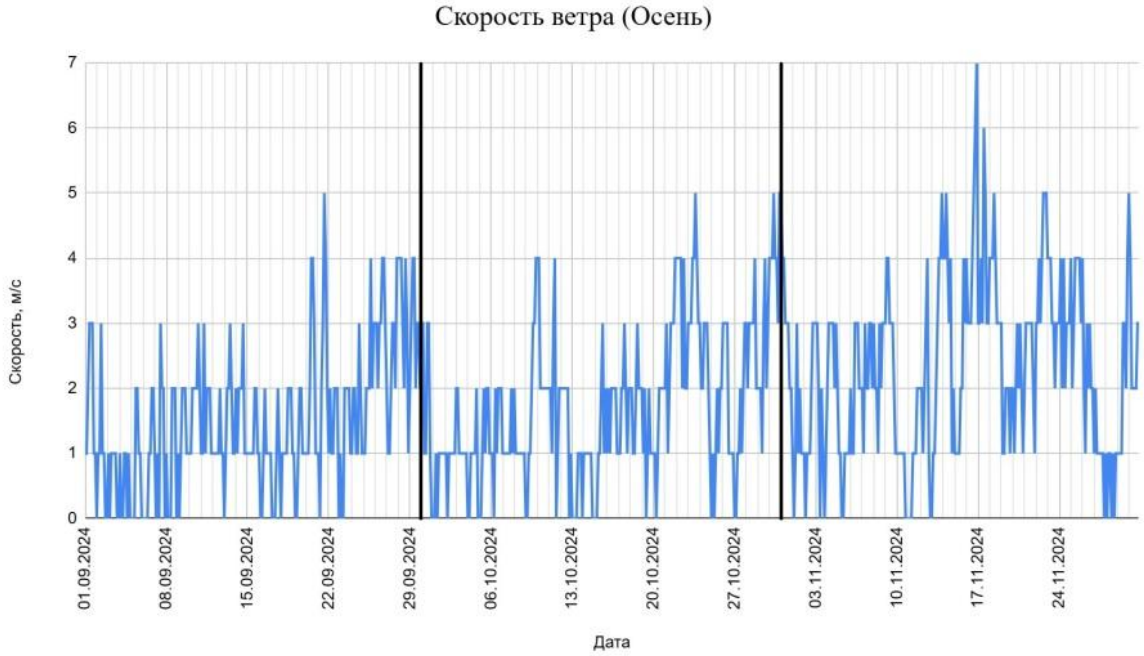

Рисунок 3.8 – Скорость ветра в осенний сезон (сентябрь - ноябрь 2024 года).

На рисунке 3.8 представлена скорость ветра за осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года).

В начале сезона преобладает антициклоническая активность, которая началась еще летом. Слабые ветра в районе 1-2м/с, штиль.

К середине сезона учащаются циклоны, усиливается ветровая активность. К концу сезона – переход в зимний сезон. Это способствует лучшему рассеиванию загрязнений.

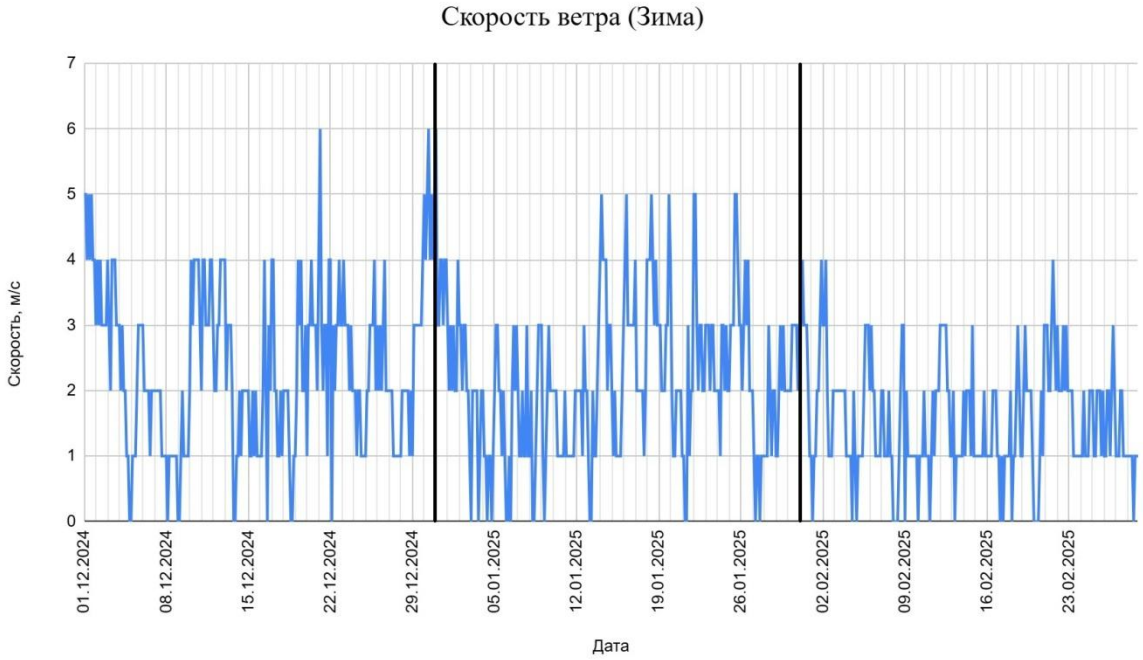

Рисунок 3.9 – Скорость ветра в зимний сезон (декабрь 2024 - февраль 2025 года).

На рисунке 3.9 представлена скорость ветра в зимний сезон (декабрь 2024 –февраль 2025 года).

Наблюдается преимущественно ветреная погода в районе 2-4м/с. В феврале заметно снижение силы ветра, что обуславливается влиянием значительно большого количества проходивших антициклонов [12].

Сезонная динамика:

В теплые месяцы (с мая по сентябрь) преобладают слабые ветра из-за ослабления циклонической деятельности. В целом, по большей части можно отметить достаточно хорошую воздушную циркуляцию, так как огромное влияние на это оказывает близость с Финским заливом и Атлантические циклоны.

Сильные ветра (осень-зима) способствуют рассеиванию загрязнений. Слабые ветра (лето) увеличивают риск накопления вредных веществ.

3.3 Влажность воздуха

Влажность воздуха играет значительную роль в концентрации загрязняющих веществ в атмосфере. Высокая влажность может ускорять или замедлять реакции с участием загрязнителей, способствовать превращению газообразных веществ (SO_2, NO_x, NH_3) в твердые или жидкие частицы (сульфаты, нитраты, аммонийные соли), тем самым увеличивая концентрацию PM2.5 и PM10. Капли воды в воздухе могут захватывать вещества, образуя токсичный смог или туман. Также замедлять испарение некоторых жидких органических соединений (бензин или растворители).

В жаркую погоду высокая влажность усиливает образование озона (O_3) из NO_x и ЛОС (летучих органических соединений), что ухудшает качество воздуха. В холодную погоду влажный воздух способствует накоплению частиц и газов из-за слабого перемешивания атмосферы.

Влажность может как увеличивать концентрацию вредных веществ (способствуя образованию аэрозолей и смога), так и уменьшать её (через вымывание осадками и химическое разложение).

Рассмотрим влажность воздуха посезонно за период с марта 2024 года по февраль 2025 года.

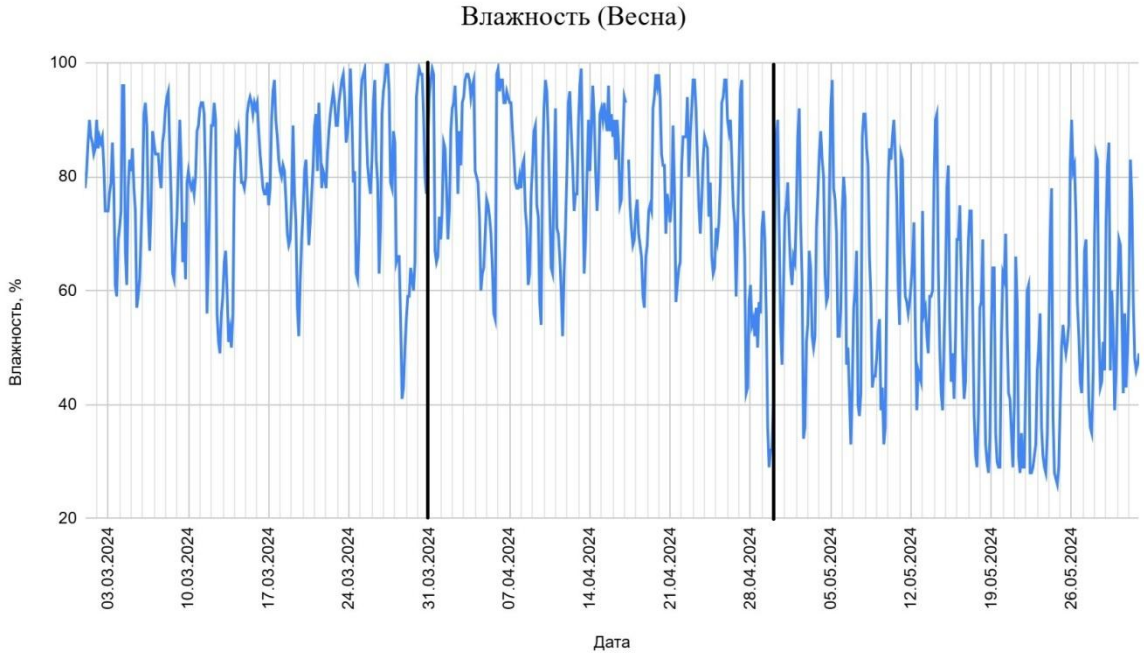

Рисунок 3.10 – Влажность воздуха в весенний сезон (март-май 2024 года).

На рисунке 3.10 изображен график влажности воздуха в весенний сезон в Санкт-Петербурге.

Вначале весны влажность сохраняет свои высокие значения засчет таяния снега и периодов дождей. Как говорилось ранее, высокая влажность имеет свойства аккумулировать загрязняющие вещества. Поэтому такие высокие значения в тандеме со слабыми ветрами могут плохо сказатся на чистоту воздуха.

В конце сезона влажность идет на спад. Начинаются стабильные солнечные и сухие дни. Влажность неустойчиво скачет, за счет все еще сильных перепадов ночных и дневных температур.

Средняя влажность за сезон – 70-80%, что типично для переходного сезона. Пиковые значения в районе 85-95%, приходящиеся на март и апрель (таяние снега и период активных дождей). Минимум – 40-50% в мае, устойчивые солнечные и сухие дни.

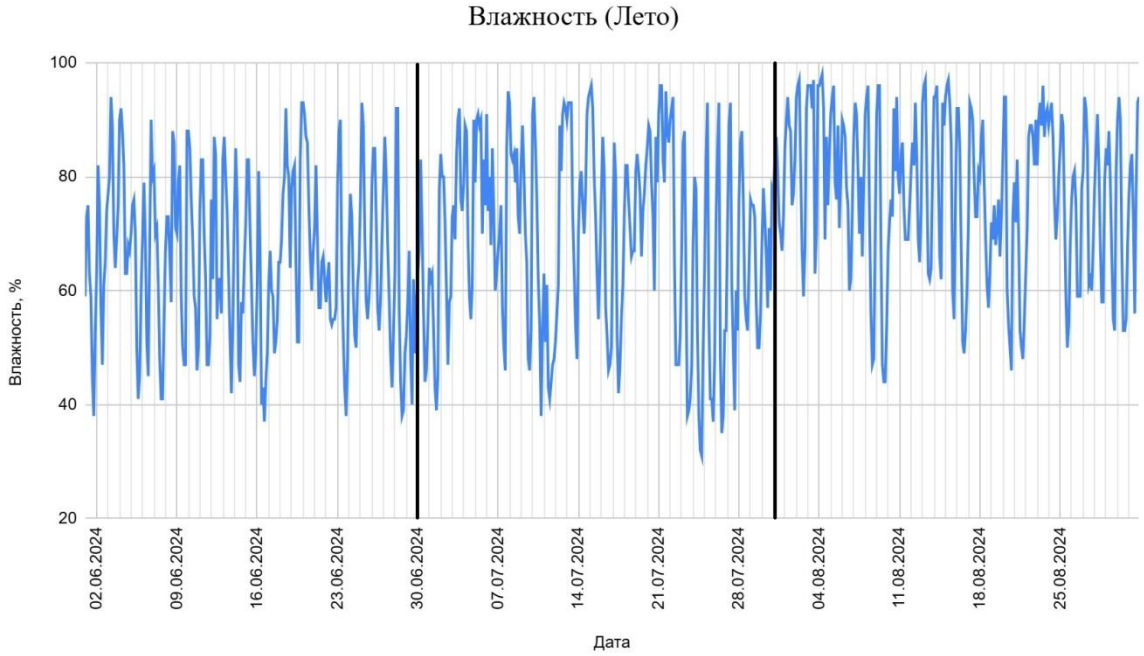

Рисунок 3.11 – Влажность воздуха в летний сезон (июнь-август 2024 года).

На рисунке 3.11 изображен график влажности воздуха в Санкт-Петербурге в летний период (июнь – август).

В среднем влажность составляет 70-85%. Частая циклоническая деятельность, близость Финского залива и большое количество вооемов играет большую роль.

Частые дожди в период июля и августа дополнительно повышают влажность. А из-за перепадов температуры и высокой влажности в июне и августе нередки туманы, которые плохо сказываются на рассеивание загрязняющих веществ.

Летняя влажность ниже, чем весной, но локальные максимумы связаны с ливнями. Низкие значения могут усиливать фотохимический смог.

