



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра природопользования и устойчивого развития полярных областей

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Магистерская диссертация

На тему Сравнительный анализ современных методов интегральной оценки качества атмосферного воздуха

Исполнитель Гильдеева Ольга Андреевна

Руководитель доктор географических наук, профессор
Стурман Владимир Ицхакович
«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____

кандидат географических наук, профессор

Макеев Вячеслав Михайлович

«6» июня 2017г.

Санкт-Петербург
2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра природопользования и устойчивого развития полярных областей

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Магистерская диссертация

На тему Сравнительный анализ современных методов интегральной оценки качества атмосферного воздуха

Исполнитель Гильдеева Ольга Андреевна

Руководитель доктор географических наук, профессор

Стурман Владимир Ицхакович

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат географических наук, профессор

Макеев Вячеслав Михайлович

«6» июня 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

Введение.....	3
1. Методы изучения качества атмосферного воздуха	6
1.1 Критерии качества атмосферного воздуха	6
1.2 Интегральные оценки качества атмосферного воздуха, используемые в других странах.....	14
1.3 Дистанционные методы изучения качества атмосферного воздуха.....	18
2. Политика и законодательство Европы в области загрязнения атмосферы.....	23
3. Примеры оценки качества атмосферного воздуха городов зарубежных стран при использовании принятых в России обобщающих показателей	28
3.1 Амстердам.....	33
3.2 Авилес	37
3.3 Братислава.....	40
3.4 Брно	43
3.5 Будапешт	46
3.6 Лиссабон	49
3.7 Мадрид	52
3.8 Марсель	56
3.9 Осло	59
3.10 Париж	62
3.11 Прага.....	65
3.12 Таллинн	68
3.13 Тарту.....	71
3.14 Хельсинки	74
3.15 Римини	77
3.16 Роттердам.....	80
3.17 Кельн	83
4. Примеры оценки качества атмосферного воздуха городов России при использовании зарубежных гигиенических стандартов и обобщающих показателей	86
Заключение	90
Список использованных источников	92

Введение

Качество атмосферного воздуха является крайне важным экологическим фактором, от которого зависит здоровье человека и состояние экосистем в целом. Качественным показателем атмосферного воздуха является уровень содержания загрязняющих веществ, чей перечень весьма велик. Принимая во внимание, что атмосфера является динамичной и пространственно-неоднородной средой с мультиполлютантным характером загрязнения – важной задачей выступает использование уровня суммарного загрязнения воздуха. Данная интегральная методика используется в России (КИЗА) и представляет собой наглядный показатель осредненный за различные периоды времени и определяет уровень риска для здоровья человека.

Если вопрос загрязнения атмосферного воздуха к настоящему времени достаточно хорошо изучен, то вопрос сопоставления интегральных оценок разных стран (США, Европейского союза, Канады, Китая и тд.) по гигиеническим нормативам и их степени влияния на здоровье населения во многом явно недостаточно изучен. Это связано, прежде всего, с ограниченным объемом фактических данных, а также со сложностью перевода (Нормативы стран написаны на языке оригинала) и некоторым несовершенством моделей климатических изменений на глобальном и региональном уровнях.

Целью настоящей работы является разработка и сопоставление международных интегральных систем оценки загрязнения атмосферного воздуха, а также гигиенических нормативов. Для достижения поставленной цели, требуется решить следующие задачи:

- провести анализ контактных и дистанционных методов изучения качества атмосферного воздуха;
- изучить информационные ресурсы, оценочные критерии и обобщающие показатели качества атмосферного воздуха, применяемые в разных странах;

- рассчитать качество атмосферного воздуха городов России при использовании зарубежных гигиенических стандартов и обобщающих показателей;

- рассчитать качество атмосферного воздуха городов зарубежных стран при использовании принятых в России гигиенических стандартов и обобщающих показателей;

- проанализировать и разработать предварительные рекомендации по унификации суммарной интегральной оценки атмосферного воздуха.

Объектом исследования являются 25 городов: Амстердам, Авилес, Берлин, Братислава, Брно, Будапешт, Вена, Кельн, Копенгаген, Лиссабон, Любляна, Мадрид, Марсель, Милан, Москва, Осло, Париж, Прага, Римини, Роттердам, Сараево, Таллинн, Тарту, Тронхейм, Хельсинки.

Предметом исследования – оценка интегральных систем загрязнения атмосферного воздуха по гигиеническим стандартам.

Теоретической основой исследования послужили фундаментальные труды такие учёных-географов как С.В. Какарека, М.В Бегак, В.И. Стурман, М.А. Пинигин, А.К. Фролов, Г.С. Фомин, Б. Бретшнайдер, И. Курфюрст и других.

В работе используется аналитический подход. Обработка и анализ данных о загрязнении атмосферного воздуха проводились расчетными, статистическими и графическими методами.

Защищаемые положения:

- целесообразность совершенствования системы интегральной оценки качества атмосферного воздуха в Европе на основе использования Российского комплексного стандарта оценки загрязнения атмосферного воздуха;

- система оценки загрязнения атмосферного воздуха Соединенных Штатов Америки не является совершенной и требует суммарного подхода при оценке загрязнения воздуха, аналогичного КИЗА;

- система он-лайн мониторинга по интернет источнику не совершенна и зачастую спутниковые данные неверно отображаются на сайте;

Личный вклад автора связан со сбором данных, разработкой методики перехода из Российской системы оценки загрязнения атмосферного воздуха в Американскую, выбором материалов исследования, выполнением статистической обработки данных и обсуждении результатов.

Практическая значимость магистерской диссертации заключается в возможности использования аналитических результатов интегральных систем оценки атмосферного воздуха для дальнейшего усовершенствования Российской системы комплексной оценки атмосферного воздуха на примере проанализированных данных.

Работа включает введение, четыре главы, заключение, список использованных источников из 37 наименований, изложена на 92 страницах, в т.ч. содержит 95 рисунков и 61 таблицы.

1. Методы изучения качества атмосферного воздуха

1.1 Критерии качества атмосферного воздуха

Загрязнение атмосферы оказывает отрицательное воздействие на здоровье людей, на биосферу в целом. Оценка опасности атмосферного воздуха основана на определении перечня приоритетных и специфических веществ, контроле их содержания в воздухе населенных мест, использовании санитарно-гигиенических норм, оценке опасности загрязнения воздуха по различным характеристикам и параметрам изменения состояния загрязнения воздуха. Также может проводиться мониторинг опасных событий, связанных с загрязнением атмосферы. [18] Конечным результатом является комплексная оценка загрязнения атмосферы и получение исходных данных для разработки мероприятий по охране атмосферного воздуха. Как правило, государственные и ведомственные программы мониторинга качества атмосферного воздуха включают обязательный контроль приоритетных загрязняющих веществ на стационарных и передвижных постах. В России в этот перечень входят диоксид и монооксид азота, диоксид серы и оксид углерода, взвешенные вещества с размером 10 мкм и менее (PM_{10}) и 2,5 мкм и менее ($PM_{2,5}$), озон, углеводороды, формальдегид, бенз(а)пирен, тяжелые металлы. [4] В соответствии с региональной спецификой населенных пунктов на стационарных постах ведется также наблюдение за специфическими загрязняющими веществами (аммиак, бензол, фенол, сероводород, фтористый водород, толуол и прочее). [4]

Контроль качества воздуха проводится в соответствии с утвержденным перечнем вредных веществ, который принят для каждого города в отдельности. В США в число индикаторных загрязняющих воздух веществ (criteria pollutants) включены озон, монооксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, взвешенные вещества и свинец. [35] В свою очередь, в качестве приоритетных загрязнителей воздуха Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует контролировать взвешенные (твердые) вещества, диоксид азота,

диоксид серы, озон и другие фотохимические оксиданты. [34] Наиболее опасными загрязнителями воздуха являются тяжелые металлы, при определенных концентрациях способные накапливаться в тканях и вызывать ряд заболеваний. Приоритетными для химико-токсикологического анализа среди них являются: свинец (Pb), ртуть (Hg), никель (Ni), кадмий (Cd), цинк (Zn), кобальт (Co), медь (Cu), обладающие высокой токсичностью и миграционной способностью [34].

В 2015 г. В России наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводились в 249 городах, на 688 станциях, из них регулярные наблюдения Росгидромета выполнялись в 230 городах на 629 станциях (рис.1, 2) [10].

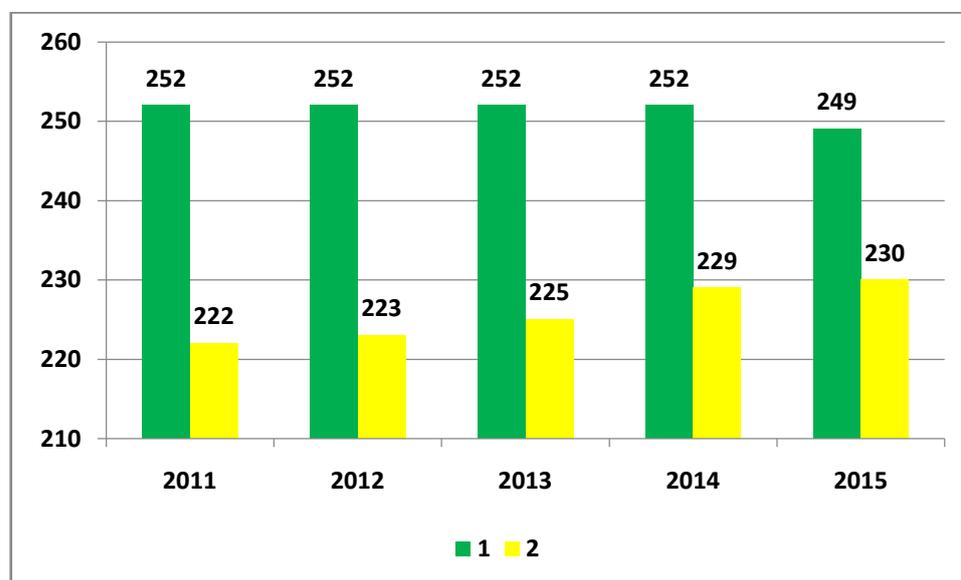


Рис.1 Количество городов с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), в т.ч. на сети Росгидромета (2) [10]

Полученные фактические данные наблюдений по концентрациям веществ сравниваются с нормативами качества атмосферного воздуха. В области охраны атмосферного воздуха нормативы устанавливаются различными документами государственного уровня. [3-10, 20, 21, 24-26] Стандарты качества воздуха, принятые в различных странах по отношению к человеку, приведены в таблице 2. [4, 22, 28, 30, 32] Исторически сложилось, что система экологического и санитарно-гигиенического нормирования, определяющая

качество атмосферного воздуха и регламентирующая воздействие на биологические организмы загрязняющих веществ, в основном ориентируется на несколько видов объектов – человека, животных, растения, деревья, а также биосферу в целом.

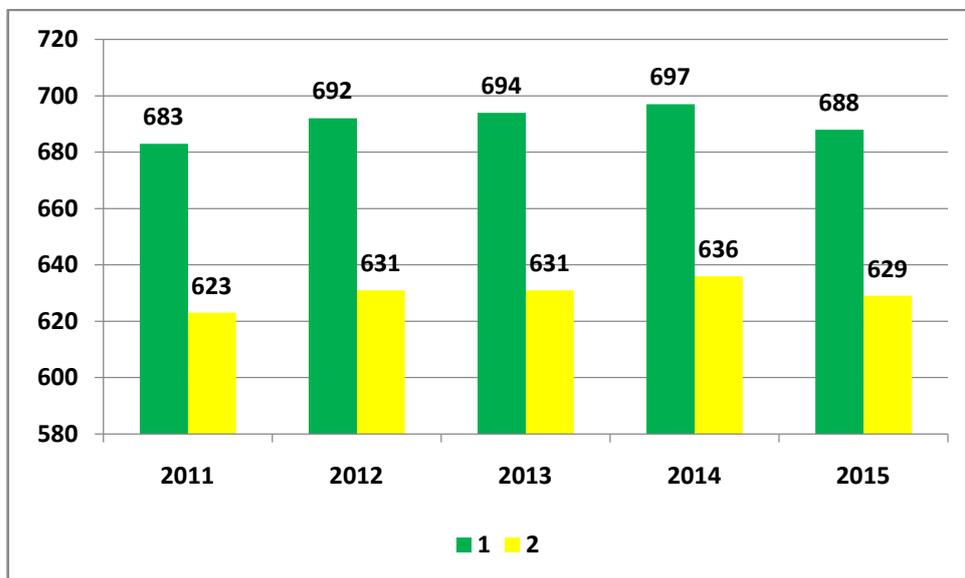


Рис.2 Количество станций в городах с наблюдениями за загрязнением воздуха (1), в т.ч. на сети Росгидромета (2) [10]

При этом для предотвращения негативных последствий в процессе нормирования определяются безопасные уровни воздействия. Научно обоснованные безопасные уровни законодательно утверждаются в каждой стране, благодаря чему они переводятся в ранг национальных санитарно-гигиенических и экологических нормативов. [10, 37] В России к гигиеническим нормативам допустимого содержания веществ в атмосферном воздухе относятся: предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) и различные комплексные показатели. ПДК загрязняющих веществ для оценки качества атмосферного воздуха является наиболее апробированной. ПДК устанавливаются как для каждого вещества в отдельности, так и для совместного присутствия определенного сочетания вредных веществ в атмосферном воздухе. [1, 3-10, 19-21, 23-27]

Предельно-допустимые концентрации веществ в атмосферном воздухе населенных мест регламентируются в виде среднесуточной и максимально-разовой ПДК (табл.1). Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{с.с.}) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. Данная концентрация рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Величина ПДК_{с.с.} в настоящее время выступает в качестве порога нормы для оценки благополучия воздушной среды в жилой зоне. В свою очередь, максимально-разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{м.р.}) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая при вдыхании в течение 20 – 30 минут не должна вызывать рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека. Данную концентрацию устанавливают для тех веществ, которые обладают в большей степени рефлекторным и раздражающим действием. ПДК_{м.р.} необходимы для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга, световой чувствительности глаз и др.) при кратковременном воздействии вредных атмосферных примесей. Величина ПДК_{м.р.} используется при установлении научно-технических нормативов – предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ. [4]