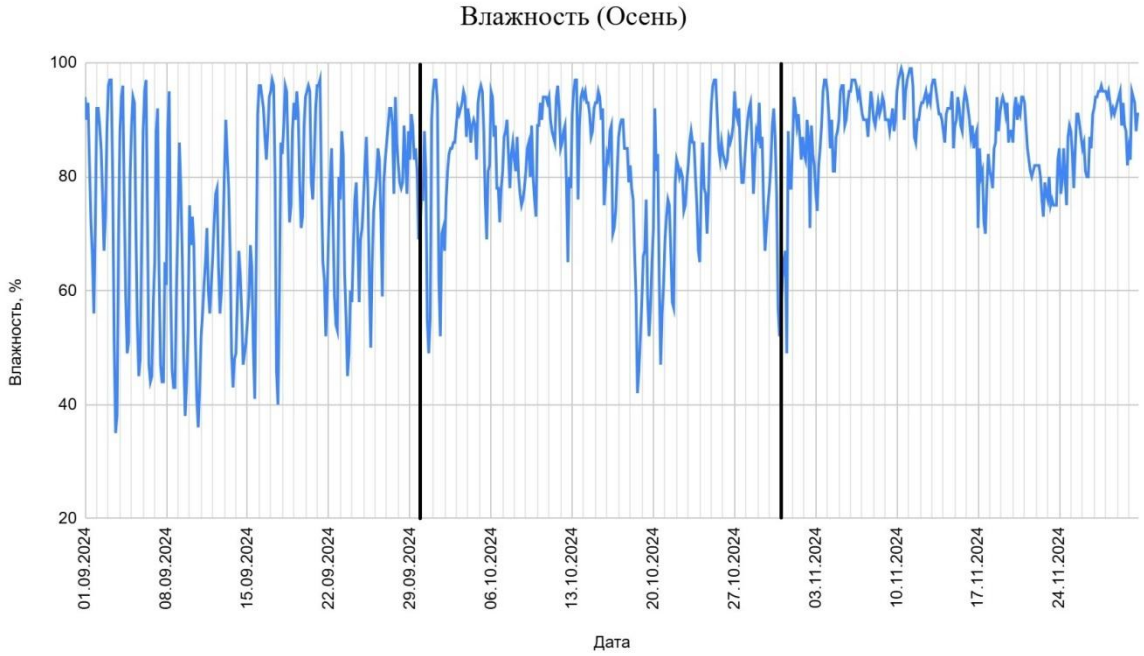

Рисунок 3.12 – Влажность воздуха в осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года).

На рисунке 3.12 изображен график влажности воздуха в Санкт-Петербурге в осенний период (сентябрь – ноябрь 2024 года).

Осень является переходным сезоном между летом и зимой. Поэтому такая неоднородность в значениях вполне нормальная. Начало осени характеризуется не самыми высокими значениями по сравнению с концом сезона. В сентябре сохранялась жаркая летняя погода, так называемое «бабье лето». В октябре и ноябре увеличилось количество дождей и туманов, от того значительно повысились значения влажности воздуха.

Средняя влажность за сезон составляла 80-90%.

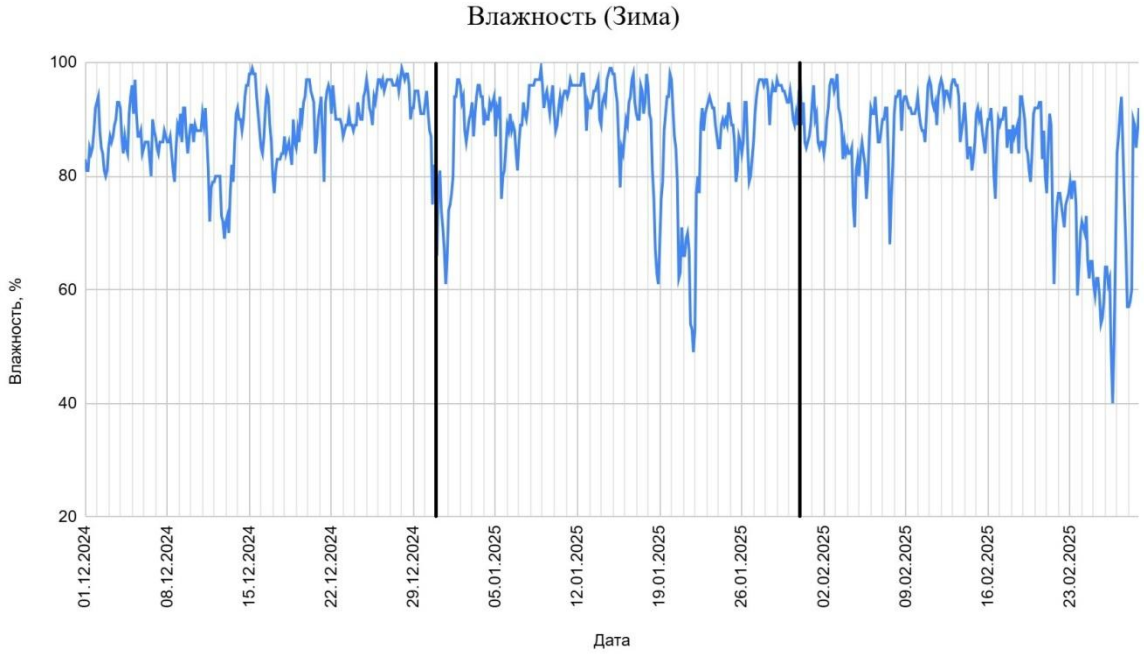

Рисунок 3.13 – Влажность воздуха в зимний сезон (декабрь 2024-февраль 2025).

На рисунке 3.13 изображен график влажности воздуха в Санкт-Петербурге в зимний период (декабрь 2024 – февраль 2025).

В среднем влажность высокая – 85-95%, в морозы снижается до 70-80%. В конце сезона заметно значительное снижение, это связано с антициклонами которые приносят морозы, которые в свою очеред понижают влажность.

Абсолютная влажность низкая, но из-за близости залива и частых оттепелей влага постоянно пополняется. Часты осадки в виде мокрого снега и дождей со снегом, которые в совю очередь сильно влияют на влажность. При резких потеплениях влага конденсируется в туманы.

Высокая влажность в сочетании с низкими температурами создает условия для смога и инверсий, удерживающих загрязнения у земли.

Сезонные тренды**:**

Наибольшая влажность — осенью и зимой (85–95%), наименьшая — летом (50–75%). Весна и осень демонстрируют резкие колебания из-за смены погодных режимов. Высокая влажность (зима/осень) усиливает осаждение

загрязнений, но и способствует их накоплению при штиле. Низкая влажность **(**лето**)** ускоряет образование озона и пылевых частиц.

3.4 Температура

Температура воздуха играет ключевую роль в концентрации загрязняющих веществ, влияя на их распространение, химические превращения и накопление в атмосфере. В Санкт-Петербурге, с его высокой влажностью и частой сменой погодных условий, этот фактор особенно важен.

При высоких температурах усиливается вертикальное перемешивание воздуха (конвекция), что снижает концентрацию вредных веществ у поверхности. Однако в жаркие безветренные дни возможно образование смога, а фотохимические реакции (процессы под действием солнца) превращают выхлопные газы (NOx, ЛОС) в озон (O3) и другие вторичные загрязнители.

При низких температурах возникают приземные инверсии температуры (холодный воздух у земли, теплый - выше), что блокирует рассеивание выбросов. В сочетании с высокой влажностью и слабым ветром это приводит к накоплению PM2.5, PM10, SO2, CO (особенно от транспорта и ТЭЦ). В морозы увеличиваются выбросы от отопления (уголь, дрова), что ухудшает качество воздуха.

В Петербурге зимний смог опаснее летнего из-за сочетания низких температур, влажности и инверсий. Летом главная угроза - озон и мелкие частицы от фотохимических реакций.

Рассмотрим значения температуры посезонно.

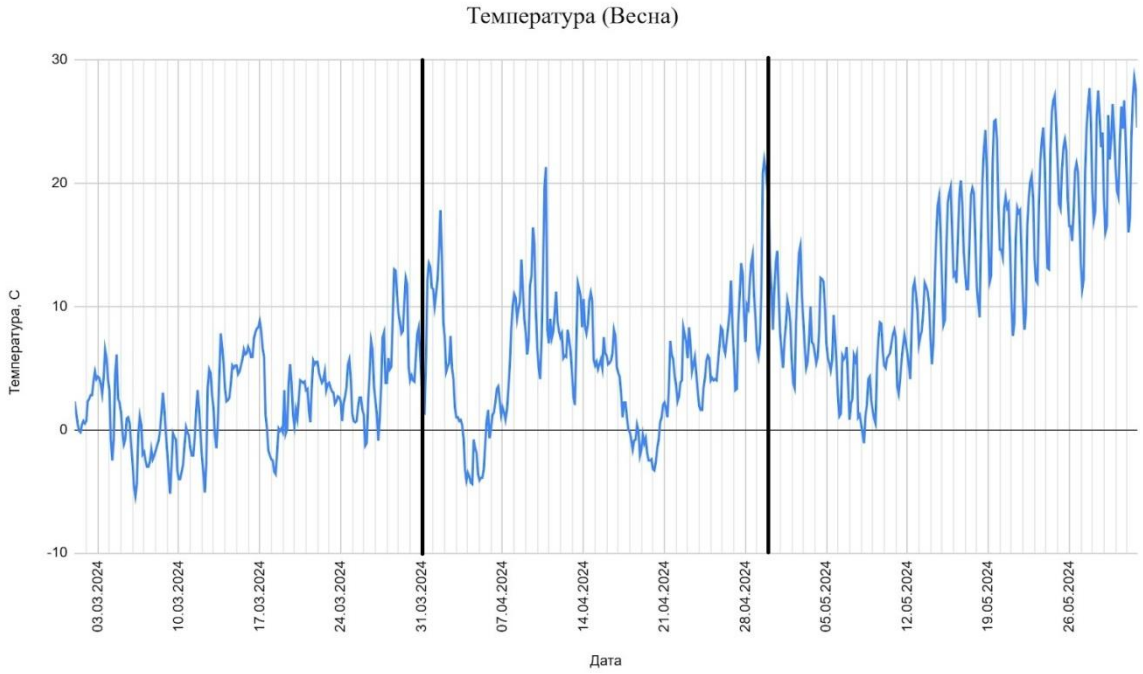

Рисунок 3.14 – Значения температуры в весенний сезон (март-май 2024 года).

На рисунке 3.14 представлен график температуры за весенний период (март-май 2024 года).

Продолжительный переходный сезон с резкими колебаниями температуры, активным снеготаянием и постепенным потеплением. В начале сезона преобладание отрицательных температур. В апреле резкие колебания, самый неустойчивый месяц. К концу сезона усточивое потепление. А свыше +15°C усиливаются фотохимические реакции (образование приземного озона из NOx и ЛОС).

Средняя температура за сезон +5 – +15°C.

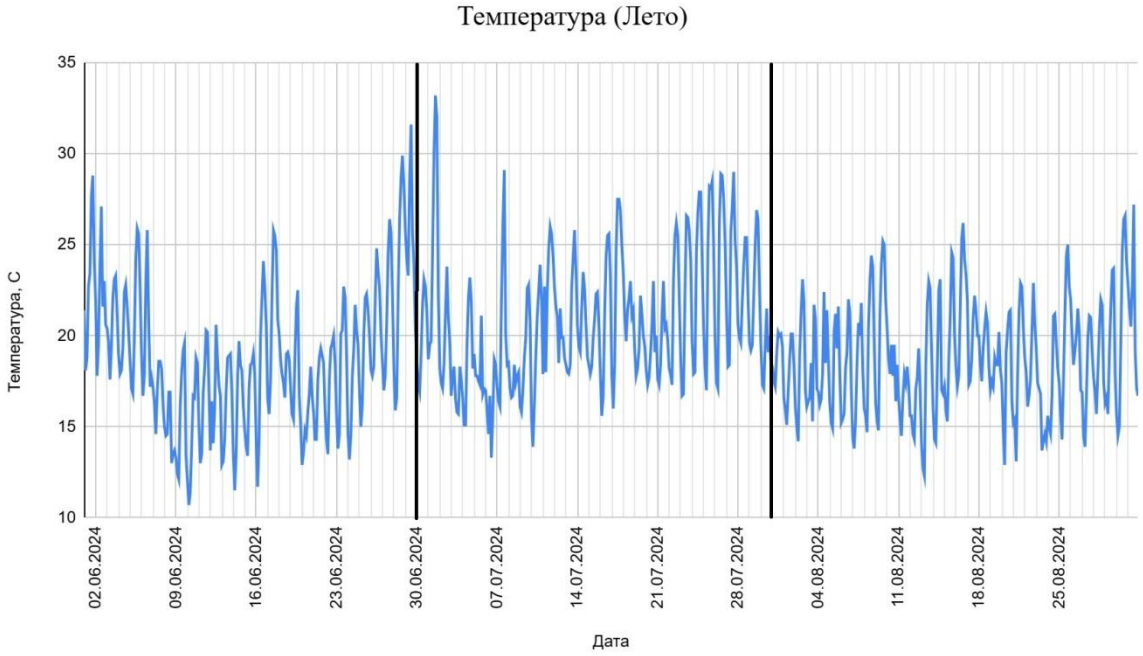

Рисунок 3.15 – Значения температуры в летний сезон (июнь-август 2024 года).

На рисунке 3.15 представлен график температуры за летний период (июнь-август).

Летом наблюдаются значительные колебания между дневными и ночными температурами. В июне ярко выражены ночные похолодания. Высокие температуры в июле могут способствовать образованию фотохимического смога, но также из-за высокой влажности часто идут ливневые дожди. Постепенное похолодание к концу месяца. Учащаются туманы и моросящие дожди.

Средняя температура 18-25°C, что типично для умеренного климата.

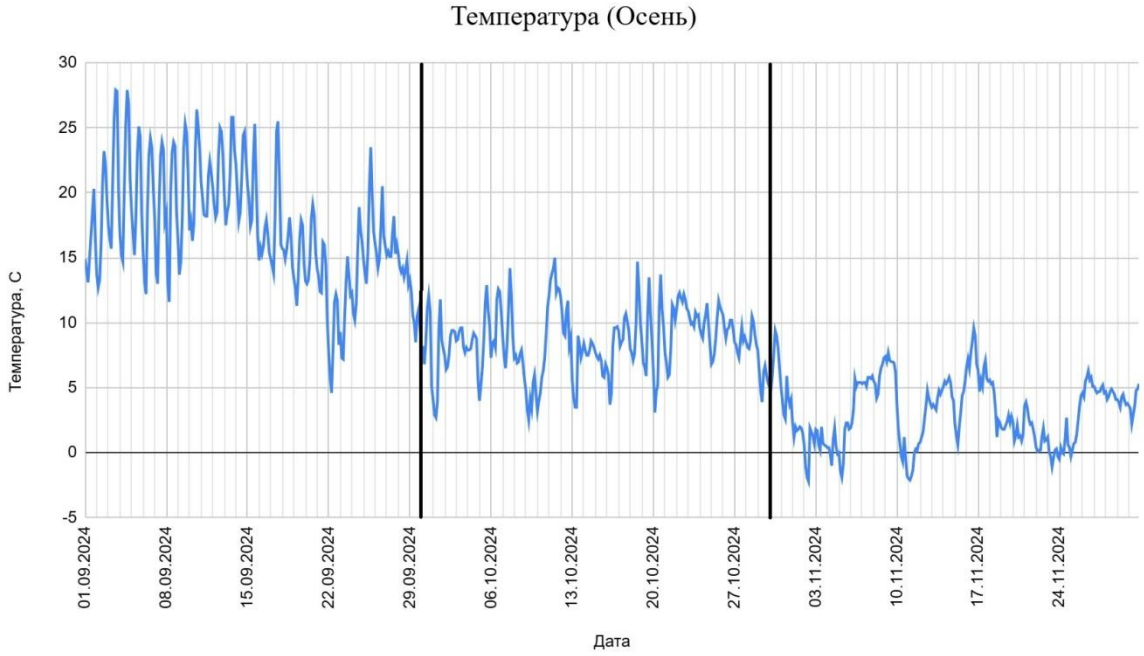

Рисунок 3.16 – Значения температуры в осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года).

На рисунке 3.16 представлен график температуры за осенний период (сентябрь-ноябрь).

Начало сезона отмечается высокой температурой («бабье лето»), постепенное снижение температуры, но не равномерное, присутствуют резкие скачки. В конце сезона - переход к зиме, температура постепенно снижается, что приводит к увеличению использования отопительных систем и, как следствие, росту выбросов загрязняющих веществ.

Балтийское море - долго сохраняет тепло, смягчая ранние заморозки. Атлантические циклоны - приносят дожди и потепления. Арктические вторжения - вызывают внезапные похолодания в октябре-ноябре.

Средняя температура сезона – 5-15°C

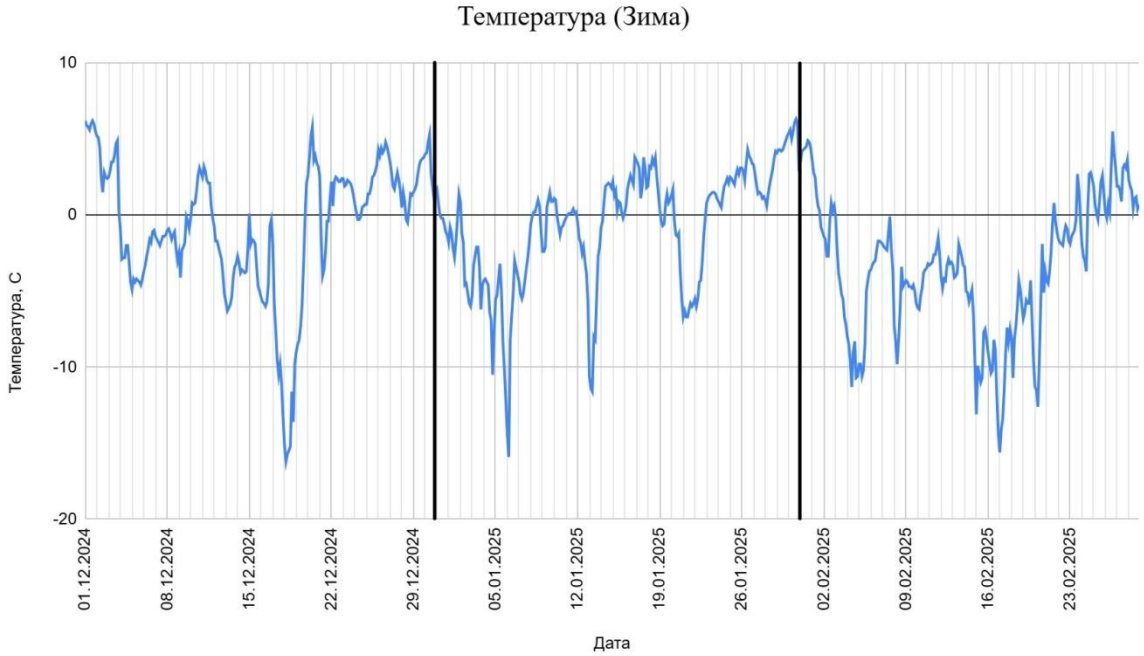

Рисунок 3.17 – Значения температуры в зимний сезон (декабрь 2024-февраль 2025 года).

На рисунке 3.17 представлен график температуры за зимний период (декабрь 2024- февраль 2025).

Зима в целом показала равномерное распределение температуры по месяцам, не выделяя определенные периоды экстремальных повышений или понижений. Атлантические циклоны влияют на потепления, а вот резкие похолодания приносят Арктические антициклоны.

Резкие понижения на фоне вполне равномерной температуры могут сказаться на появлении инверсий, которые в свою очередь удерживают загрязняющие вещества в приземном слое.

Средняя температура в районе -6 – 6 °С.

Сезонные тренды:

Наибольшие перепады температур характерны для весны и осени. Зима отличается низкими температурами, а лето - высокими дневными максимумами. Зимние морозы и летняя жара усугубляют загрязнение воздуха из-за увеличения нагрузки на отопление/кондиционирование и фотохимических

реакций. Весенние и осенние перепады могут способствовать усилению ветровой активности, что улучшает проветривание города.

3.5 Осадки

Атмосферные осадки играют важную роль в процессах естественного очищения атмосферы, выступая важным элементом ее саморегуляции. Многочисленные исследования подтверждают, что выпадение осадков приводит к значительному снижению концентраций основных загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, причем эффективность этого процесса существенно варьирует в зависимости от типа осадков, их интенсивности и химического состава [10].

Равномерный дождь интенсивностью 1 мм/час за 15 минут может удалить из воздуха около 28 % аэрозольных частиц размером 10 мкм, для частиц размером 2 мкм и меньше вымывающее действие дождя незначительно. По результатам исследования другого автора следует, что степень выведения осадками частиц меньше 0.2 мкм достигает 50%, а эффективность захвата крупных частиц может достигать 100%. Показано, что вымывание примесей заметнее при мелком обложном дожде и слабее при ливнях с крупными каплями. Это объясняется тем, что с увеличением размера капель увеличивается скорость их падения, в результате чего уменьшается эффективность захвата загрязняющих веществ. При рассмотрении эффективности вымывания необходимо учитывать вид осадков. Вымывающая способность снега в 10-50 раз выше, чем дождя. Эффект вымывания примесей осадками может иметь и отрицательные последствия. Это в первую очередь относится к вымыванию радиоактивных загрязнений, так как это приводит к радиоактивному заражению земной поверхности [10].

При взаимодействии осадков с примесями могут образовываться более токсичные вещества. К такому проявлению вторичного воздействия окислов азота и серы относятся кислотные дожди, которые вызывают повышение кислотности осадков и оказывают очень вредное воздействие на окружающую флору и фауну [10].

Рассмотрим значения выпавших осадков посезонно.

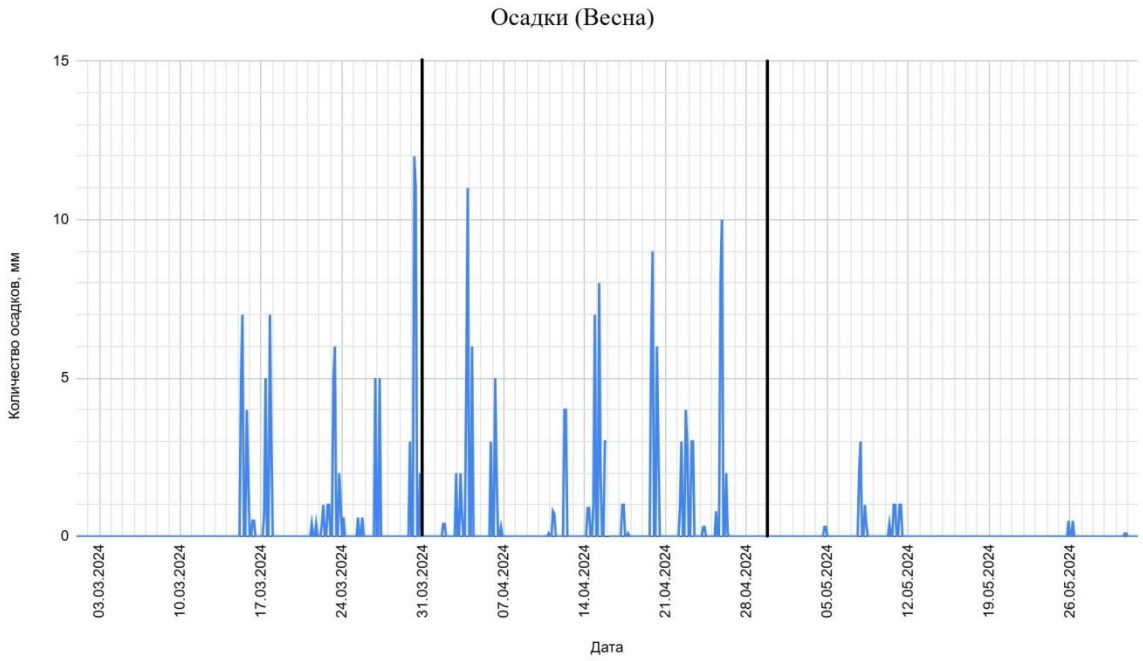

Рисунок 3.18 – Количество осадков в весенний сезон (март-май 2024 года).

На рисунке 3.18 представлен график количества осадков за весенний сезон (март-май 2024 года).

Начало сезона выдался без осадков, это объясняется проходящим над территорией Санкт-Петербурга антициклоном. Осадки до середины сезона стабильно снег, дождь со снегом или замерзающий дождь, так как в этот период идет переход с зимнего месяца. А в нашей широте это затяжной процесс. К маю осадки уходят в минимум (0-2мм), этому поспособствовали наличие антициклонов на протяжении месяца [11].

Осадки в середине сезона, когда большинство снежного покрова растаяло, помогли вывести, осадить и вымыть (с поверхности почвы) примеси

различных загрязняющих веществ. Которые за зимний сезон накопились в покрове, а также в воздухе за счет отсутствия жидких осадков, которые намного лучше рассеивают загрязняющие вещества.

В мае из-за отсутствия осадков и сухой устойчиво теплой погоды твердые частицы PM2.5 и PM10 могут подниматься в воздух.

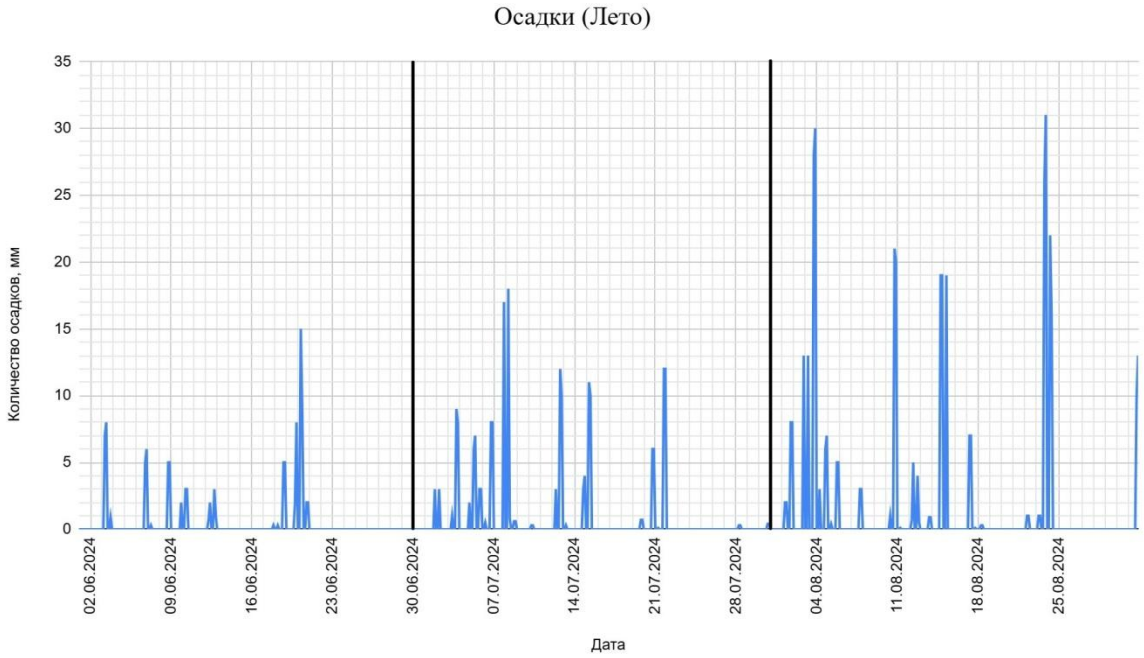

Рисунок 3.19 – Количество осадков в летний сезон (июнь-август 2024 года).