Важной характеристикой является также класс опасности вещества. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 [9] все вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются на четыре класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные, 2 – высоко опасные, 3 – умеренно опасные, 4 класс – мало опасные. В зависимости от показателя вредности атмосферные загрязнители подразделяются на 3 группы [9]: 1) преимущественно рефлекторного действия; 2) преимущественно резорбтивного действия; 3)

рефлекторно-резорбтивного действия. Для веществ первой группы устанавливается только одна максимальная разовая ПДК по рефлекторному действию, для веществ 2-ой группы – среднесуточная ПДК и в дополнение к ней максимальная разовая концентрация на уровне 98% вероятности ее появления в хроническом эксперименте, для веществ 3-ей группы устанавливаются максимальная разовая ПДК по рефлекторному действию и среднесуточная – по резорбтивному. Под рефлекторным действием понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.д. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления ПДКм.р. [4]

Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и от длительности его вдыхания. С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается ПДКс.с. или максимальная 24-часовая и/или средняя за длительный период (год и более). В настоящее время в России разработаны и утверждены предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе населенных мест для 614 вредных веществ [4], а для более чем 1500 веществ приняты ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ). [7] Следует различать понятия ПДК (предельно допустимые концентрации) и предельные концентрации (целевые нормативы качества или предельные показатели). В Европейском союзе нормирование качества атмосферного воздуха осуществляется путем установления именно стандартов качества, основанных на предельных величинах или целевых показателях. Принято, что страны- участницы ЕС могут ввести более строгие предельные или целевые показатели. [1] Например, стратегия качества атмосферного воздуха 2007 года, реализуемая в Великобритании, устанавливает жесткие целевые показатели качества воздуха: с 2009 года предельные значения среднегодовой концентрации свинца

установлены на уровне $0,25 \text{ мкг/м}^3$, в то время как для большинства других стран ЕС это значение составляет $0,50 \text{ мкг/м}^3$; в Шотландии предельное значение среднегодовой концентрации $\text{PM}_{2,5}$ с 2010 года составляет 12 мкг/м^3 , в то время как для большинства стран ЕС – 25 мкг/м^3 и т.п. [37]

Таблица 1. Стандарты качества воздуха в некоторых странах мира

Загрязнитель	Вид нормативного значения за установленный период времени	Численное значение для стран, мг/м^3			Рекомендации ВОЗ, мг/м^3
		Россия	ЕС	США	
Диоксид серы (SO_2)	тах за 20 мин	0,5	0,35**		0,5'
	среднее за 24 ч.	0,05	0,125	0,365	0,125
	среднегодовое	-	0,05	0,087	0,02
Диоксид азота (NO_2)	тах за 20 мин	0,20	0,20**		0,20**
	среднее за 24 ч.	0,04	0,04		0,04
	среднегодовое		0,04	0,1	0,04
Твердые частицы, PM_{10}	тах за 20 мин	0,30	-		
	среднее за 24 ч.	0,06	0,05	0,15	0,05
	среднегодовое		0,04	0,08	0,02
Твердые частицы, $\text{PM}_{2,5}$	тах за 20 мин	0,16	-		
	среднее за 24 ч.	0,035	-	0,035	0,025
	среднегодовое	0,025	0,025	0,015	0,01
Пыль (суммарные взвешенные частицы)	тах за 20 мин	0,5	0,5		
	среднее за 24 ч.	0,15	0,15		
	среднегодовое	-	-		
Свинец (Pb)	тах за 20 мин	0,001	-		
	среднее за 24 ч.	0,0003	-		
	среднегодовое		0,0005	0,0015 ^x	0,0005
Оксид углерода (CO)	тах за 20 мин	5	10 ^{//}	10*	100 ^{xx}
	среднее за 24 ч.	3	-	40**	30**
	среднегодовое	-	-		10*
Бензол (C_6H_6)	тах за 20 мин	0,3	-		
	среднее за 24 ч.	0,1	-		
	среднегодовое	-	0,0005		0,006
Озон (O_3)	тах за 20 мин	0,16	0,18	0,238	0,15-0,2
	среднее за 24 ч.		0,12 ^{//}	0,148	0,1
	среднегодовое	0,03	-		
Мышьяк (As)	тах за 20 мин	-	-		
	среднее за 24 ч.	0,0003	-		
	среднегодовое		$6 \cdot 10^{-6}$		$1,5 \cdot 10^{-6}$
Кадмий (Cd)	тах за 20 мин	-	-		
	среднее за 24 ч.	0,0003	-		
	среднегодовое		$5 \cdot 10^{-6}$		$5 \cdot 10^{-6}$
Никель (Ni)	тах за 20 мин	-	-		
	среднее за 24 ч.	0,001	-		
	среднегодовое		$2 \cdot 10^{-5}$		
Бенз(а)пирен	тах за 20 мин	-	-		

Загрязнитель	Вид нормативного значения за установленный период времени	Численное значение для стран, мг/м ³			Рекомендации ВОЗ, мг/м ³
		Россия	ЕС	США	
(C ₂₀ H ₁₂)	среднее за 24 ч.	10 ⁻⁶	-		-
	среднегодовое		10 ⁻⁶		-

[/] – среднее за 10 мин.; ^{xx} – среднее за 15 мин.; ^{**} – среднее за 1 час; ^{*} – среднее за 8 часов; ^x – среднее за 3 месяца; ^{//} – максимальная концентрация в течении суток, рассчитанная по концентрациям, измеренным с 8-часовым осреднением; [\] – время осреднения: единичный риск/продолжительность жизни; ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения. [12]

В США используются первичные и вторичные стандарты качества атмосферного воздуха. Первичными называются стандарты качества атмосферного воздуха, установленные и подлежащие соблюдению с целью охраны здоровья населения, включая чувствительные группы (к таковым отнесены, например, люди, страдающие астмой, дети, престарелые люди). Вторичными называются стандарты, установленные с целью защиты имущества людей, включая сокращение видимости, ущерб животным, урожаю, растениям и зданиям. [2] Допустимые нормы или правила, которые постепенно стали широко применяться как в Соединенных Штатах, так и в большинстве других стран, – это нормы, ежегодно издаваемые Американской конференцией гигиенистов государственной промышленности (American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH), в ряде случаев они называются предельно допустимыми концентрациями (ПДК, *англ.* – TLVs (threshold limit value – величина порогового предела)) (La Nier 1984; Cook 1986; ACGIH 1994). [32] В настоящее время в зарубежных странах (США, Канада) и международных организациях (ВОЗ, ФАО/ВОЗ, Комиссия европейского сообщества, Организация по экономическому сотрудничеству и развитию и др.) для человека разработаны референтные уровни воздействия для почти 1000 химических соединений. Причем около 20% референтных концентраций обоснованы с использованием клинических и эпидемиологических данных. Для химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух населенных мест,

референтные концентрации дифференцированы в зависимости от продолжительности воздействия (от 5 минут до 24 часов) и степени тяжести возможных изменений состояния здоровья чувствительных подгрупп. [16, 18, 23] Важным биологическим объектом, для которого осуществляется нормирование качества воздуха, является растительность. В большинстве случаев растительность более чувствительна к вредным газам, чем человек. [28, 29] Основой для определения потенциального вредного воздействия загрязнения атмосферы на растительность является безопасный уровень, который представляет собой физические показатели загрязнения воздуха, ниже которых, в соответствии с нынешним уровнем знаний, не наблюдается значительного отрицательного воздействия на эти объекты. [15]

Общая оценка опасности проводится по характеристикам и параметрам изменения состояния загрязнения атмосферного воздуха, по статистическим оценкам опасных событий, связанным с превышением показателей загрязнения санитарных норм, по интегральным показателям и комплексным характеристикам опасности смесей веществ, которые присутствуют в атмосферном воздухе и т.д. Статистические оценки вероятности опасных событий и основные методы статистического анализа данных при мониторинге атмосферного воздуха определены Руководящим документом. [21] При этом данные наблюдений за концентрациями примесей на стационарных и маршрутных постах, а также под факелами промышленных предприятий рассматриваются как совокупность случайных величин – единичных разовых показателей загрязнения атмосферы. Кроме статистических характеристик в разных странах мира существует также множество интегральных и комплексных показателей загрязнения атмосферного воздуха, например, комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА), показатель загрязнения (ПЗ), предельно допустимое загрязнение (ПДЗ), суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха (Р), индекс качества атмосферного воздуха AQI (Air Quality Index), AQHI (Air Quality Health Index), общий индекс качества воздуха CAQI (Common Air Quality Index), индексы АТМО, ВЕЛАТМО, АРІ, Z,

Q, ПI, Н и т.д. [4, 12-14, 33]. Например, в постсоветских странах для соответствующей оценки широко используется комплексный индекс загрязнения атмосферы [21]:

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{\text{ПДКс. с. } i} \right)^{\beta_i}$$

где n – число загрязняющих атмосферу веществ, учитываемых при определении индекса (обычно 5), C_i – среднегодовая концентрация i -ой примеси в воздухе; β_i – показатель вредности i -ой примеси, зависящий от класса опасности вещества (для веществ 1-го класса опасности равен 1,5; для веществ 2-го – 1,3; третьего – 1,0; четвертого – 0,9). Данный индекс, как интегральный показатель, определяет не абсолютный, а относительный уровень загрязнения атмосферного воздуха изучаемой местности. [21]

Таким образом, показатель комплексный ИЗА дает экспертную оценку уровня опасности загрязнения воздуха и никак не связан с риском неблагоприятных эффектов при воздействиях на человека.

Как видно, анализируемый в этом подразделе подход к оценке опасности ориентирован в основном на использование общепринятых санитарно-гигиенических норм (на приоритетность защиты, прежде всего, человека и возможности использования нормативов качества воздуха), а также на обязательном контроле приоритетных веществ и выборочном – специфических загрязнителей атмосферы. Все комплексные индексы представляют собой практически средневзвешенные количественные оценки опасности, основанные на применении тех или иных видов экспертных зависимостей. Причем данные зависимости определяют опасность нескольких воздействующих веществ, исходя из уровня загрязнения воздуха по отношению к действующим нормам.

1.2 Интегральные оценки качества атмосферного воздуха, используемые в других странах

Агентство по охране окружающей среды (АООС) США и его региональные подразделения на регулярной основе рассчитывают и публикуют Индекс качества атмосферного воздуха (Air Quality Index – AQI), что предусмотрено действующими нормативными актами. [32] Индексом качества атмосферного воздуха является интегральный инструмент, который разработан для наглядного предоставления информации широкой общественности о загрязнении воздуха в простой форме. AQIC разработан для основных 5 загрязняющих веществ: озона, взвешенных частиц (ВЧ), оксида углерода, диоксида серы и диоксида азота и берет за основу индексы концентраций. Шкала индексов AQI, подразделяется на 7 интервалов в зависимости от степени воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека. Также, каждому интервалу присвоен цвет в зависимости от степени загрязнения. Информация об AQI собирается регулярно и может наблюдаться в режиме реального времени на сайте <http://aqicn.org> [36], что отвечает действующим нормативам США.

Расчет в AQI включает в себя 3 этапа:

- 1) определить максимальные концентрации по всем измерениям для каждой контролируемой территории и округлить величины;
- 2) найти интервал, в который попадает данная концентрация (табл. 2);
- 3) вычислить индекс по формуле AQI и округление полученного результата;

Таблица 2. Шкала Индекса качества атмосферного воздуха AQI (США) [37]

O ₃ (ppb)	O ₃ (ppb)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	AQI	AQI
$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$I_{low} - I_{high}$	Category
0-54 (8-hr)	-	0.0-12.0 (24-hr)	0-54 (24-hr)	0.0-4.4 (8-hr)	0-35 (1-hr)	0-53 (1-hr)	0-50	Good
55-70 (8-hr)	-	12.1-35.4 (24-hr)	55-154 (24-hr)	4.5-9.4 (8-hr)	36-75 (1-hr)	54-100 (1-hr)	51-100	Moderate
71-85 (8-hr)	125-164 (1-hr)	35.5-55.4 (24-hr)	155-254 (24-hr)	9.5-12.4 (8-hr)	76-185 (1-hr)	101-360 (1-hr)	101-150	Unhealthy for Sensitive Groups
86-105 (8-hr)	165-204 (1-hr)	55.5-150.4 (24-hr)	255-354 (24-hr)	12.5-15.4 (8-hr)	186-304 (1-hr)	361-649 (1-hr)	151-200	Unhealthy
106-200 (8-hr)	205-404 (1-hr)	150.5-250.4 (24-hr)	355-424 (24-hr)	15.5-30.4 (8-hr)	305-604 (24-hr)	650-1249 (1-hr)	201-300	Very Unhealthy
-	405-504 (1-hr)	250.5-350.4 (24-hr)	425-504 (24-hr)	30.5-40.4 (8-hr)	605-804 (24-hr)	1250-1649 (1-hr)	301-400	Hazardous
-	505-604 (1-hr)	350.5-500.4 (24-hr)	505-604 (24-hr)	40.5-50.4 (8-hr)	805-1004 (24-hr)	1650-2049 (1-hr)	401-500	

Формула расчета AQI, согласно [37]:

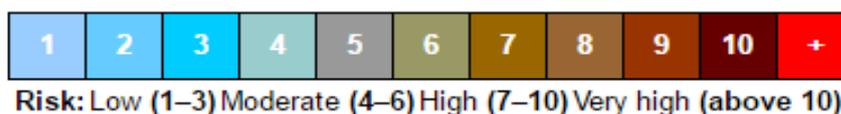
$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

I_p – значение индекса загрязнения; C_p – усредненная концентрация загрязняющего вещества; BP_{Hi} – граница интервала, большая либо равная C_p ; BP_{Lo} – граница интервала, меньше C_p ; I_{Hi} – значение AQI, соответствующее BP_{Hi} ; I_{Lo} – значение AQI, соответствующее BP_{Lo} .

Метеорологическая служба Канады использует для представления результатов мониторинга воздушной среды Индекс качества атмосферного воздуха AQI. Шкала значений AQI изменяется от 0 до 10+. Значение шкалы прямо указывает на возможный риск для здоровья населения. Ключевые загрязнители, подлежащие расчету: диоксида серы, диоксида азота, озона, общего содержания восстановленных соединений серы, оксида углерода и взвешенных частиц (табл. 3). [32]

Таблица 3. Шкала Индекса качества атмосферного воздуха AQI (Канада) [32]

Health Risk	Air Quality Health Index	Health Messages	
		At Risk population	*General Population
Low	1-3	Enjoy your usual outdoor activities.	Ideal air quality for outdoor activities
Moderate	4-6	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you are experiencing symptoms.	No need to modify your usual outdoor activities unless you experience symptoms such as coughing and throat irritation.
High	7-10	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also take it easy.	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.
Very high	Above 10	Avoid strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also avoid outdoor physical exertion.	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors, especially if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.



Шкала AQI имеет следующие уровни риска: 1-3 – низкий уровень; 4-6 – удовлетворительный уровень; 7-10 – высокий уровень; выше 10 – очень высокий уровень.

Министерство охраны окружающей среды определяет индекс загрязнения воздуха, интерпретируя данные сети станций мониторинга. Данные находятся в

открытом доступе, а также сообщаются населению при помощи средств массовой информации. [32]

В законодательстве Европейского союза отсутствует процедура интегральной оценки загрязнения воздуха. Однако, в рамках научных проектов, финансируемых Евросоюзом, был разработан аналог AQI - общий индекс качества воздуха CAQI (Common Air Quality Index). Целью данной разработки является предоставление информации о качестве атмосферного воздуха в европейских городах в сравнительном и понятном виде. Индекс CAQI (Common Air Quality Index) представляет собой расчет индексов для трех временных шкал: часового индекса, суточного индекса и годового индекса. Часовой и суточный индексы позволяют оценить краткосрочные воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье. Годовой индекс направлен на оценку долгосрочного воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения [33]. Данные индексы рассчитываются и обновляются каждый день на основе данных AIRBASE, а также публикуются для открытого доступа на сайте <http://www.citeair.eu/>. [31]

Стоит отметить, что предложенные значения индекса CAQI публикуются исключительно для наглядной демонстрации динамики загрязнения атмосферного воздуха и не предназначены для последующей оценки соответствия экологической ситуации нормативным требованиям ЕС. [13, 14]

Pollution	Index Value
Very low	0/25
Low	25/50
Medium	50/75
High	75/100
Very high	>100

Рис. 3. Шкала Индекса качества атмосферного воздуха CAQI [37]

Методика расчета индекса CAQI: часовой и суточный индексы рассчитываются по одной методике и шкале от 0 до 100. Шкала имеет пять уровней (классов) загрязнения: 0-25 – очень низкий уровень, 25–50 – низкий

уровень, 50–75 – средний уровень, 75–100 – высокий уровень, >100 – очень высокий уровень (рис. 3). При расчете индексов CAQI в первую очередь во внимание принимаются наиболее беспокоящие Европейское сообщество загрязняющие вещества: PM₁₀, O₃ и NO₂. В качестве дополнительных рассматриваются PM_{2.5}, CO, и SO₂ (в если данные в открытом доступе). Расчет индексов выполняется автоматически на основании доступной информации по станциям измерительной сети. Раздельно рассчитываются индексы для дорожных (дорожный индекс) и фоновых (фоновый индекс) станций. Схема расчета индексов приведена в таблице 4. На первом этапе рассчитывают индексы для каждого вещества. Загрязняющее вещество с преимущественной концентрацией относительно нормативов обуславливает значение общего индекса. Годовой общий индекс качества воздуха также рассчитывается для фоновых и дорожных условий и характеризует отклонение от нормативов и целевых показателей качества воздуха ЕС. Если индекс выше 1, то для одного или более загрязняющего вещества нормативы содержания не выполняются; если индекс менее 1, то качество атмосферного воздуха в целом укладывается в нормативы. [33, 37]

Таблица 4. Схема расчета CAQI (Европейский союз)[13]

Класс индекса	Сетка	Дорожный индекс						Фоновый индекс							
		Обязательное ЗВ			Вспомогательное ЗВ			Обязательное ЗВ				Вспомогательное ЗВ			
		BЧ10		CO	BЧ2.5		CO	BЧ10		O ₃	BЧ2.5		CO	SO ₂	
		NO ₂	1-часовая		24-часовая	1-часовая		24-часовая	NO ₂		1-часовая	24-часовая			1-часовая
Очень высокий	>100	>400	>180	>100	>110	>60	>20000	>400	>180	>100	>240	>110	>60	>20000	>500
Высокий	100	400	180	100	110	60	20000	400	180	100	240	110	60	20000	500
	75	200	90	50	55	30	10000	200	90	50	180	55	30	10000	350
Средний	75	200	90	50	55	30	10000	200	90	50	180	55	30	10000	350
	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500	100
Низкий	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500	100
	25	50	25	15	15	10	5000	50	25	15	60	15	10	5000	50
Очень низкий	25	50	25	15	15	10	5000	50	25	15	60	15	10	5000	50
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1.3 Дистанционные методы изучения качества атмосферного воздуха

На сегодняшний день применение пробоотборных аналитических методов контроля в ряде случаев невозможно (например, когда затруднен из-за физической недоступности объект контроля) или нецелесообразно из-за лабильности проб или по другим причинам.

Разработка методов и аппаратуры дистанционного, беспробоотборного неконтактного химического анализа атмосферы переживает бурный скачек развития, что продиктовано необходимостью создания мобильных, автоматизированных систем контроля состава воздушной среды, способных работать в режиме реального времени.

«Среди разработок аппаратуры дистанционного анализа лидирующее положение занимают оптические методы контроля состава атмосферы, основанные на регистрации и последующем анализе электромагнитного излучения». [11]

«Оптические системы дистанционного мониторинга делятся на две группы: системы получения спектральных характеристик объекта и системы, формирующие его изображение. Системы спектральных данных, как правило, не формируют изображение объекта, а дают детальную спектральную информацию об объекте наблюдения и получают ее путем сканирования по длинам волн в рамках заданного диапазона спектра». [11]

Спектральные оптические методы и системы, применяемые для определения природных сред, подразделяются на два основных класса:

–пассивные методы, регистрирующие и анализирующие прямо прошедшее (или рассеянное) солнечное или собственное тепловое излучение исследуемого объекта;

–активные методы, использующие внешние (искусственные) источники подсветки (широкополосные источники излучения – УФ- и видимые источники света, ИК прожектора и т.п., так и селективные – светодиоды, лазеры). [17]

Системы, которые формируют изображения, также делятся на два основных типа: сканирующие и кадровые.

«Кадровые системы – это двумерные структуры из фоточувствительных элементов, называемых пикселями, с соответствующей системой электронного опроса, которая формирует и передает для дальнейшей обработки единицу изображения – кадр. Сканирующие системы регистрируют элементы изображения последовательно и только затем формируется сам кадр. Очевидно, что кадр изображения, как правило, всегда спектрально ограничен или за счет ограниченности самой спектральной характеристики фотоприемного устройства, или за счет применения специальных светофильтров». [11]

По области применения системы оптического дистанционного зондирования делятся на системы локального и глобального контроля наблюдения. К глобальным относятся спутниковые системы наблюдения: спектральная фотосъемка в видимом и ИК-диапазонах спектра (кадровая система), светосильная спектральная аппаратура.

Главной особенностью и достижением глобального мониторинга является широкая зона охвата поверхности Земли, а также глобальный характер решаемых задач. Одними из важнейших задач являются наблюдения выбросов аэрозолей и токсичных веществ промышленными зонами, как в отдельных странах, так и в крупных регионах.

При использовании методов дистанционной индикации газов информация дистанционного зондирования Земли из космоса позволяет решать следующие задачи в интересах контроля загрязнения окружающей среды:

– Определять общее содержание и распределение газов в атмосфере по вертикали, что дает возможность установить: глобальный уровень загрязнения; региональное рассеяние загрязнителей и их циркуляцию; пространственное и временное изменение содержания загрязняющих веществ над городами, сельскохозяйственными угодьями и океаническими районами; механизм выпадений загрязняющих веществ; особенности протекания атмосферных химических процессов; особенности формирования транснациональных потоков загрязняющих веществ.

– Осуществлять картографирование местоположения локальных источников загрязнения.

– Осуществлять наблюдение за отдаленными районами захоронения токсичных веществ. [11]

Целый ряд спутников, оснащенных приборами дистанционного зондирования, выведен на орбиту специально для получения разносторонней геофизической информации. Одним из таких спутников является Sentinel-5 Precursor (Sentinel 5-P)– европейский спутник, который пополнил космическое созвездие спутников ДЗЗ «Sentinel». Космические аппараты «Sentinel» образуют космический сегмент глобальной системы мониторинга окружающей среды и безопасности «Copernicus» (GMES). Съёмки ведут в ультрафиолетовом (УФ), видимом и ближнем ИК, среднем ИК, тепловом ИК и радиоволновом диапазонах спектра.«Sentinel 5-P» был создан компанией «EADS Astrium» на базе спутниковой платформы «AstroSat-250M». [34]

Спутник был выведен на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой в 824 км с помощью ракеты-носителя «Рокот» в 2016 году. Запуск спутника должен помочь заполнить все пробелы при помощи получения данных ДЗЗ связанных с потерей спутника Envisat (в частности с его инструмента SCIAMACHY).

В качестве важной и крайне полезной нагрузки на борту спутника установлен инструмент «Tropomi», который предназначен для атмосферного мониторинга с высоким временным и спектральным разрешением (рис.4).

Спутник Sentinel-5 Precursor занимается измерением химическим составом атмосферы с высоким временным и пространственным разрешением.

Основные задачи Sentinel 5-P:

- Исследования состава атмосферы (включая SO₂, NO₂, CO и аэрозоля);
- Тропосферный мониторинг и измерения качества воздуха;
- Мониторинг количества озона;
- Мониторинг климата, на основе изучения атмосферных химических веществ. [34]

«На Землю передается космический снимок в четырех каналах в спектральном диапазоне 270-495 nm, 710-775 nm, 2305-2385 nm и спектральным разрешением 0.25-0.55 nm.». [34]

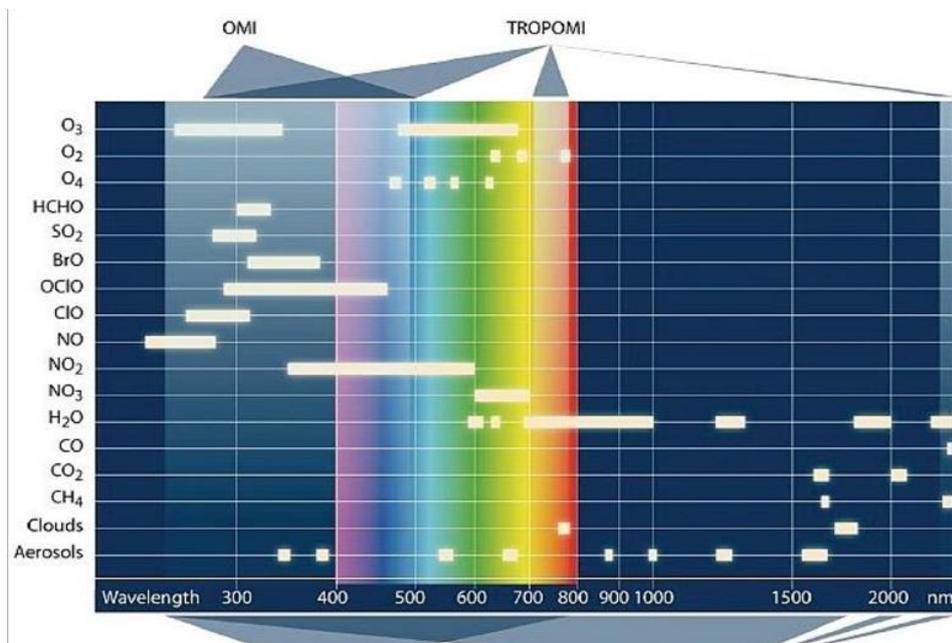


Рис.4 Спектральный диапазон работы инструмента TROPOMI в спутнике Sentinel 5-P [34]

Следует отметить, что одним из главных физических требований к дистанционным средствам контроля и обнаружения загрязнителей атмосферного воздуха является обеспечения максимально возможной величины светосилы, что обусловлено изначально невысокими значениями величин спектральной яркости излучения объектов, особенно для пассивной методики наблюдения. Отсюда следует важнейшее требование – соответствие спектральной чувствительности фотоприемного устройства (ФПУ) максимуму спектральной яркости объекта при максимально возможной величине его обнаружительной способности. В конечном итоге аппаратная светосила и обнаружительная способность ФПУ определяют основные характеристики комплекса – соотношение сигнал/шум в обрабатываемом сигнале и величины минимально обнаружимых концентраций загрязняющих веществ. [11]

2. Политика и законодательство Европы в области загрязнения атмосферы

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в Европе является хорошо проработанной областью экологической политики. В течение ряда десятилетий политика в этой области способствовала сокращению выбросов загрязнителей воздуха и привела к заметному улучшению качества воздуха. [33]

Основа политики ЕС в области чистого воздуха устанавливает стандарты качества воздуха в Европе, укрепляя национальную политику в отношении тех аспектов проблемы качества воздуха, которые государства-члены не могут эффективно и оперативно решить самостоятельно. Политика также направлена на выполнение международных обязательств ЕС в области загрязнения воздуха и на интеграцию требований в области охраны окружающей среды, например, в отраслях промышленности, энергетики, транспорта и сельского хозяйства.