На рисунке 3.19 представлен график количества осадков за летний сезон (июнь-август 2024 года).

Летом активно проходят Атлантические циклоны, которые приносят ливневые осадки и грозы. Чередование с антициклонами дают плохое влияние на загрязнение атмосферного воздуха. Так как в период антициклонов, при которых также характерны штили и слабые ветра, происходит накопление веществ. А в период циклонов характерны кратковременные ливни, которые не имеют такой силы для рассеивания и вымывания из воздуха загрязняющих веществ, как например обложные осадки.

Июль и август характерная активная циклоническая деятельность (пики ливневой активности).

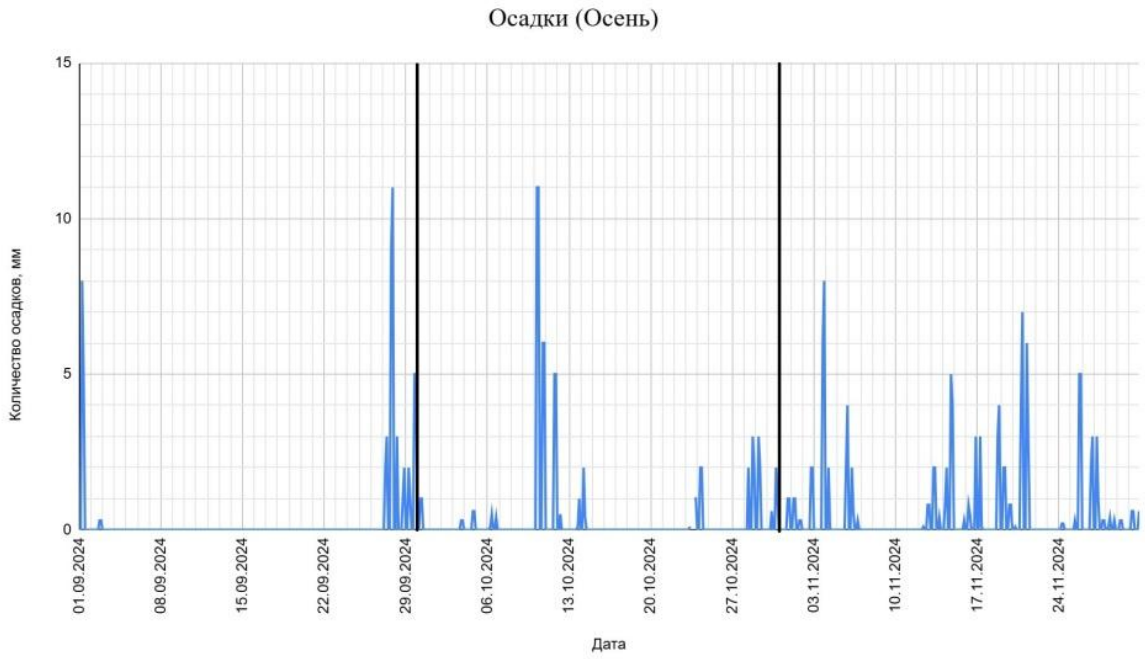

Рисунок 3.20 – Количество осадков в осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года).

На рисунке 3.20 представлен график количества осадков за осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года).

Весь сезон не выражен обильными осадками. Начало выдалось засушливым (преобладание антициклональной погоды), что способствует накоплению загрязняющих веществ. В целом выпадение осадков было нестабильным. Активные осадки чередовались с полным отсутствием. В конце сезона режим пошел на стабилизацию. Преобладающий вид осадков – обложной дождь [6]. Такой вид лучше всего очищает атмосферу, так как идет долгое время, затрагивает бóльшую площадь и капли успевают захватить большее количество примесей.

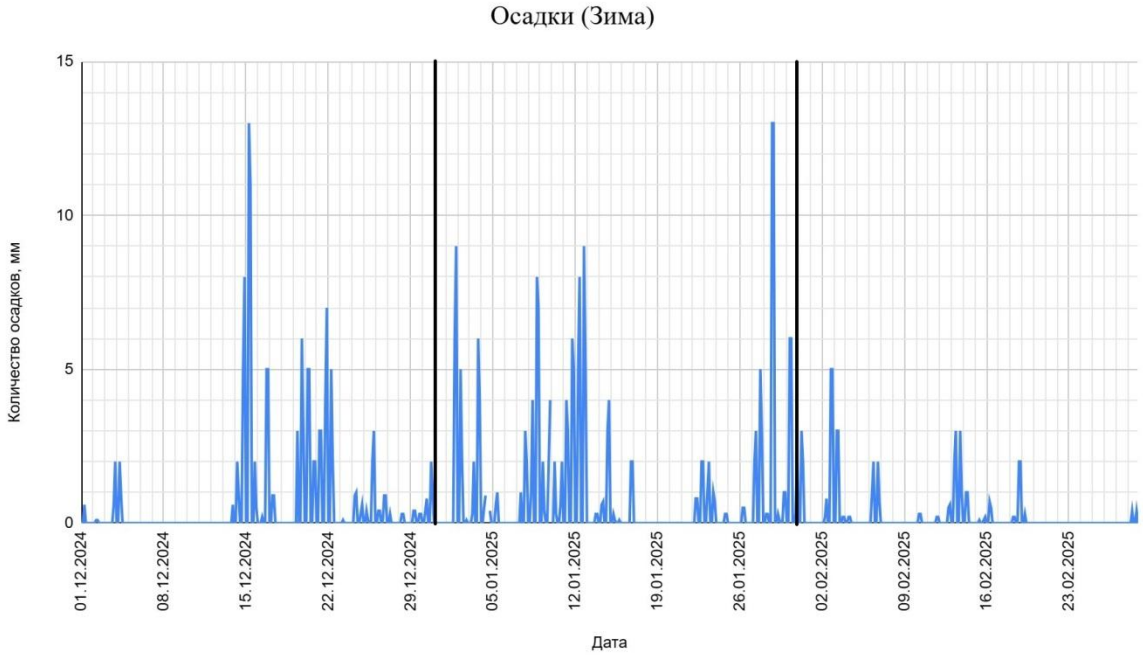

Рисунок 3.21 – Количество осадков в зимний сезон (декабрь 2024 – февраль 2025 года).

На рисунке 3.21 изображен график количества выпавших осадков в зимний период (декабрь 2024 – февраль 2025 года).

Преобладающий вид осадков – снег, мокрый снег, снег с дождем.

Снег имеет свойства аккумулировать в себе загрязняющие вещества. Уже выпавший снег задерживает в себе вещества, которые впоследствии таяния уходят в почву, воду, а также возвращаются в атмосферу весной при сильном ветре и отсутствии осадков (твердые частицы, соли, металлы и т.д.).

До попадания на землю снег успевает «захватить» за счет инерции и адгезии частицы (PM2.5, PM10) и аэрозольные частицы. Но все же уступают жидким осадкам в эффективности очищения атмосферы.

В начале и конце сезона наблюдалось отсутствие осадков, что явно сказалось на накоплении в атмосфере примесей.

Сезонные тренды:

В Санкт-Петербурге сезонные осадки (дождь, снег, мокрый снег) наиболее эффективно очищают атмосферу от загрязняющих веществ. Зимой

(из-за снега, улавливающего частицы и абсорбирующего газы) и осенью из-за частых и продолжительных осадков, тогда как летние дожди вымывают преимущественно водорастворимые загрязнения, но из-за высокой влажности и слабого ветра общее улучшение качества воздуха менее выражено. Вклад осадков весной особо заметен в середине сезона, когда как под конец их отсутствие дало негативный эффект в виде накапливания и возврат в воздух твердых веществ с ветром.

3.6 Загрязняющие вещества

3.6.1 Станции мониторинга загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга

В Санкт-Петербурге наблюдение и контроль за загрязнением окружающей среды и атмосферного воздуха занимается Комитет по природопользованию и ФГБУ «Северо-Западное УГМС».

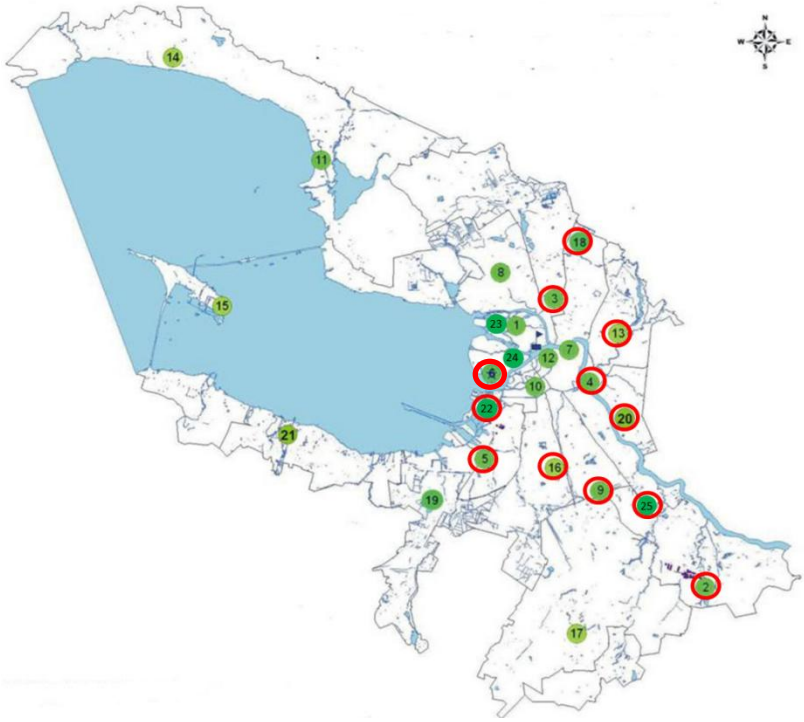

Рисунок 3.22 – Схема размещения автоматических станций системы УКВ

На рисунке 3.22 представлена карта размещения автоматических станций и стационарных постов мониторинга и наблюдения [12]. Красными кружками выделены станции и посты, расположенные в промышленных зонах. Значения концентраций в этих зонах могут быть значительно выше. Поэтому в анализе показателей концентраций по станциям это надо учитывать.

Так как промышленность играет весомую роль в загрязнении воздуха, необходимо понимать и расположения производственных зон в городе (Рисунок 3.23) [13].

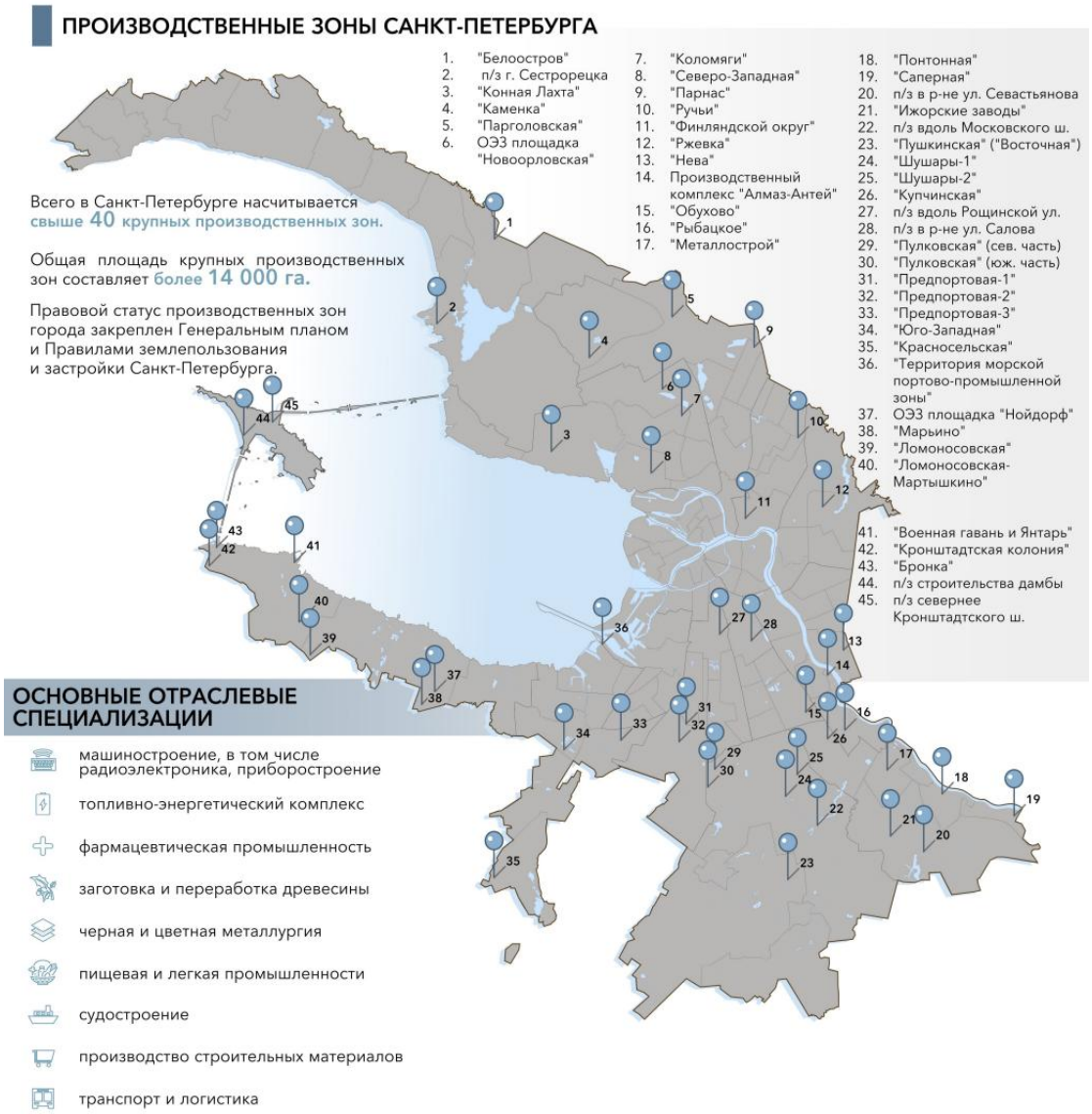

Рисунок 3.23 – Производственные зоны Санкт-Петербурга

3.6.2 Анализ концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Для анализа был выбран промежуток с 01.03.2024 года по 28.02.2025 года. В целом, для понятия трендов в разные сезоны, достаточно одногодичного отрезка. Данные были взяты с сайта ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (раздел мониторинга окружающего воздуха) [14].