Седьмая Программа действий в области окружающей среды (The seventh Environment Action Programme) «Живи хорошо, в пределах нашей планеты» (EU, 2013), которая запущена до 2020 года, признает долгосрочную цель в рамках ЕС по достижению «уровней качества воздуха, которые не приводят к росту значительных негативных воздействий и рискам для здоровья человека и окружающей среды». В этой программе также содержатся краткосрочные задачи, которые должны быть выполнены к 2020 году: [30]

- Улучшение качества атмосферного воздуха и приближение значений к рекомендованным уровням Всемирной организации здравоохранения (World Health Organization);

- Сокращение загрязнения воздуха и его воздействий на экосистемы и биоразнообразие.

В соответствии с этими целями законодательство ЕС в области борьбы с загрязнением воздуха за последние годы следовало двойному подходу к

внедрению как стандартов качества воздуха, так и мер контроля за сокращением выбросов.

Основными политическими инструментами по загрязнению атмосферного воздуха в ЕС являются: Директивы по качеству атмосферного воздуха (the Ambient Air Quality Directives) (EU, 2004, 2008) и Директива о предельно допустимых значениях выбросов на национальном уровне (the National Emission Ceilings (NEC) Directive) (EU, 2001), в которые будут внесены изменения в ближайшее время. [30]

В законодательстве, посвященном конкретным источникам, основное внимание уделяется промышленным выбросам, выбросам автомобильных и внедорожных автомобилей, стандартам качества топлива и т. д. Помимо ЕС, выбросы также рассматриваются и в рамках различных международных конвенций, включая Конвенцию ООН (United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)) о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния ((CLRTAP) 1979 г.). Стоит отметить так же различные протоколы к данной конвенции, в число которых входит Гётеборгский протокол (Gothenburg Protocol) с внесенными в него в 2012 году поправками, который является ключевым в сокращении выбросов отдельных загрязнителей в общеевропейском регионе. Кроме того, используются правовые инструменты для снижения воздействия на окружающую среду от различных видов деятельности или для содействия экологически безопасному поведению, а также косвенно содействуют минимизации загрязнения воздуха. В таблице 5 приведен охват директив ЕС и международных конвенций, регулирующих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и атмосферных загрязнителей в окружающей среде. Список не является исчерпывающим. [30]

Пакет мер в отношении экологически чистого воздуха («The Clean Air Policy Package») для Европы, который был опубликован Европейской комиссией в конце 2013 года, направлен на обеспечение максимально полного соблюдения действующего законодательства к 2020 году и дальнейшее улучшение качества воздуха в Европе к 2030 году таким образом, чтобы

преждевременная смертность сократилась в половину числа смертности в 2005 году (European Commission, 2013г). [30]

Таблица 5. Законодательство в Европе, регулирующее выбросы и атмосферные загрязнители [30]

	Pollutants	PM	O ₃	NO ₂ NO _x NH ₃	SO ₂ SO _x	CO	Heavy metals	BaP PAH	VOCs
	Policies								
Directives regulating ambient air quality	2008/50/EC (EU, 2008)	PM	O ₃	NO ₂ , NO _x	SO ₂	CO	Pb		Benzene
	2004/107/EC (EU, 2004)						As, Cd, Hg, Ni	BaP	
Directives regulating emissions of air pollutants	(EU) 2015/2193 (EU, 2015)	PM		NO _x	SO ₂				
	2001/81/EC (EU, 2001)	(*)	(*)	NO _x , NH ₃	SO ₂				NMVOС
	2010/75/EU (EU, 2010a)	PM	(*)	NO _x , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V		VOC
	European standards on road vehicle emissions (*)	PM	(*)	NO _x		CO			VOC, NMVOС
	2012/46/EU (EU, 2012)	PM		NO _x		CO			HC
	94/63/EC (EU, 1994)	(*)	(*)						VOC
	2009/126/EC (EU, 2009c)	(*)	(*)						VOC
	1999/13/EC (EU, 1999a)	(*)	(*)						VOC
	91/676/EEC (EU, 1991)				NH ₃				
Directives regulating fuel quality	1999/32/EC (EU, 1999b)	(*)			S				
	2003/17/EC (EU, 2003)	(*)	(*)		S		Pb	PAH	Benzene, VOC
International conventions	MARPOL 73/78 (IMO, 1978)	PM	(*)	NO _x	SO _x				VOC
	CLRTAP (UNECE, 1979)	PM (*)	(*)	NO ₂ , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Hg, Pb	BaP	NMVOС

Результат введения «The Clean Air Policy Package»:

– В 2015 году вступила в силу директива (ЕС) 2015/2193 (Directive (EU) 2015/2193) об ограничении выбросов некоторых загрязняющих веществ в атмосферу со средних установок сжигания (тепловая мощность от 1 до 50 тепловых мегаватт) (EU, 2015). Он регулирует выбросы SO₂, NO_x и PM с целью сокращения этих выбросов и рисков, которые они представляют для здоровья человека и окружающей среды. В нем также излагаются правила контроля выбросов окиси углерода (CO). [30]

– Недавно было достигнуто соглашение о пересмотре Директивы NEC 2001 года (2001/81/EC). Новая директива, касающаяся сокращения

национальных выбросов некоторых загрязняющих веществ атмосферы, устанавливает новые национальные обязательства по сокращению выбросов, которые вступит в силу с 2020 года, и еще более строгие требования с 2030 года по SO₂, NO_x, неметановым летучим органическим соединением (NMVOCs), NH₃ и PM_{2,5}. Согласно новым требованиям, воздействие загрязнения воздуха на здоровье, по предварительным оценкам, будет сокращено примерно на 50% в 2030 году (по сравнению с 2005 г.). [30]

Помимо перечисленных критериев контроля, подготовлен новый пакет мер по усовершенствованию процедуры проверки выбросов в процессе эксплуатации (Real Driving Emissions (RDE)) для пассажирских транспортных средств, который вступит в силу с 1 сентября 2017 года. Данные меры направлены на уменьшение настоящих расхождений между выбросами, измеренными непосредственно во время вождения автомобиля, и измеренными в лаборатории. Таким образом, новая процедура проверки выбросов в процессе эксплуатации (Real Driving Emissions (RDE)) поможет обеспечить соответствие показателей измеренных во время лабораторных испытаний для ТО с измеренными показателями в реальных дорожных условиях с учетом «фактора соответствия» для выбросов NO_x, а на следующем этапе также для количества выбросов твердых частиц. [30]

Недавно было согласовано новое положение о выбросах внедорожной подвижной техники (Regulation on non-road mobile machinery (NRMM)) в рамках ЕС. Данное постановление обновляет более раннюю директиву NRMM (97/68/EC; EU, 1997 с поправками, содержащимися в Директиве 2012/46/EU; EU, 2012) путем введения более строгих ограничений на выбросы CO, углеводородов, NO_x и PM, начиная с 2018 года. В этом постановлении рассматриваются выбросы в зависимости от классов двигателей и ряда оборудования, включая суда внутреннего водного транспорта, газонокосилки и бульдозеры. [30, 37]

3. Примеры оценки качества атмосферного воздуха городов зарубежных стран при использовании принятых в России обобщающих показателей

Для решения задачи исследования были проанализированы данные по 25 городам Европы (табл. 6) в течение трех месяцев – с марта по май 2017 г. Данные были собраны с интернет ресурса «Качество воздуха во всем мире» <http://aqicn.org> [36] в режиме реального времени. Режим обновления данных – 48 часов. Данные приводятся за каждый час (рис. 4). Значения сайта преобразованы из мкг/м^3 в уровни AQI с использованием стандарта Агентства по охране окружающей среды (EPA).

Получившаяся выборка сузила количество городов для проведения дальнейших расчетов, так как для достижения целей работы необходимо было учитывать не менее 5 основных загрязнителей. По ряду городов анализ все же был произведен по 4м показателям. Основными компонентами по указанным городам стали: $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO .

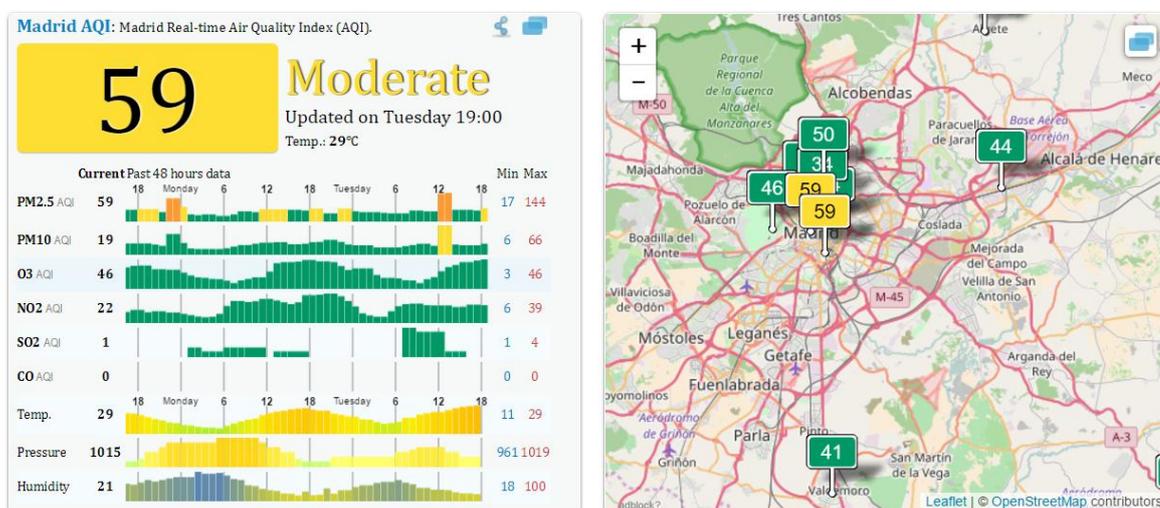


Рис.4. Данные по загрязнению, г.Мадрид (<http://aqicn.org>)

Таким образом основой для выполнения работы стали следующие города:

1. Амстердам (Нидерланды)
2. Авилес (Испания)
3. Братислава (Словакия)

4. Брно (Чехия)
5. Будапешт (Румыния)
6. Кельн (Германия)
7. Лиссабон (Португалия)
8. Мадрид (Испания)
9. Марсель (Франция)
10. Осло (Норвегия)
11. Париж (Франция)
12. Прага (Чехия)
13. Римини (Италия)
14. Роттердам (Нидерланды)
15. Таллинн (Эстония)
16. Тарту (Эстония)
17. Хельсинки (Финляндия)

Таблица 6. Список проанализированных городов

	Город	PM _{2,5}	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO
1.	Амстердам	+	+	+	+	+	+
2.	Авилес	+	+	+	+	+	0
3.	Берлин	Н	+	+	+	Н	Н
4.	Братислава	+	+	Н	+	+	+
5.	Брно	+	+	+	+	+	Н
6.	Будапешт	Н	+	+	+	+	+
7.	Вена	+	+	Н	+	Н	0
8.	Кельн	Н	+	+	+	+	Н
9.	Копенгаген	+	+	+	+	+	+
10.	Лиссабон	+	+	+	+	+	Н
11.	Любляна	Н	+	+	+	+	0
12.	Мадрид	+	+	+	+	+	0
13.	Марсель	+	+	+	+	+	Н
14.	Милан	+	+	Н	+	Н	0
15.	Москва	+	Н	+	+	+	+
16.	Осло	+	+	+	+	+	0
17.	Париж	+	+	+	+	+	+
18.	Прага	+	+	+	+	+	Н
19.	Римини	+	+	+	+	Н	0
20.	Роттердам	+	+	+	+	Н	Н

	Город	PM _{2,5}	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO
21.	Сараево	Н	+	+	+	Н	0
22.	Таллинн	+	+	+	+	+	Н
23.	Таргу	+	+	+	+	+	Н
24.	Тронхейм	+	+	Н	+	Н	Н
25.	Хельсинки	+	+	Н	+	+	Н

Все данные переносились в таблицу. Затем были рассчитаны среднесуточные значения AQI, которым присваивались цвета в соответствии со шкалой AQI (рис. 5). Система цветовых обозначений в таблице соответствует ступени опасности для здоровья человека каждого из ЗВ. Были построены графики «AQI ЗВ».

Индекс качества воздуха (ИКВ = AQI) Значения		Уровни концерна здравоохранения
0 - 50	хорошо	Качество воздуха считается удовлетворительным, и загрязнение воздуха представляется незначительным в пределах нормы.
51 -100	удовлетворительное	Качество воздуха является приемлемым; однако некоторые загрязнители могут представлять опасность для людей, являющихся особо чувствительным к загрязнению воздуха.
101-150	Нездоровый для чувствительных групп	Может оказывать эффект на особо чувствительную группу лиц. На среднего представителя не оказывает видимого воздействия.
151-200	нездоровый	Каждый может начать испытывать последствия для своего здоровья; особо чувствительные люди могут испытывать более серьезные последствия.
201-300	Очень Нездоровый	Опасность для здоровья от чрезвычайных условий. Это отразится, вероятно, на всем населении.
300+	опасный	Опасность для здоровья: каждый человек может испытывать более серьезные последствия для здоровья

Рис. 5. AQI индекс

Далее данные необходимо было привести в соответствие с российским стандартом в мкг/м³, что явилось одной из основных сложностей в работе. Конвертация производилась для каждого конкретного значения с использованием шкалы индекса качества атмосферного воздуха (табл. 2). Таким образом для каждого конкретного значения внутри каждого вещества определялся интервал и составлялось уравнение, обратное формуле расчета AQI. Искомым являлась величина C_p :

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Перевод осуществлялся для:

- PM_{2,5} из AQI → мкг/м³;
- PM₁₀ из AQI → мкг/м³;
- O₃ из AQI → ppb → мкг/м³;
- CO из AQI → в ppm → мкг/м³;
- SO₂ из AQI → в ppb → мкг/м³;
- NO₂ из AQI → в ppb → мкг/м³.