Для оценки качества атмосферного воздуха, полученные концентрации загрязняющих веществ (в мг/м3, мкг/м3) сравнивают с ПДК. Средняя концентрация за месяц загрязняющего вещества сравнивается со среднесуточной ПДК (ПДКс.с.), наибольшая разовая концентрация – с максимальной разовой ПДК (ПДКм.р.) [14].

Данные на сайт УГМС поступают в виде графика концентраций в единицах превышения ПДКс.с. и ПДКм.р. (средние и максимальные значения концентрации соответственно). Для наглядности, на рисунке 3.24 представлен график концентраций веществ за январь 2025 года.

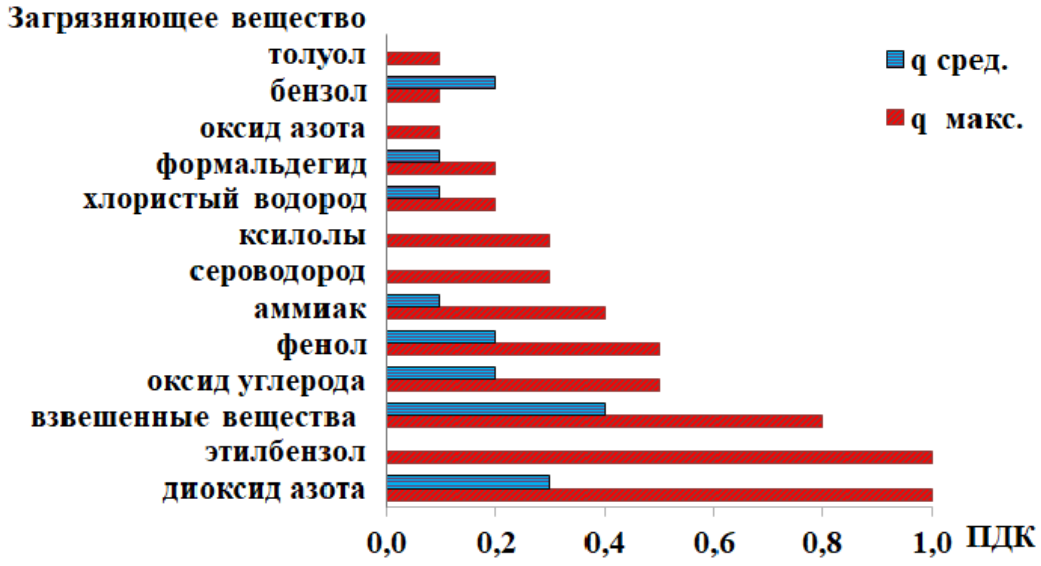

Рисунок 3.24 – График концентраций в единицах превышения ПДК за январь 2025года (ПДКс.с. для средних и ПДКм.р. для максимальных).

Данные представляют исключительно в виде графиков, без дополнительных числовых значений (ежечасные или ежедневные).

На основе имеющихся графиков за каждый месяц была сделана общая таблица средних и максимальных значений, помесячно, для каждого вещества (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – График средних и максимальных значений концентрации загрязняющих веществ (в период март 2024-февраль 2025 года), в значениях единицах ПДКс.с. и ПДКм.р.

Год	МЕСЯЦЫ	Толуол		Бензол		Оксид азота		Формальдегид		Ксилолы		Сероводород		Хлористый водород		Оксид углерода		Аммиак		Фенол		Этилбензол		Диоксид азота		Взвешенные вещества	
		Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс	Сред	Макс
2024	3	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,1	0,5	-	0,2	-	0,4	0,1	0,3	0,3	0,6	0,3	1	0,2	0,5	-	1	0,3	1	0,9	1,4
	4	-	0,1	0,1	0,1	-	0,2	0,1	0,6	-	0,2	-	0,4	0,1	0,6	0,3	0,8	0,4	1	0,2	1	-	1	0,4	1	0,6	3
	5	-	0,1		0,1	-				-		-				0,3				0,2		-			1	0,9	
	6	-	0,1	0,2	0,1	-	-	0,1	0,6	-	0,2	-	0,5	0,1	0,2	0,3	0,8	0,2	0,9	0,2	0,9	-	0,5	0,3	1	0,6	1
	7	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,4	1	-	0,4	-	0,6	0,1	0,2	0,3	0,7	0,2	0,9	0,2	1	-	0,5	0,3	0,9	0,6	0,8
	8	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,4	0,9	-	0,1	-		0,05	0,6	0,3	1,6	0,2	0,9	0,2	0,5	-	0,5	0,3	0,8	0,6	0,8
	9	-	0,1	0,2	0,1	-	0,2	0,2	1,3	-	0,2	-		0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,7	0,2	0,6	-	1	0,2	0,9	0,5	1
	10	-	0,1	0,2	0,1	-	0,2	0,1	0,8	-	0,1	-	0,9	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,7	0,2	0,8	-	0,5	0,3	0,8	0,5	0,9
	11	-	0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1	0,4	-	0,2	-	0,3	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,9	0,2	0,6	-	0,5	0,3	0,9	0,5	1
	12	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1		0,2	-	0,3	-	0,3	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,6	0,2	1	-	1	0,3	1	0,4	1
2025	1	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,1	0,2	-	0,3	-	0,3	0,1	0,2	0,2	0,5	0,1	0,4	0,2	0,5	-	1	0,3	1	0,4	0,8
	2	-	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,1	1	-	0,1	-	0,2	0,1	0,2	0,2	0,6	0,2	0,3	0,1	1	-	0,5	0,3	1	0,4	1,8

На основе подготовленной общей таблицы были построены графики посезонно.

Но для начала, рассмотрим концентрации загрязняющих веществ по станциям.

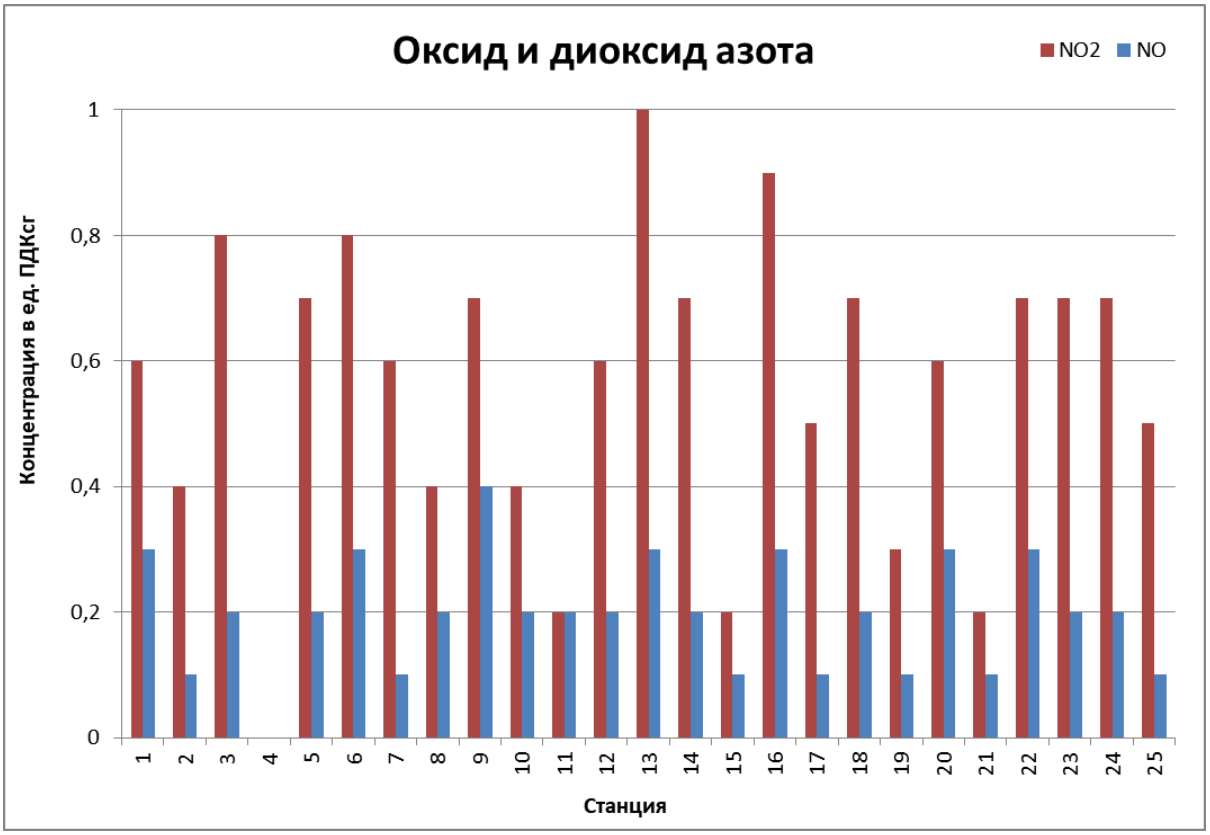

Рисунок 3.25 – График концентраций оксида и диоксида азота в единицах ПДКс.г. (среднегодовые значения)

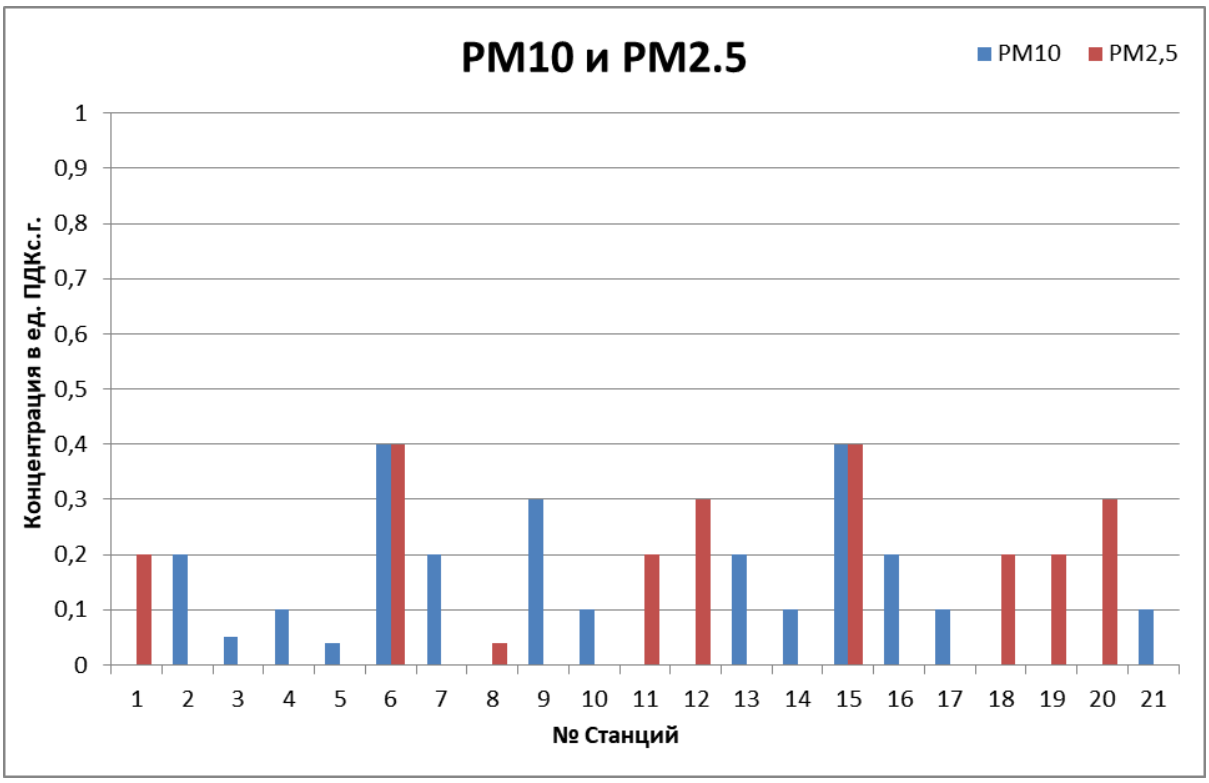

Рисунок 3.26 – График концентраций PM10 и PM2.5 в единицах ПДК с.г. (среднегодовые значения)

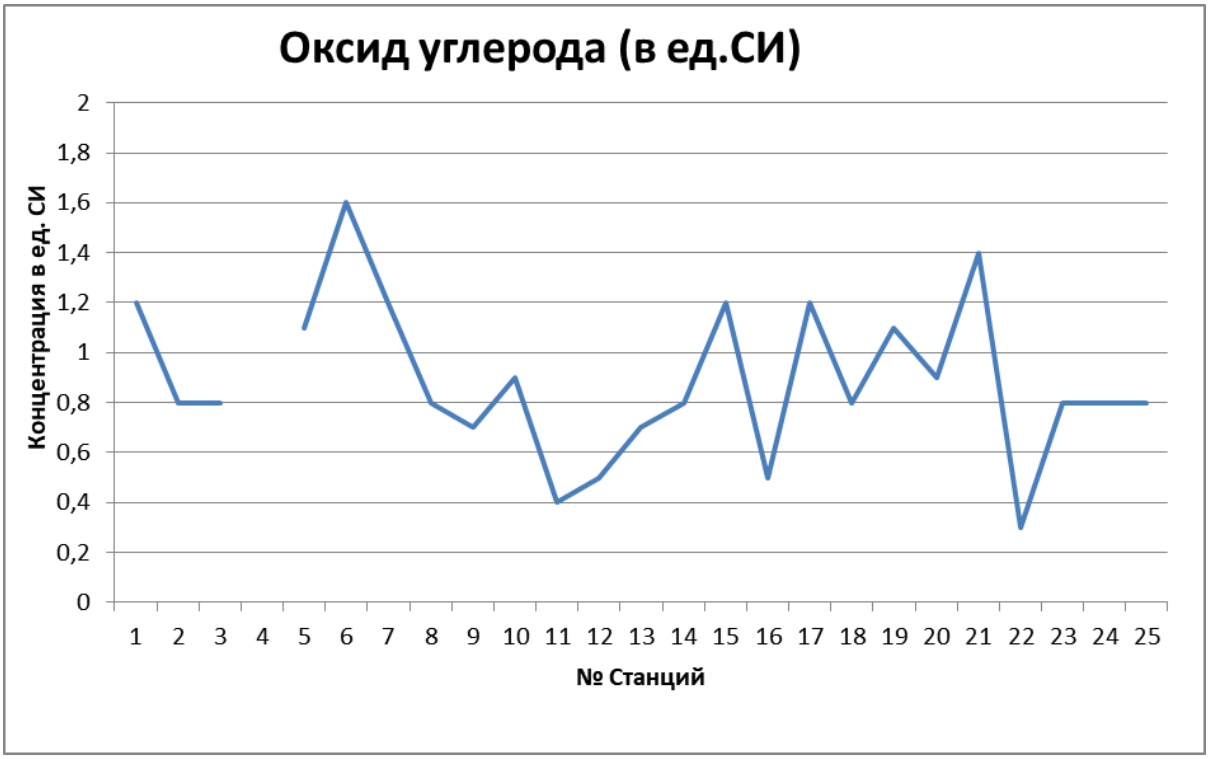

Рисунок 3.27 – График концентрации оксида углерода в единицах СИ (среднегодовые значения)

На рисунках 3.25, 3.26 и 3.27 представлены графики значений концентраций загрязняющих веществ на станциях мониторинга в единицах ПДК с.г. (СИ для оксида углерода).

Ранее упоминалось влияние расположения станций в промышленных зонах. Можно заметить, что именно на этих станциях (3, 6, 9, 13, 16, 20) выраженные скачки концентраций. Также есть случаи, когда станции находятся в оживленных местах (влияние дорожного транспорта превыше промышленности) и уже это играет роль.

В целом можно отметить, что превышения для PM10, PM2.5, оксида и диоксида азота (не считая одного случая на 13 станции) не наблюдалось. Оксид углерода выделяется на этом фоне с явным превышением по многим станциям. Главным его источником в городе является транспорт, поэтому не удивительно, что в списке станций с максимальными значениями входят «непромышленные» станции измерения.

Отдельно рассмотрим озон, а именно «плохой» озон. «Плохим» является приземный озон. Он является опасным загрязнителем воздуха, который относится к первому классу опасности. Это связано с его влиянием на людей и окружающую среду, а также с тем, что он является ключевым компонентом фотохимического смога. Вторичный загрязнитель образуется в результате сложных фотохимических реакций. Эти реакции происходят под воздействием ультрафиолетового солнечного излучения и загрязняющих веществ в атмосфере, таких как молекулы-предшественники: оксиды углерода, диоксид серы, оксиды азота и углеводороды. Эти вещества образуются в основном при сжигании органического топлива.

На рисунке 3.28 рассмотрим график концентрации озона в единицах ПДКс.г. по станциям.

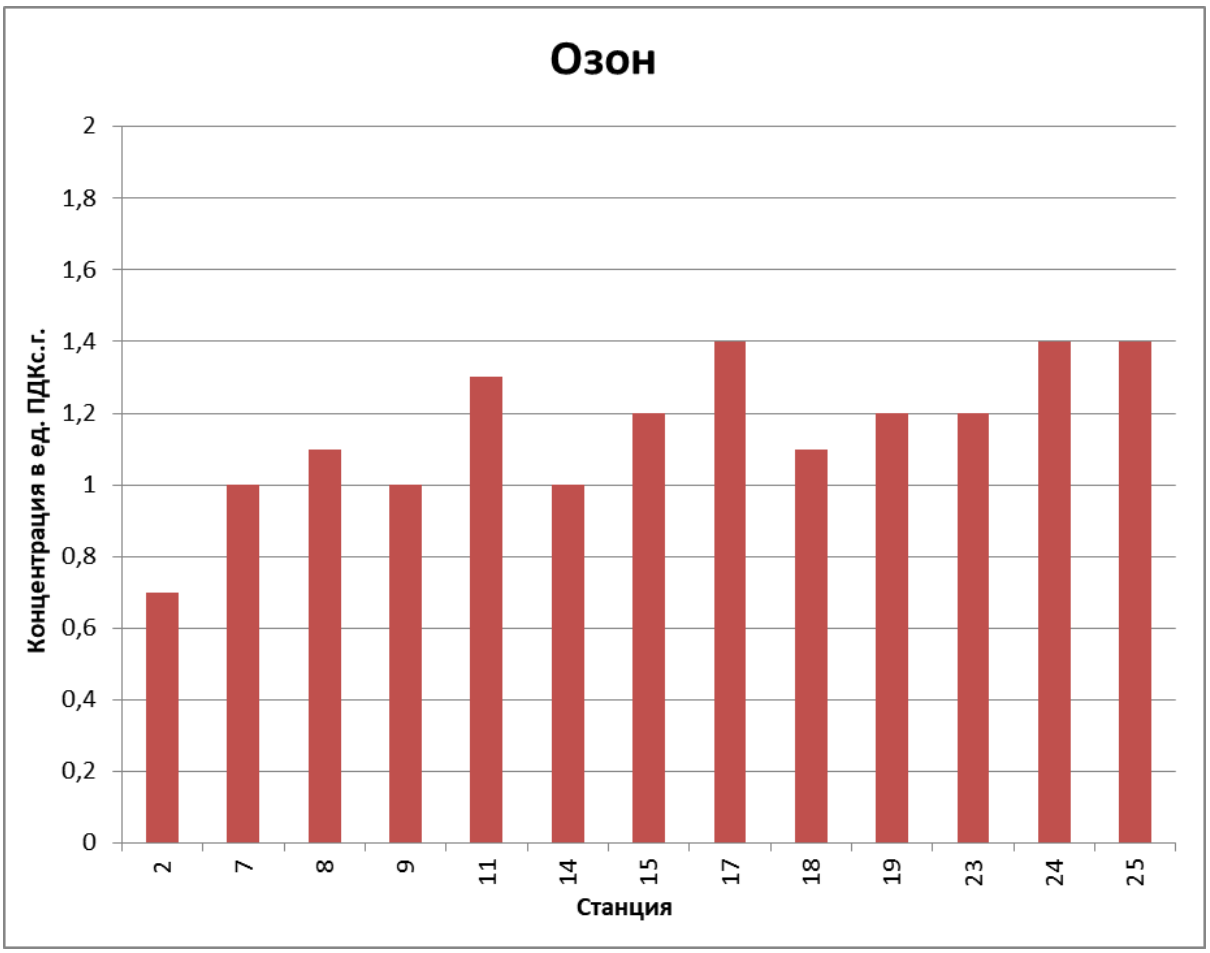

Рисунок 3.28 – График концентрации озона в ед. ПДКс.г на станциях наблюдения

Можно заметить, что буквально по всем станциям, где проводились измерения (не считая 2 станцию), наблюдается превышение ПДК. Самое интересное, что многие станции не являются «промышленными», а даже более того, находятся вдали от эпицентров транспортных и промышленных районов. Все потому, что под воздействием УФ-излучения NO2 распадается на NO и атомарный кислород, который соединяется с O2, образуя O3. Однако в присутствии NO озон может и разрушаться. Поэтому высокие концентрации O3 наблюдаются вдали от источников NO (например, в пригородах), где ЛОС способствуют накоплению O3, "переводя" NO в NO2 без его обратной реакции с озоном.

В целом, такие значения превышения ПДКс.г. (от 1 до 1,5 ед.) находят свое негативное отражение только для людей с болезнями легких и слабым физическим здоровьем.

Перейдем к анализу посезонного загрязнения атмосферы воздуха в Санкт-Петербурге.

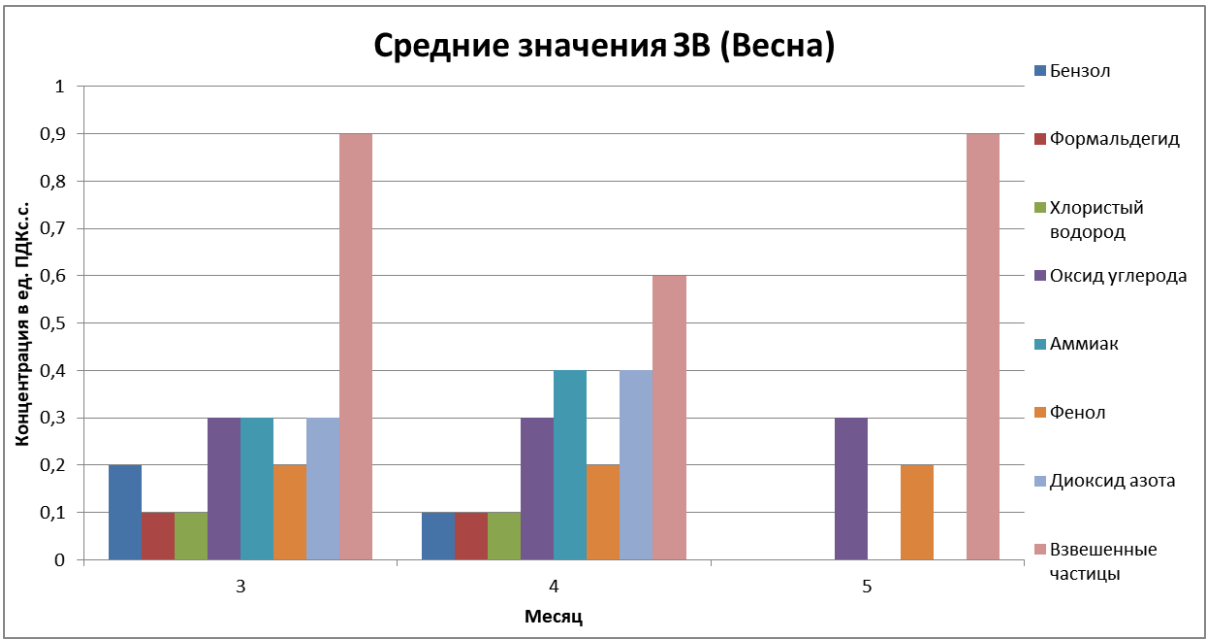

Рисунок 3.29 – График средних значений концентрации загрязняющих веществ за весенний сезон (март-май 2024 года)

На рисунке 3.29 представлен график средних значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за весенний период (март-май 2024 года).

Превышение ПДК не наблюдается. Сразу можно выделить высокие значения взвешенных частиц по сравнению с другими.

Если оговорить про март, то явное влияние на это дают слабые ветра (1-2м/с), высокие значения влажности (которые в тандеме со слабым ветром аккумулирует вещества в воздухе), полное отсутствие осадков до середины месяца.

В апреле заметное снижение концентрации взвешенных частиц на 0,3 единицы, но повышение аммиака и диоксида азота. Можно сказать, что повышение скорости ветра (2-4м/с) и стабильные осадки повлияли на рассеивание и осаждение взвешенных частиц. Рост аммиака можно связать с повышением температуры, так как начинается активное прогревание земли.

Аммиак и другие вещества начинают активно испаряться из почвы. Естественно не стоит опускать из внимания влияние транспорта и производства.

Данные за май представлены не в полном объёме, так как УГМС ограничилось только замечанием о не превышении ПДК по всем загрязняющим веществам. Так как из представленных веществ (фенол, оксид углерода и взвешенные вещества) не было превышений ПДК, то рассмотрим повышение концентрации на 0,3 единицы у взвешенных веществ по сравнению с апрелем. Явное влияние – слабый ветер (1-2м/с, во второй половине штиль), отсутствие осадков. Также, можно вынести предположение, что из-за резких температурных различий (день-ночь) и слабого (отсутствующего) ветра возникали радиационные инверсии, которые по своей природе являются «сдерживающим колпаком» для рассеивания загрязняющих веществ по высоте.