Для перевода из ppb использовались коэффициенты из табл.7 (ГОСТ 51330.19-99, ГОСТ 12.1.005-88). Хотя, в литературе были найдены разночтения по этому вопросу.

Таблица 7. Переводные коэффициенты газов

Газ или пары вещества	Переводной коэффициент К
	мг/м ³ =К*ppb
Диоксид азота	1,25
Диоксид серы	2,66
Озон	2
Оксид углерода	1,17

Далее был произведен расчет комплексного индекса загрязнения атмосферы по формуле [2]:

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{\text{ПДКс.с.}i} \right)^{\beta_i}$$

Данный индекс, как указано выше, является интегральным показателем и определяет относительный уровень загрязнения атмосферного воздуха изучаемой местности.

Был определен «вклад» каждого загрязнителя в КИЗА (графики «Доля ЗВ в КИЗА») и процентное распределение загрязнителей внутри значений КИЗА (графики «Распределение ЗВ в КИЗА»).

В результате расчетов была получена оценка загрязнения некоторых европейских городов по российским стандартам.

Расчеты и краткий анализ по 17ти европейским городам представлен ниже.

3.1 Амстердам

В г.Амстердам (Нидерланды) по данным сайта находятся 7 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Amsterdam» (aquicn.org/city/amsterdam), представленный следующими компонентами: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO .

В таблице 8 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.7) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 75; 2. PM_{10} - 32; 3. NO_2 - 28; 4. O_3 - 22; 5. CO - 4; SO_2 – 2 (рис.8).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис.6).

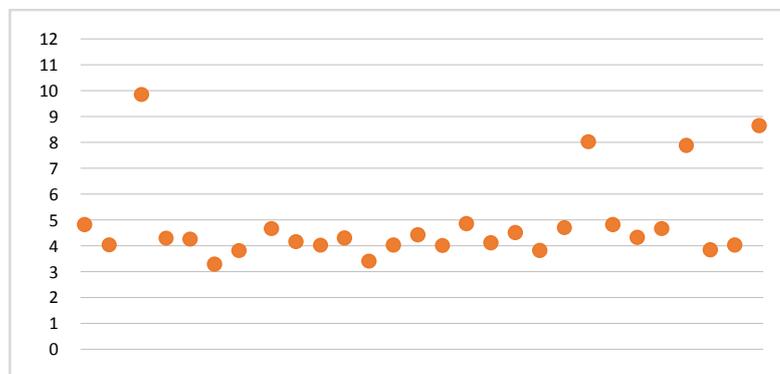


Рис. 6. Динамика КИЗА. Амстердам. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 3,3 до 9,9, что соответствует низкому уровню загрязнения атмосферы. Однако, 4 показания КИЗА находятся в зоне, соответствующей высокому уровню загрязнения. Данные значения связаны с увеличением содержания O_3 (до 3-3,8 ПДК_{с.с}) в соответствующие периоды (табл. 10).

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл. 9, рис.9,10):

1. O_3 -47%; 2. NO_2 - 20%; 3. $PM_{2,5}$ – 15%; 4. PM_{10} - 13%; 5. CO - 4%; 6. SO_2 - 2%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений (табл.

10). NO_2 в отдельные периоды достигает значений до 1,4 ПДК_{с.с.}. ПДК_{с.с.} остальных ЗВ, а именно: PM_{10} , SO_2 , CO за весь период наблюдений меньше 1.

Таблица 8. Расчетные среднесуточные значения AQI. Амстердам. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	97	93	77	89	74	47	71	109	59	104	63	52	89	78	84	99	83	83	69	62	70	81	67	58	79	53	59	56
PM ₁₀ *	51	37	32	41	29	27	23	32	27	28	31	32	36	29	42	51	45	29	42	37	31	42	24	23	28	19	31	17
O ₃ ***	16	15	49	16	21	19	19	20	21	18	21	19	14	21	15	16	14	21	15	24	42	22	23	26	39	22	20	47
NO ₂ **	42	32	27	33	24	18	25	27	27	22	27	18	33	27	32	42	33	27	32	25	29	30	24	22	35	21	23	22
SO ₂ **	2	1	3	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	1	2	3	2	1	2	1	2	1	3	2	4	7	4
CO***	6	6	6	6	5	3	4	5	5	4	5	3	6	5	6	6	6	5	6	4	4	4	4	4	5	4	4	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

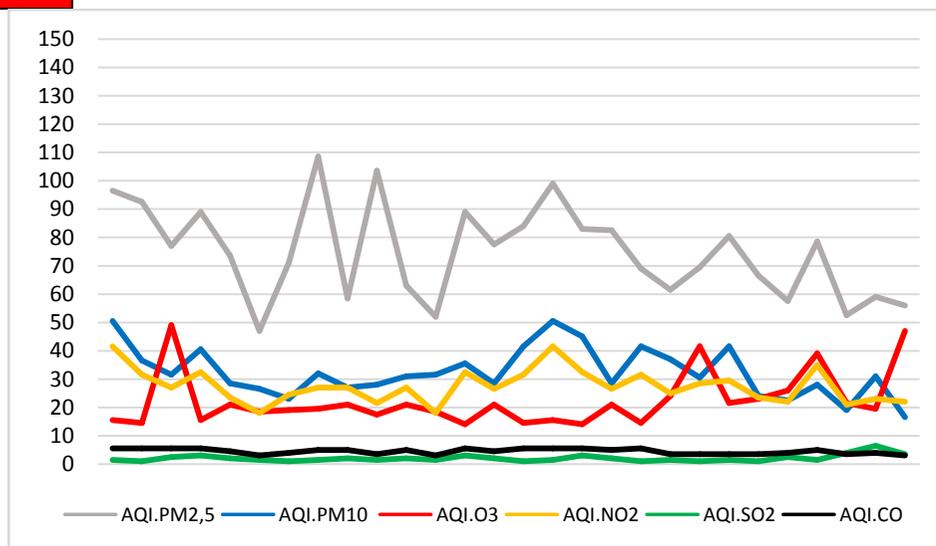


Рис. 7. AQI 3В. Амстердам. Весна 2017 г.

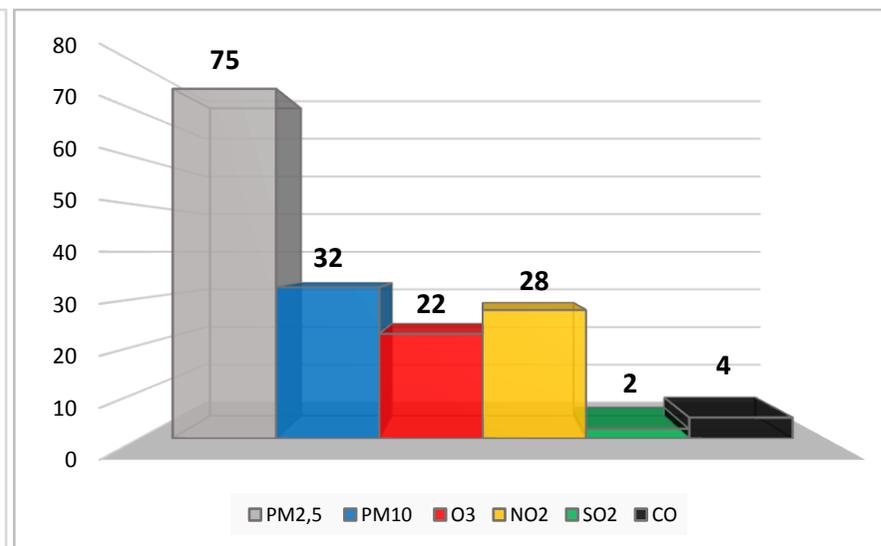


Рис. 8 Средний AQI за квартал. Амстердам. Весна 2017 г.

Таблица 9. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Амстердам. Весна 2017 г.

КИЗА	4,8	4,1	9,9	4,3	4,3	3,3	3,8	4,7	4,2	4,0	4,3	3,4	4,0	4,4	4,0	4,9	4,1	4,5	3,8	4,7	8,0	4,8	4,3	4,7	7,9	3,8	4,0	8,6
PM _{2,5}	20	22	7	20	15	10	16	24	11	26	12	10	21	16	20	21	19	17	15	10	7	15	13	9	9	10	11	5
PM ₁₀	19	16	6	17	12	14	11	12	12	12	13	17	16	12	19	19	20	11	20	14	7	16	10	9	6	9	14	3
O ₃	27	29	75	31	49	52	47	40	50	39	48	50	28	47	30	27	27	46	31	54	72	45	55	61	67	56	46	80
NO ₂	29	26	9	25	18	18	21	19	21	18	21	17	27	20	26	28	26	19	27	18	12	20	18	16	15	18	19	8
SO ₂	1	1	1	3	2	2	1	1	2	1	2	2	3	2	1	1	3	2	1	1	0	1	1	2	1	4	6	2
CO	4	5	2	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	6	3	2	3	3	3	2	4	4	1

Таблица 10. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Амстердам. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	1,0	0,9	0,7	0,9	0,7	0,3	0,6	1,1	0,4	1,0	0,5	0,4	0,9	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,7	0,4	0,5	0,4
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,9	0,7	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,9	0,8	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,4	0,4	0,5	0,3	0,6	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	1,2	1,1	3,8	1,2	1,6	1,4	1,5	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,1	1,6	1,1	1,2	1,1	1,6	1,1	1,9	3,2	1,7	1,8	2,0	3,0	1,7	1,5	3,6
ПДК _{с.с} NO ₂	1,4	1,0	0,9	1,1	0,8	0,6	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,6	1,1	0,9	1,0	1,4	1,1	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	1,2	0,7	0,8	0,7

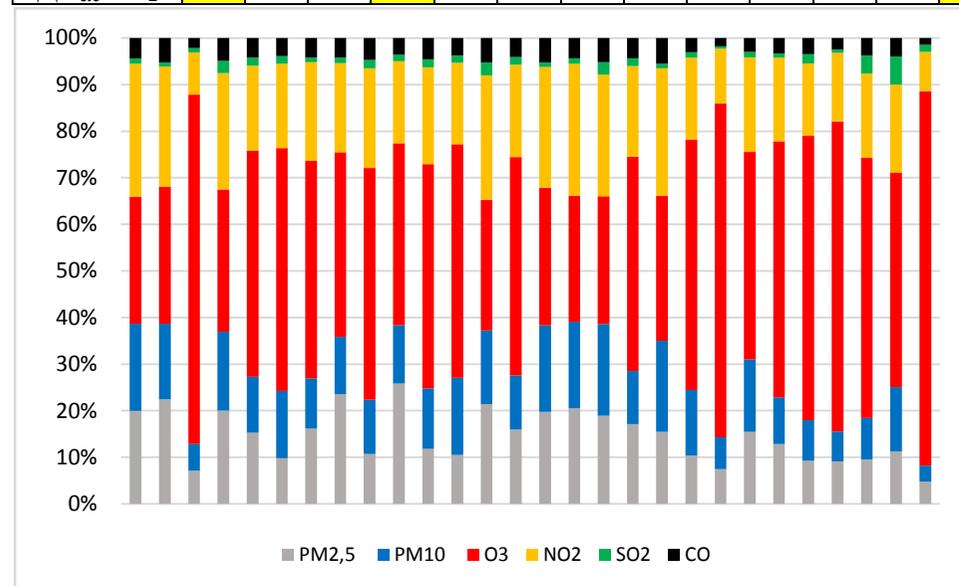


Рис.9. Доля ЗВ в КИЗА. Амстердам. Весна 2017 г.

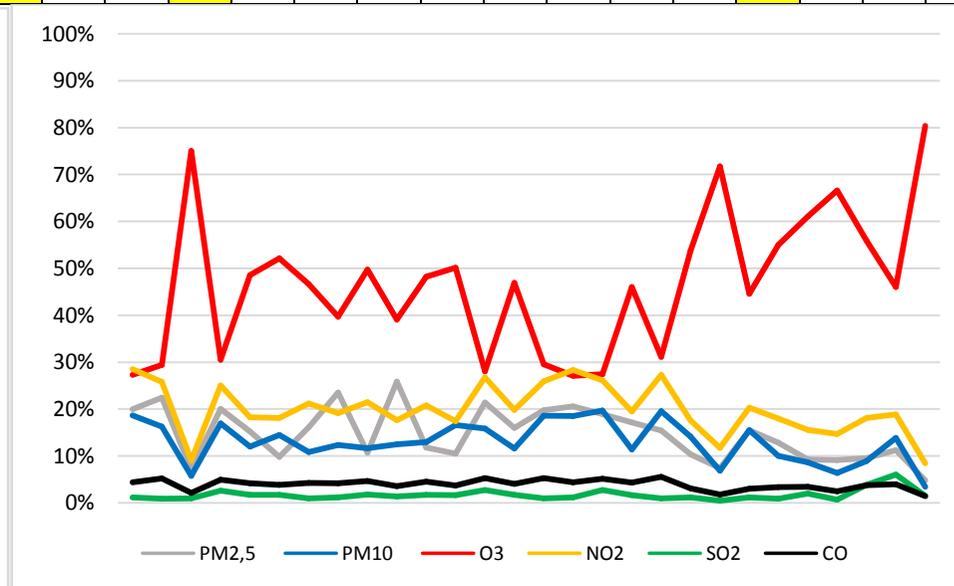


Рис.10. Распределение ЗВ в КИЗА. Амстердам. Весна 2017 г.

3.2 Авилес

В г.Авилес (Испания) по данным сайта находятся 2 пункта мониторинга. Мной был выбран пункт «Ллано Понте» (aquicn.org/city/spain/fsturias/llano-ponte), представленный достаточным набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO . Данные концентраций CO по всему периоду наблюдения равны 0.

В таблице 11 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.12) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 56; 2. PM_{10} - 39; 3. NO_2 - 21; 4. O_3 - 17; 5. SO_2 – 11; 6. CO – 0 (рис.13).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис.11).

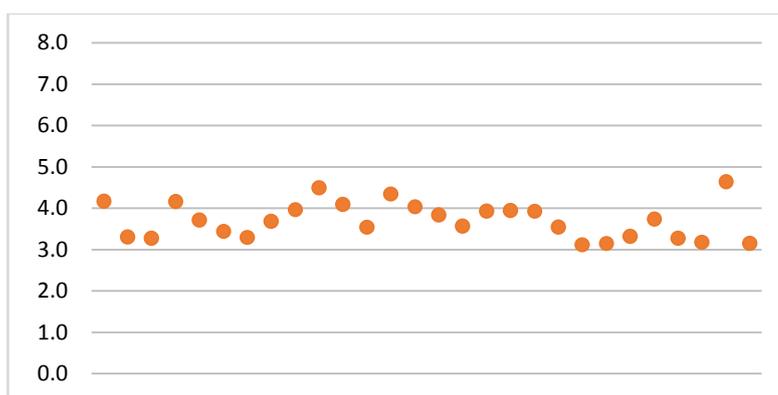


Рис. 11. Динамика КИЗА. Авилес. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 3,1 до 4,6, что соответствует низкому уровню загрязнения атмосферы.

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.12, рис.14,15):

1. O_3 -39%; 2. NO_2 - 19%; 3. PM_{10} - 19%; 4. $PM_{2,5}$ – 12%; 5. SO_2 - 11%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до1,5 ПДК_{с.с}.(табл.13). PM_{10} в отдельные периоды (5) достигает значений до1,3 ПДК_{с.с}. ПДК_{с.с} остальных ЗВ, а именно: $PM_{2,5}$, O_3 , SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 11. Расчетные среднесуточные значения AQI. Авилес. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	99	42	61	70	56	62	37	47	67	75	62	56	46	48	51	43	50	56	57	48	52	48	42	65	50	58	60	59
PM ₁₀ *	61	28	40	59	40	29	21	29	48	53	43	50	59	47	34	31	36	39	40	34	30	29	28	35	31	26	60	28
O ₃ ***	10	19	15	15	19	19	18	18	16	17	18	15	18	20	19	18	18	18	18	17	15	14	17	16	18	16	12	16
NO ₂ **	30	14	21	19	18	16	19	30	28	27	23	21	22	19	16	23	27	25	25	24	19	25	20	18	17	16	31	16
SO ₂ **	8	8	5	15	6	4	13	8	7	13	12	10	15	9	16	11	13	12	11	11	10	12	10	18	5	11	28	8

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

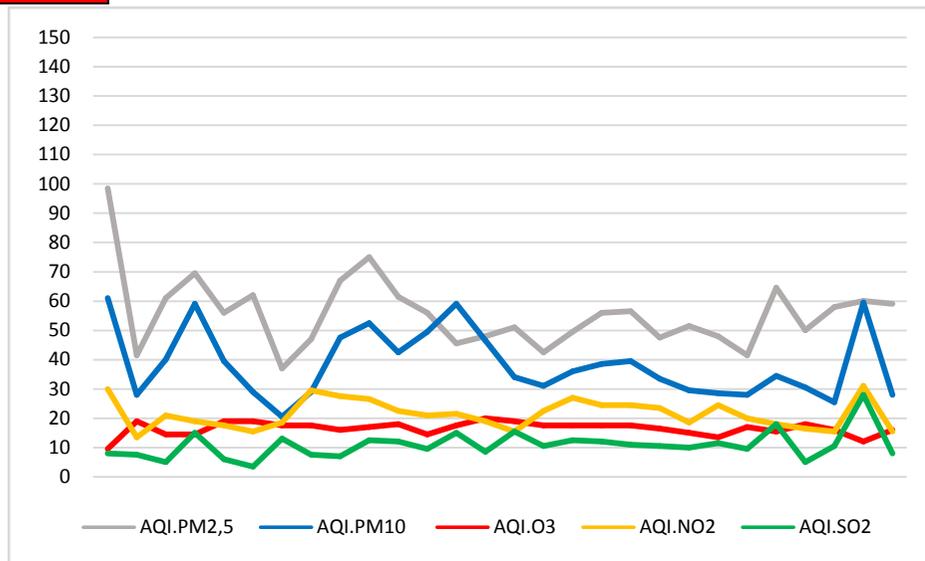


Рис.12. AQI 3В. Авилес. Весна 2017 г.

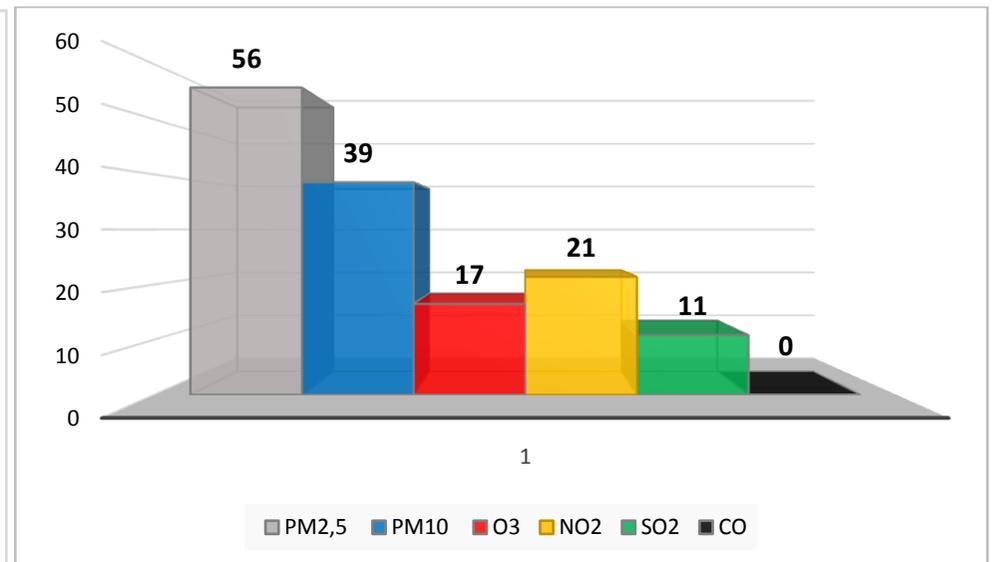


Рис. 13. Средний AQI за квартал. Авилес. Весна 2017 г.

Таблица 12. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Авилес. Весна 2017 г.

КИЗА	4,2	3,3	4,2	3,7	3,4	3,3	3,7	4,0	4,5	4,1	3,5	4,3	4,0	3,8	3,6	3,9	3,9	3,9	3,5	3,1	3,2	3,3	3,7	3,3	3,2	4,6	3,2	4,2
PM_{2,5}	24	15	14	11	14	8	9	14	15	12	12	7	8	9	8	9	10	11	9	11	10	9	14	10	14	10	14	24
PM₁₀	30	22	29	19	15	11	14	22	22	19	25	27	21	16	16	17	18	18	17	17	16	15	17	17	14	26	16	30
O₃	15	36	29	48	52	48	43	35	34	40	34	36	48	47	44	40	40	40	41	40	34	46	35	50	43	19	44	15
NO₂	24	21	15	16	15	19	27	23	20	18	20	16	16	13	21	23	21	21	22	20	26	20	16	17	16	22	16	24
SO₂	7	6	13	6	4	15	8	7	10	11	10	13	8	15	11	12	11	10	11	12	14	11	18	6	12	22	9	7

Таблица 13. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Авилес. Весна 2017 г.

ПДК_{с.с} PM_{2,5}	1,0	0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,6	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	1,0
ПДК_{с.с} PM₁₀	1,3	0,7	1,2	0,7	0,5	0,4	0,5	0,9	1,0	0,8	0,9	1,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	1,2	0,5	1,3
ПДК_{с.с} O₃	0,7	1,1	1,1	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,4	1,2	0,9	1,2	0,7
ПДК_{с.с} NO₂	1,0	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0

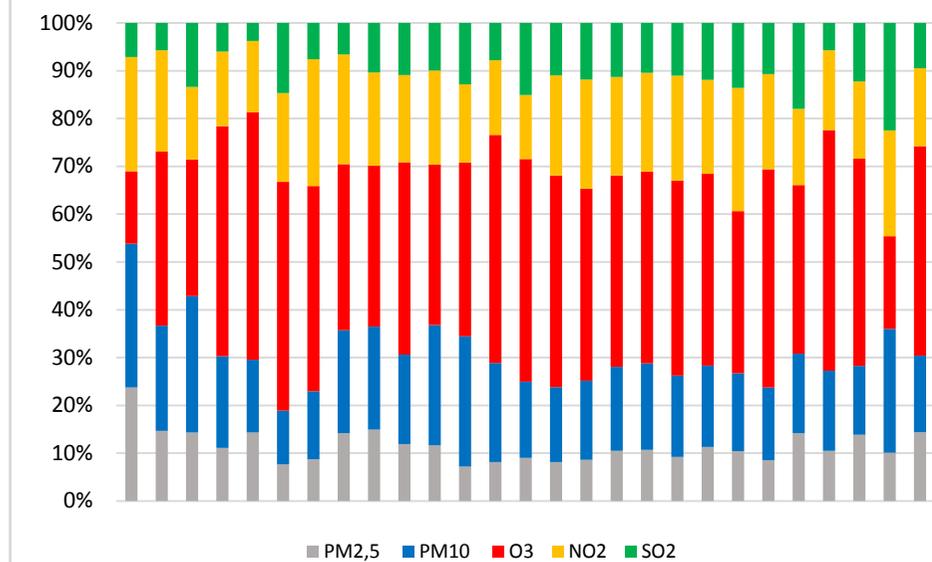


Рис.14. Доля ЗВ в КИЗА. Авилес. Весна 2017 г.

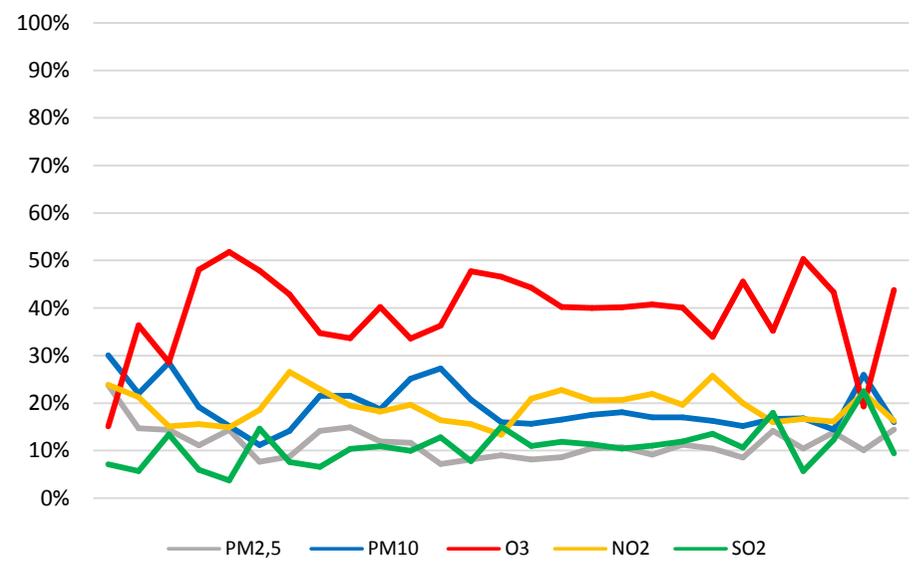


Рис.15. Распределение ЗВ в КИЗА. Авилес. Весна 2017 г.

3.3 Братислава

В г.Братислава (Словакия) по данным сайта находятся 5 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Каменне нам.» (aquicn.org/city/slovakia/bratislava/kamenne-nam./), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO . Данные по содержанию O_3 на сайте не представлены.

В таблице 14 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.17) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 52; 2. PM_{10} - 24; 3. NO_2 - 24; 5. SO_2 – 7; 6. CO – 4 (рис.18).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис.16).

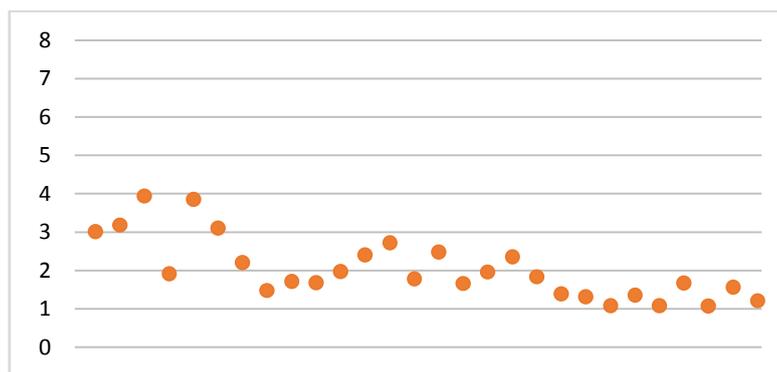


Рис. 16. Динамика КИЗА. Братислава. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 1,4 до 3,9, что соответствует низкому уровню загрязнения атмосферы. Можно предположить, что низкие значения КИЗА обусловлены отсутствием данных по концентрациям O_3 .

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.15, рис.19, 20):

1. NO_2 - 34%; 2. PM_{10} - 23%; 3. $PM_{2,5}$ – 20%; 4. SO_2 - 14%; 5. CO_2 -8%;

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении NO_2 в отдельные периоды наблюдений до 2,0 ПДК_{с.с}. (табл.16). ПДК_{с.с} остальных ЗВ, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , CO_2 за весь период наблюдений меньше 1.