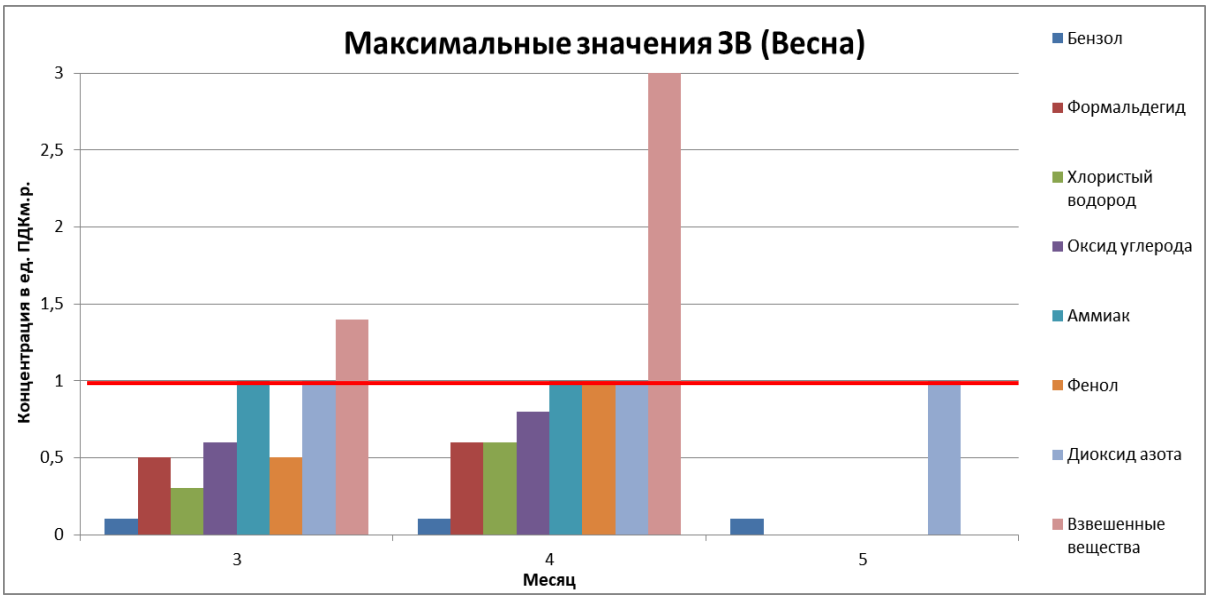

Рисунок 3.30 – График максимальных разовых значений концентрации загрязняющих веществ за весенний сезон (март-май 2024 года)

На рисунке 3.30 представлен график максимальных разовых значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за весенний период (март-май 2024 года). Данных всех концентраций за май представлено не было.

Особое внимание привлекает превышение ПДК в 3 раза у концентрации взвешенных частиц в апреле. Это связанно с растаявшим снежным покровом, который за весь зимний период накопил всевозможные твердые частицы и вещества. Так как нет более сдерживающего «снежного одеяла», то частицы, без каких либо проблем, оказываются вновь в воздухе за счет ветров (в апреле наблюдаются достаточно сильные ветра в районе 3-5м/с). В целом рассматривая другие вещества, то можно сказать, что показатели находились в разумных пределах для максимально разовых значений. Важнее учитывать именно средний показатель.

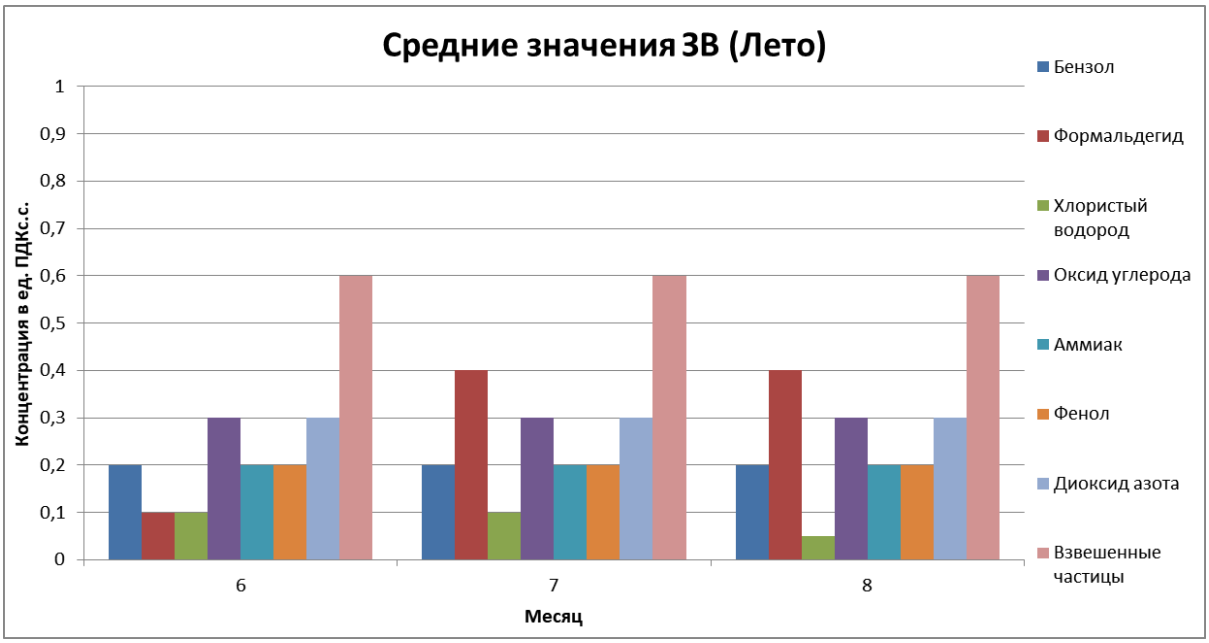

Рисунок 3.31 – График средних значений концентрации загрязняющих веществ за летний сезон (июнь-август 2024 года)

На рисунке 3.31 представлен график средних значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за летний период (июнь-август 2024 года).

В июне все вещества находились в своих «стандартных» значениях. Без превышения ПДК. Заметно снижение аммиака – фаза активного испарения прошла в весеннем сезоне. Взвешенные частиц уменьшились под влиянием активного западного направления ветра с хорошей скоростью (2-4 м/с, частые

увеличения до 5-7м/с). Также, по сравнению со второй частью мая, в июне проходили циклоны, которые принесли осадки [11]. Они в свою очередь вымыли и осадили многие вещества.

В июле и августе заметно повышение концентрации формальдегида. Это объясняется тем, что формальдегид образуется в результате фотохимических реакций под действием УФ-излучений. Чем выше излучения, тем быстрее и интенсивнее происходят окисления летучих органических соединений и метана. Также, еще можно выделить источники формальдегида – некоторые материалы (полимеры, лаки и краски) при сильном нагревании; под воздействием солнечного излучения в жаркую безветренную погоду выбросы автотранспорта (оксиды азота, углеводороды); лесные пожары; некоторые растения (ива, тополь).

Уменьшение концентрации хлористого водорода на 0,05 единицы в августе можно сопоставить с активными осадками в этот период. Вещество является водорастворимым, в результате соединения с водой образуется слабый раствор соляной кислоты, которая нейтрализуется при контакте с почвой или щелочными частицами.

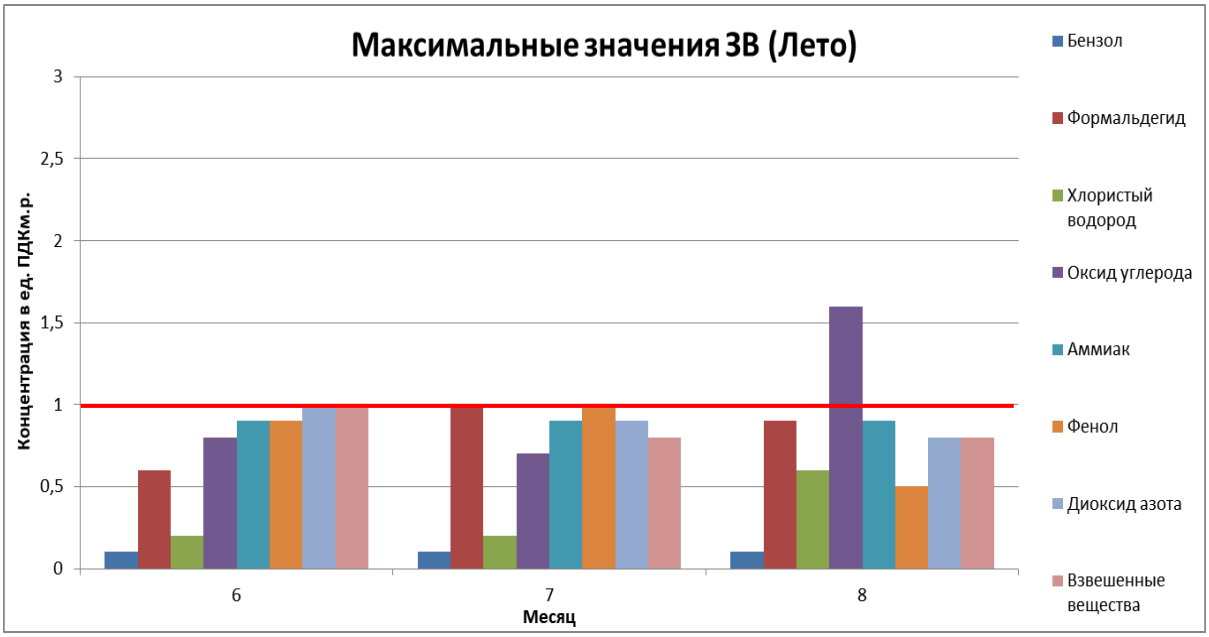

Рисунок 3.32 – График максимальных разовых значений концентрации загрязняющих веществ за летний сезон (июнь-август 2024 года)

На рисунке 3.32 представлен график максимальных разовых значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за летний период (июнь-август 2024 года).

Рассмотрим превышение ПДК концентрации оксида углерода в 1,6 раз. Можно предположить, что понижение скорости ветра в августе сыграло свою роль в слабом перемешивании воздуха. Тем самым произошло накапливание CO. Также можно предположить влияние инверсий, которые могли образоваться в результате резких колебаний температуры «день-ночь» (наблюдалось в течении всего летнего периода).

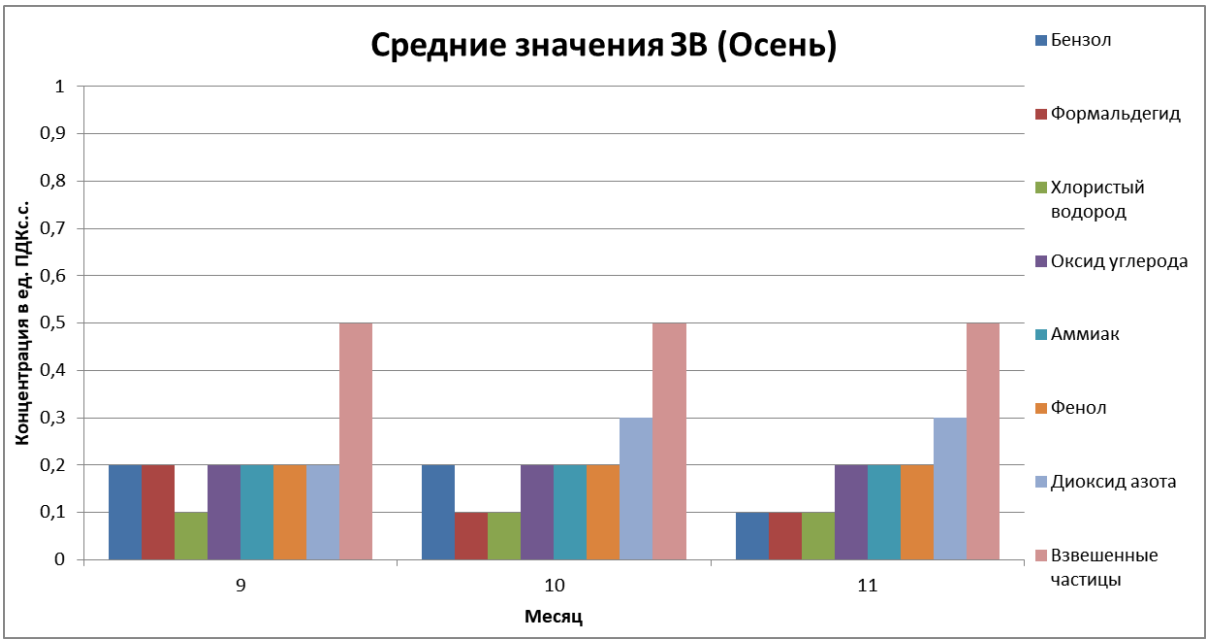

Рисунок 3.33 – График средних значений концентрации загрязняющих веществ за осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года)

На рисунке 3.33 представлен график средних значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за осенний период (сентябрь-ноябрь 2024 года).

Концентрации взвешенных частиц опустились до 0,5 единиц ПДК. Осенью увеличиваются количество обложных осадков, которые лучше вымывают из воздуха частицы и вещества. Также увеличились скорости ветра, по сравнению с летним сезоном. Можно проследить также снижение бензола и

формальдегида. Здесь можно также подключить влияние уменьшения солнечной активности и температуры.

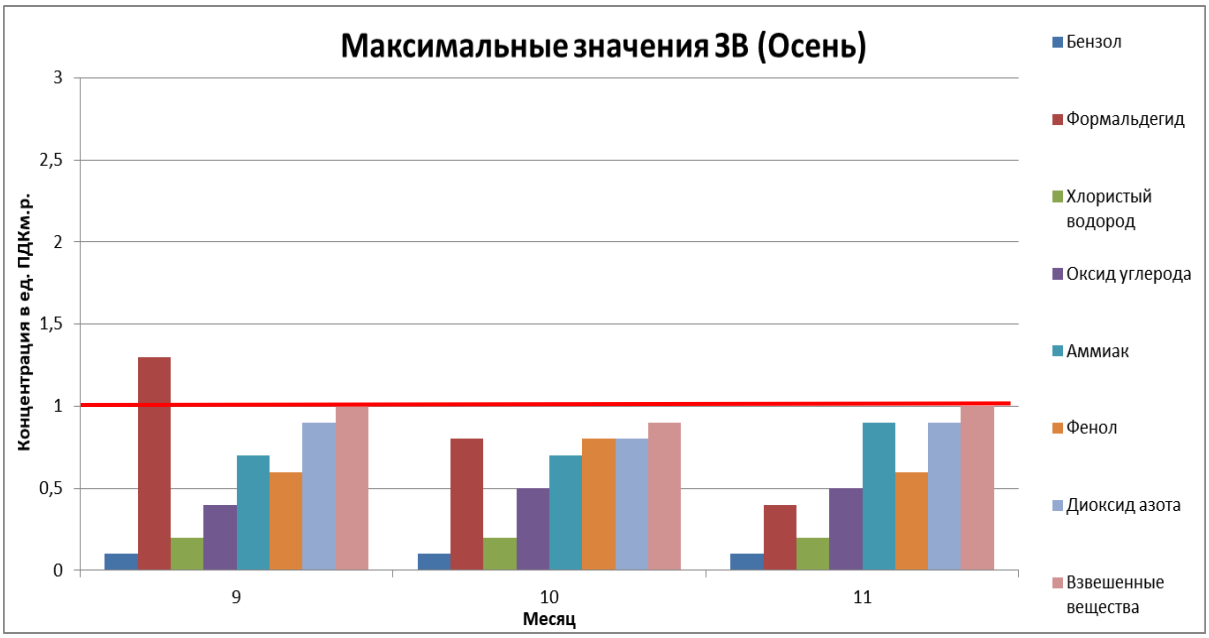

Рисунок 3.34 – График максимально разовых значений концентрации загрязняющих веществ за осенний сезон (сентябрь-ноябрь 2024 года)

На рисунке 3.34 представлен график максимальных разовых значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за осенний период (сентябрь-ноябрь 2024 года).