Таблица 14. Расчетные среднесуточные значения AQI. Братислава. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	50	64	94	71	41	42	85	46	39	46	73	41	61	52	85	56	70	90	66	42	33	28	28	26	33	37	42	35
PM ₁₀ *	21	24	36	29	29	26	31	22	24	28	28	29	29	26	36	22	24	36	29	20	20	13	15	14	27	20	20	13
NO ₂ **	62	61	65	16	61	59	8	14	18	16	17	23	21	17	13	15	20	55	16	12	13	10	17	10	18	4	8	11
SO ₂ **	4	3	3	3	23	6	11	4	6	5	3	18	23	6	12	6	3	3	3	6	6	6	6	5	7	7	15	10
CO***	4	4	5	4	5	6	5	4	6	4	4	5	5	6	5	4	4	5	4	4	3	3	3	4	3	2	3	1

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

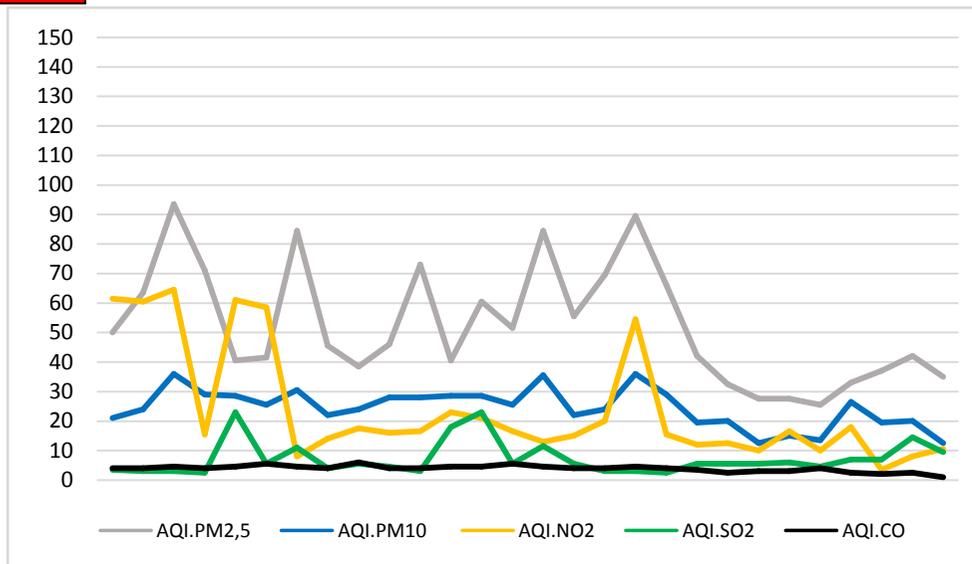


Рис. 17. AQIЗВ. Братислава. Весна 2017 г.

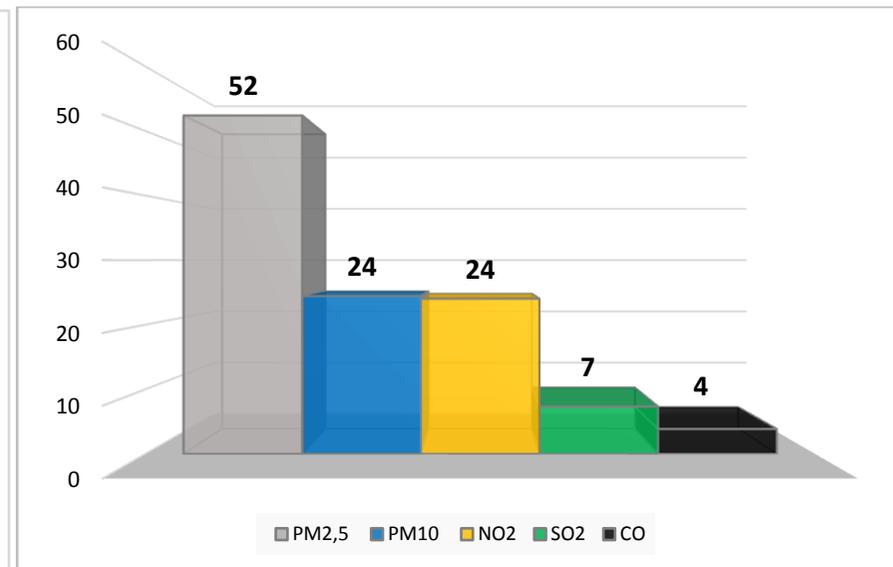


Рис. 18. Средний AQI за квартал. Братислава. Весна 2017 г.

Таблица 15. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Братислава. Весна 2017 г.

КИЗА	3,0	3,2	3,9	1,9	3,8	3,1	2,2	1,5	1,7	1,7	2,0	2,4	2,7	1,8	2,5	1,7	2,0	2,4	1,8	1,4	1,3	1,1	1,4	1,1	1,7	1,1	1,6	1,2
PM _{2,5}	11	16	23	32	7	9	36	21	15	19	33	12	17	20	32	24	30	19	30	21	17	18	14	16	14	24	18	20
PM ₁₀	13	14	16	27	13	15	25	27	25	30	26	21	19	26	26	24	22	21	28	25	27	21	20	23	29	33	23	19
NO ₂	66	62	53	27	53	63	12	31	34	32	28	32	26	31	17	30	34	48	28	29	32	31	40	31	36	11	17	29
SO ₂	4	4	3	5	22	7	19	10	12	10	6	28	32	12	17	12	6	5	5	15	16	19	16	16	16	24	35	29
CO	5	5	5	8	5	7	8	11	13	10	8	7	7	12	7	10	8	8	9	10	8	12	9	15	6	8	7	4

Таблица 16. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Братислава. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,3	0,5	0,9	0,6	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	
PM ₁₀	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2
NO ₂	2,0	2,0	2,1	0,5	2,0	1,9	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,5	0,4	0,5	0,7	1,1	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,6	0,1	0,3	0,3
SO ₂	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0,7	0,9	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,4

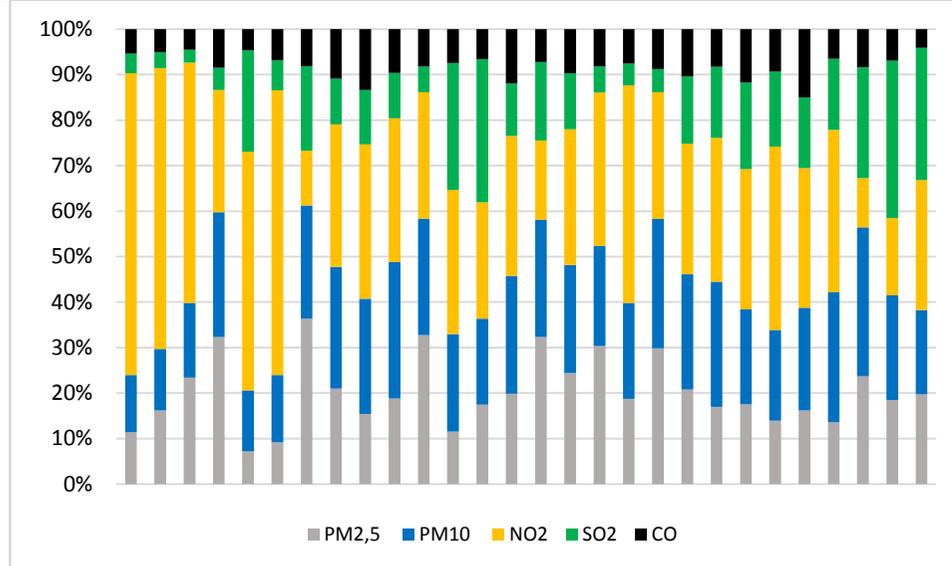


Рис.19. Доля ЗВ в КИЗА. Братислава. Весна 2017 г.

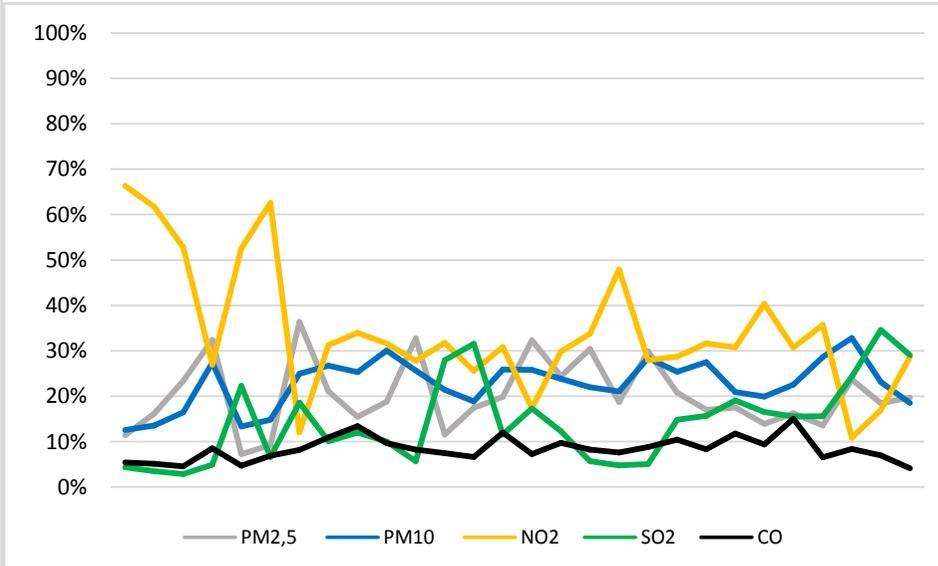


Рис.20. Распределение ЗВ в КИЗА. Братислава. Весна 2017 г.

3.4 Брно

В г.Брно (Чехия) по данным сайта находятся 10 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Брно-Масна» (<http://aqicn.org/city/czechrepublic/jihomoravsky/brno-masna>) представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию CO на сайте не представлены.

В таблице 17 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.22) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 67; 2. PM_{10} – 37; 3. O_3 – 20; 4. NO_2 - 18; 5. SO_2 – 2 (рис.23).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 21).

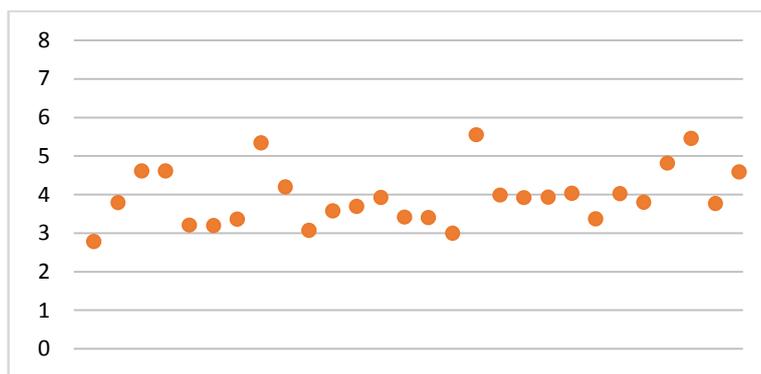


Рис. 21. Динамика КИЗА. Брно. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,8 до 5,6. 25 значений – в зоне низкого, а 3 – в зоне повышенного уровня загрязнения атмосферы.

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.18, рис.24, 25):

1. O_3 -51%; 2. PM_{10} - 17%; 3. NO_2 и $PM_{2,5}$ по 15%; 4. SO_2 - 2%.

Сравнение нормированных на $ПДК_{с.с}$ концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до 1,1 до 2,3 $ПДК_{с.с}$ (табл.19). Повышенные значения $PM_{2,5}$ и PM_{10} достигают незначительных превышений до 1,4 $ПДК_{с.с}$. $ПДК_{с.с}NO_2$, SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 17. Расчетные среднесуточные значения AQI.Брно. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	60	92	115	109	65	54	94	63	75	73	82	99	102	84	61	63	74	60	50	51	47	37	45	48	57	43	51	32
PM ₁₀ *	29	35	65	63	35	33	36	43	43	29	35	35	39	35	38	36	44	43	43	33	37	20	33	27	37	38	28	19
O ₃ ***	14	19	16	17	16	16	14	29	21	15	18	16	17	15	16	14	29	21	22	25	24	23	25	23	28	34	24	30
NO ₂ **	18	15	21	21	21	24	18	22	19	19	15	21	21	21	25	20	24	19	19	11	13	12	12	17	17	7	13	13
SO ₂ **	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	3	2	2

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

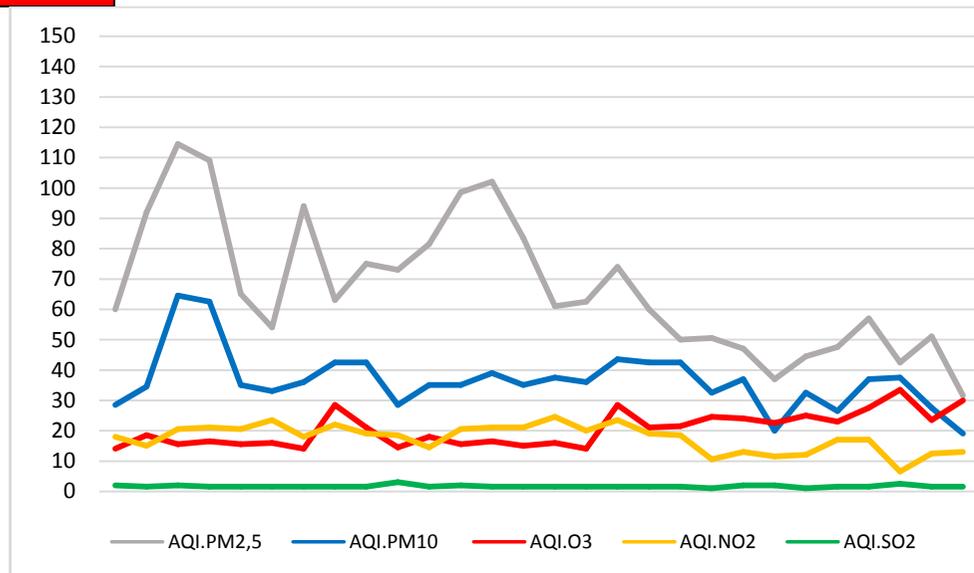


Рис. 22. AQI ЗВ. Брно. Весна 2017 г.