Можно выделить повышение концентрации формальдегида выше ПДК в 1,3 раз. Это можно объяснить приходом активных антициклонов после мощной циклонической деятельности в августе. Отсутствие осадков, безоблачность, достаточно стабильная высокая температура. Как говорилось ранее – В результате воздействия ультрафиолетового излучения на летучие органические соединения и метан происходит процесс окисления, в результате которого образуется формальдегид. Чем выше интенсивность излучения, тем быстрее и активнее протекает этот процесс.

Также можно подметить, что все измеренные концентрации в середине находятся ниже ПДК. В это время происходит усиление циклонической

деятельности (большое количество обложных осадков и усиление ветров), что и повлияло на данное явление.

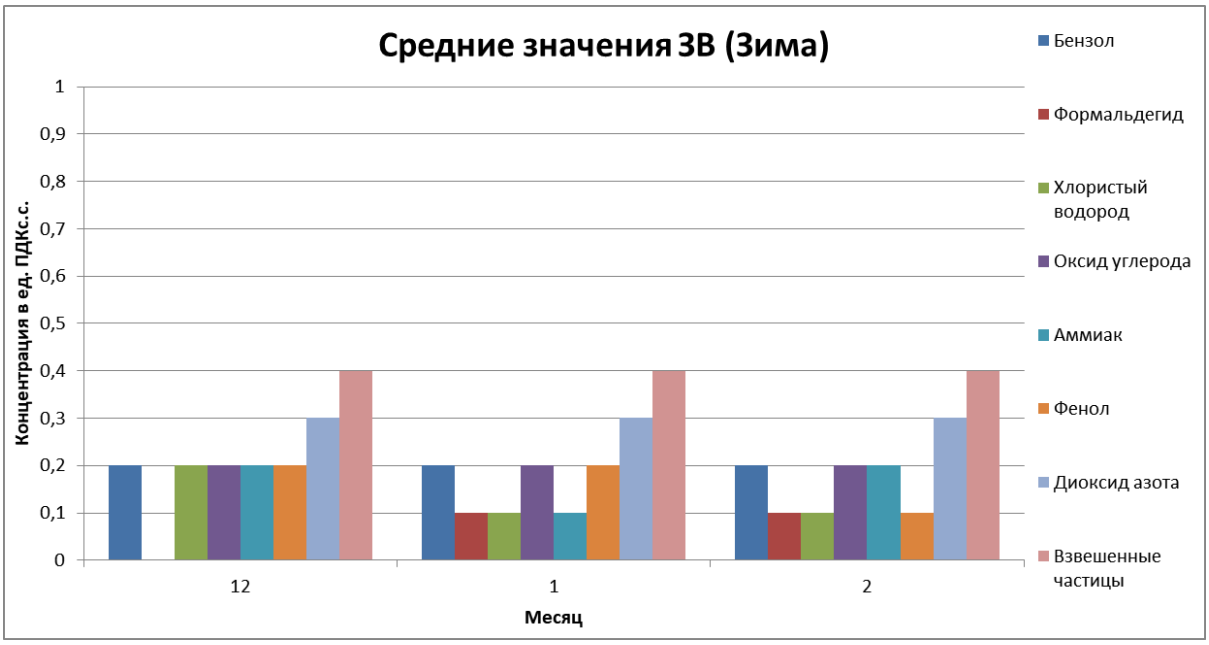

Рисунок 3.35 – График средних значений концентрации загрязняющих веществ за зимний сезон (декабрь 2024 – февраль 2025 года)

На рисунке 3.35 представлен график средних значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за зимний период (декабрь 2024-февраль 2025 года).

В декабре все вещества, кроме формальдегида (не было данных об измерении), диоксида азота и взвешенных частиц, находились на отметке 0,2 единицы ПДК. Повышение некоторых значений может связываться с повышением отопительного сезона (увеличение работы котельных и ТЭЦ). Взвешенные частицы на протяжении всего сезона держались в концентрации 0,4 единицы ПДК. Это связанно с наличием снежного покрова, который аккумулирует в себе все твердые частицы и не дает им распространяться в атмосфере за счет ветра.

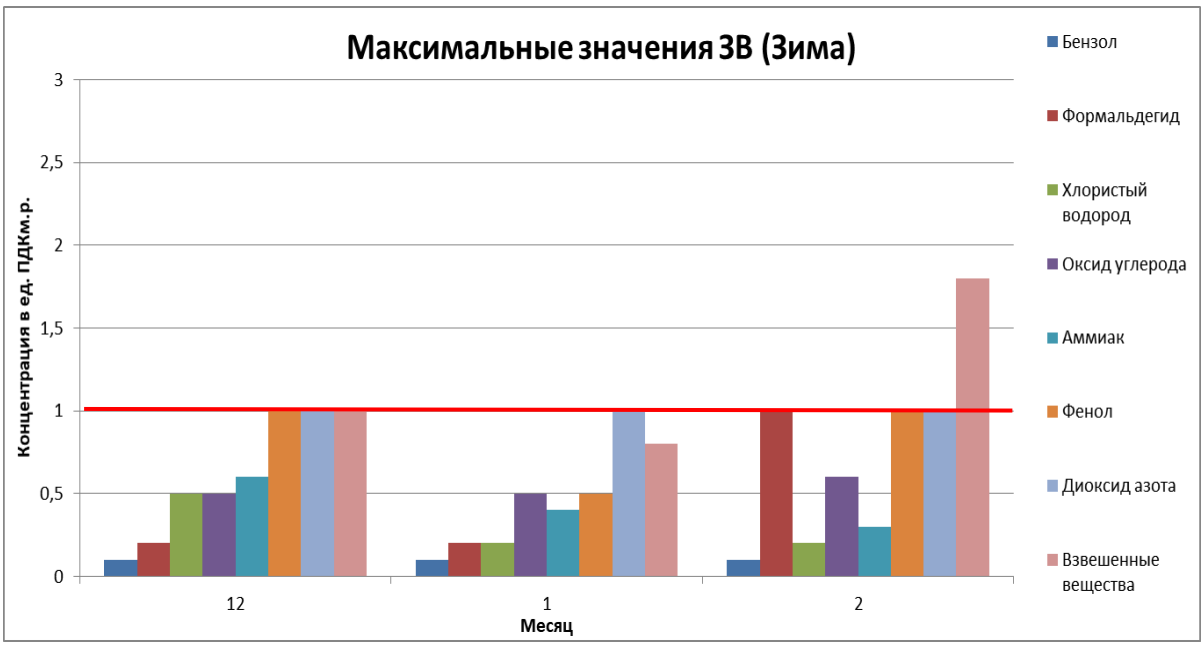

Рисунок 3.36 – График максимальных разовых значений концентрации загрязняющих веществ за зимний сезон (декабрь 2024 – февраль 2025 года)

На рисунке 3.36 представлен график максимальных разовых значений концентрации измеренных веществ в атмосферном воздухе за зимний период (декабрь 2024 – февраль 2025 года).

Можно выделить повышение концентраций в феврале. Месяц выдался самым «сухим» и слабоветренным (1-2м/с). Концентрации, которые осаждались за счет постоянных сильных осадков в виде снега (иногда дождя) и мощных ветров в январе, пошли на увеличение в такой «благоприятный» для них февраль.

Анализ концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга за период с марта 2024 по февраль 2025 года показал, что в целом средние значения не превышали установленных ПДК, за исключением отдельных случаев. Наибольшие превышения наблюдались для озона (до 1,5 ПДК) и формальдегида (в летний и осенний сезоны), что связано с фотохимическими реакциями под воздействием УФ-излучения. Оксид углерода также демонстрировал локальные превышения, особенно в условиях слабого ветра и температурных инверсий.

Сезонные колебания концентраций зависели от метеорологических условий: зимой влияние оказывал снежный покров, весной - таяние снега и ветра, летом - высокая солнечная активность, а осенью - увеличение осадков. Промышленные зоны и транспортные магистрали оставались ключевыми источниками загрязнения, однако озон формировался даже в удалённых от них районах.

Несмотря на отсутствие систематических превышений ПДК, выявленные сезонные пики концентраций опасных веществ (особенно озона и формальдегида) требуют внимания, так как они могут негативно влиять на здоровье уязвимых групп населения.

Заключение

Проведенное исследование сезонного загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге за период с марта 2024 по февраль 2025 года позволило достичь поставленных целей и решить ключевые задачи. Анализ подтвердил актуальность проблемы загрязнения воздуха в мегаполисе, связанной с высокой плотностью населения, развитой промышленностью и транспортной инфраструктурой, а также климатическими особенностями региона.

Летний и осенний сезоны характеризовались повышенными концентрациями формальдегида и озона из-за фотохимических реакций под воздействием УФ-излучения. Максимальные разовые превышения ПДК для оксида углерода (1.6 ПДК) и формальдегида (1.3 ПДК) были зафиксированы в августе и сентябре соответственно. Весной наблюдалось увеличение концентраций аммиака и взвешенных частиц из-за таяния снежного покрова и слабого ветра. Апрель отметился трехкратным превышением ПДК для взвешенных частиц. Зимний сезон, по данным измерений концентрации, показался самым незагрязненным.

Транспорт и промышленные зоны (например, "Шушары", Колпино) оставались основными источниками оксида углерода, NOx и взвешенных частиц. Озон, как вторичный загрязнитель, формировался даже в удаленных от промышленности районах из-за фотохимических реакций.

Исследование подтвердило гипотезу о значительном влиянии сезонных метеорологических условий на уровень загрязнения воздуха в Санкт-Петербурге. Несмотря на отсутствие систематических превышений ПДК, выявлены критические периоды (весна для взвешенных частиц, лето-осень для озона и формальдегида), требующие усиленного контроля.

Результаты работы согласуются с поставленными задачами:

Оценка метеорологической и экологической обстановки выполнена через анализ данных УГМС и климатических факторов.

Выделены наиболее опасные вещества (озон, формальдегид, CO, PM) и их источники.

Установлены сезонные закономерности, связанные с природными и антропогенными процессами.

Можно выделить следующие рекомендации:

Необходимо усилить мониторинг в периоды неблагоприятных метеоусловий (штили, инверсии), разработать целевые программы по снижению выбросов от транспорта и промышленности, и информировать население о рисках при сезонных пиках загрязнения, особенно для уязвимых групп.

Проведенная работа вносит вклад в понимание механизмов загрязнения атмосферы мегаполисов и может служить основой для дальнейших исследований и экологических инициатив.

Литературные источники

1. Федорищенко В.М. Влияние миграции на население Санкт-Петербурга // Скиф. Вопросы студенческой науки [Электронный ресурс]. 2020. — №12. — Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_44497935_40308205.pdf

2. Рейтинг городов России по уровню загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/f54/Обзор%202022_на%20сайт%20Росгидромета_180823.pdf (дата обращения: 25.01.2025).

3. Пигольцина Г.Б. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области // Общество. Среда. Развитие. [Электронный ресурс]. 2009. — №2. — Режим доступа: https://www.terrahumana.ru/arhiv/09_02/09_02_18.pdf

4. Погода в Санкт-Петербурге по месяцам [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://worldweather.ru/pogoda/russia/saint_petersburg/2024/ (дата обращения: 13.02.2025).

5. А.П. Васильев Распространение загрязнений в атмосфере: учебное пособие // Л: Томский государственный университет. — 2020. — 145с.

6. Архив погоды в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Санкт-Петербурге (дата обращения: 15.02.2025).

7. Кондратьева О.Е., Росляков П.В., Боровкова А.М., Звонкова Н.В., Королев И.В. Экология: учебник и практикум для вузов // Юрайт. — 2025. — 283с.

8. Справка о состоянии загрязнения атмосферного воздуха в Северо-Западном регионе [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=17299 (дата обращения: 25.02.2025).

9. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" // Роспотребнадзор. — 2021. — 469с.

10. Журавлев Г.Г., Горбатенко В.П., Гордов В.П. Распространение примесей в атмосфере и методы их контроля // Л: Томский государственный университет. — 2013. — 412с.

11. Ventusky - погода на карте [Электронный ресурс] — https://www.ventusky.com/ (дата обращения: 15.04.2025).

12. Карта мониторинга загрязнения окружающего воздуха [Электронный ресурс] — http://www.meteo.nw.ru/weather/air_pollution.php (дата обращения: 28.04.2025).

13. Развитие промышленных территорий [Электронный ресурс] — https://dspp.cipit.gov.spb.ru/razvitie-promyshlennyh-territorij/ (дата обращения: 28.04.2025).

14. Информация о загрязнении атмосферного воздуха Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] — http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=1009 (дата обращения: 05.05.2025).