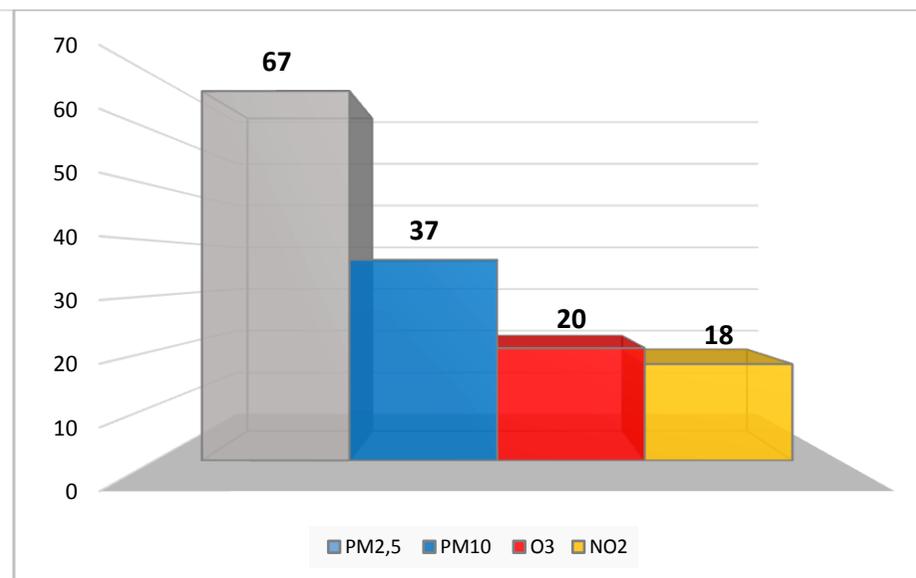


Рис. 23. Средний AQI за квартал. Брно. Весна 2017 г.

Таблица 18. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Брно. Весна 2017 г.

КИЗА	2,8	3,8	4,6	4,6	3,2	3,2	3,4	5,3	4,2	3,1	3,6	3,7	3,9	3,4	3,4	3,0	5,6	4,0	3,9	3,9	4,0	3,4	4,0	3,8	4,8	5,5	3,8	4,6
PM _{2,5}	17	24	25	24	17	12	28	10	16	21	21	27	26	23	14	17	12	12	9	9	8	8	8	9	9	5	9	5
PM ₁₀	18	16	30	28	20	19	19	14	18	17	18	17	18	18	20	22	14	19	19	15	17	11	15	13	14	12	13	7
O ₃	41	45	29	31	41	43	34	61	49	39	46	36	37	37	41	38	59	52	55	67	63	68	67	63	64	77	65	77
NO ₂	21	13	15	15	21	24	18	14	15	20	13	18	18	20	24	22	14	16	16	9	11	11	10	15	12	4	11	9
SO ₂	3	1	2	1	2	2	2	1	1	4	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1

Таблица 19. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Брно. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,5	0,9	1,2	1,1	0,5	0,4	0,9	0,5	0,7	0,6	0,8	1,0	1,0	0,8	0,5	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,5	0,6	1,4	1,3	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,4	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	1,1	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	2,2	1,6	1,1	1,4	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	2,2	1,6	1,7	1,9	1,9	1,7	1,9	1,8	2,1	2,6	1,8	2,3
ПДК _{с.с} NO ₂	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2	0,4	0,4

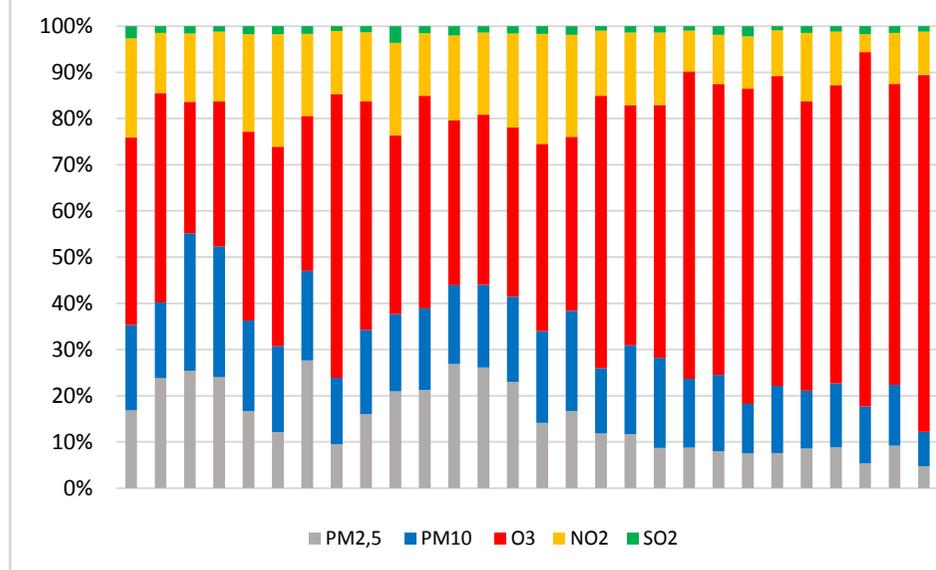


Рис.24. Доля ЗВ в КИЗА. Брно. Весна 2017 г.

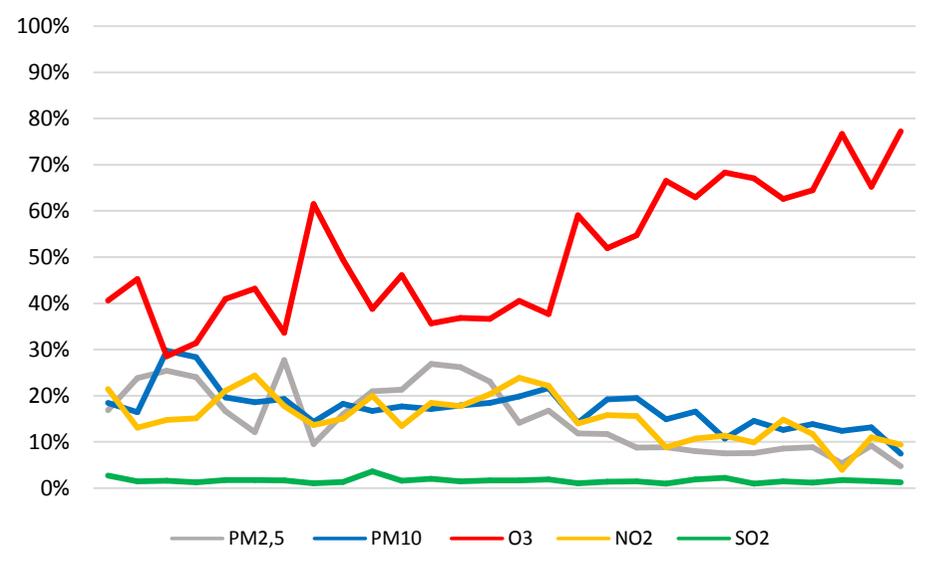


Рис.25. Распределение ЗВ в КИЗА. Брно. Весна 2017 г.

3.5 Будапешт

В г.Будапешт (Словакия) по данным сайта находится 10 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Будапешт Телеки тер» (<http://aqicn.org/city/hungary/budapest/bp14-teleki-ter/>), представленный необходимым набором компонентов, а именно: PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO . Данные по содержанию $PM_{2,5}$ на сайте не представлены.

В таблице 20 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.27) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. PM_{10} - 31; 2. NO_2 – 22; 3. O_3 – 20; 4. CO – 7; 5. SO_2 – 4 (рис.28).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 26).

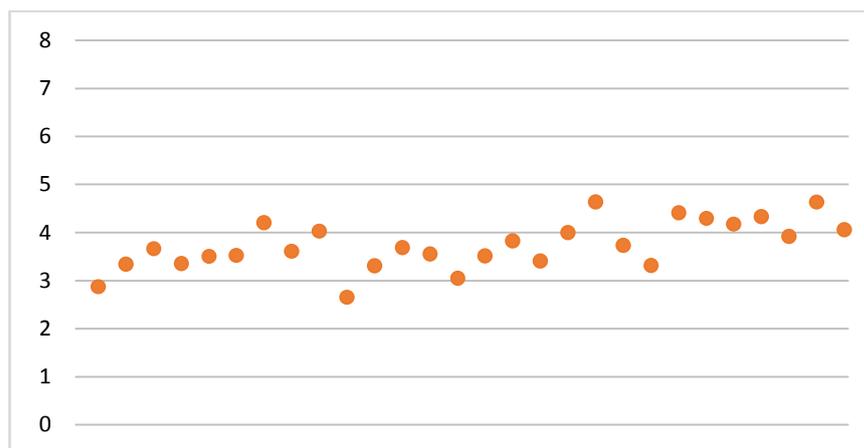


Рис. 26. Динамика КИЗА. Будапешт. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,7 до 4,6, что соответствует зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Можно предположить, что низкие значения КИЗА обусловлены отсутствием данных по концентрациям $PM_{2,5}$.

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.21, рис.29, 30):

1. O_3 -53%; 2. PM_{10} - 16%; 3. NO_2 - 20%; SO_2 - 4%; CO – 8%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует об отсутствии превышений за весь период наблюдений (табл.22).

Таблица 20. Расчетные среднесуточные значения AQI.Будапешт. Весна 2017 г.

PM ₁₀ *	36	26	37	35	30	32	47	28	33	34	32	40	38	34	32	38	36	45	47	33	31	17	25	25	23	28	8	16
O ₃ ***	12	20	19	17	19	19	19	21	23	12	19	19	18	15	18	19	18	22	25	19	18	30	25	26	26	23	31	25
NO ₂ **	29	19	26	24	24	25	31	21	22	23	19	26	24	24	26	25	21	21	22	25	21	12	24	17	24	20	9	22
SO ₂ **	4	3	4	4	4	3	5	4	3	4	3	4	4	4	3	5	4	3	3	5	4	4	4	5	4	5	7	8
CO***	9	6	8	8	9	9	11	8	6	9	6	7	8	9	9	11	8	6	11	11	8	4	6	6	6	5	6	4

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

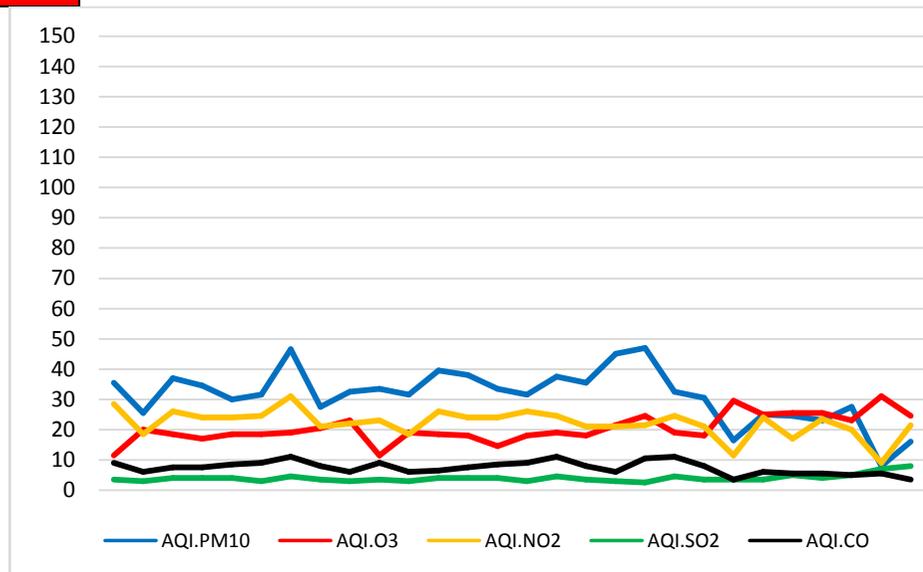


Рис.27. AQI 3В. Будапешт. Весна 2017 г

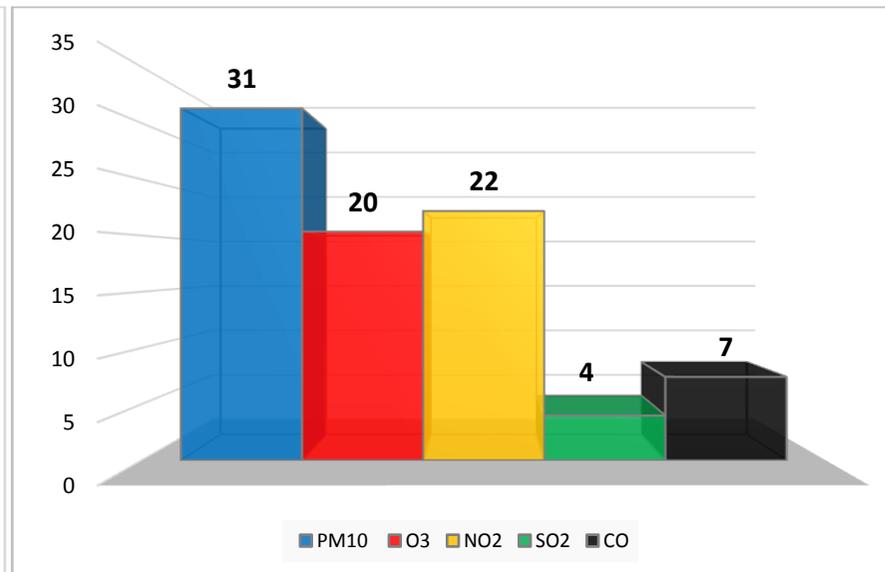


Рис. 28. Средний AQI за квартал. Будапешт. Весна 2017 г.

Таблица 21. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Будапешт. Весна 2017 г.

КИЗА	2,9	3,3	3,7	3,4	3,5	3,5	4,2	3,6	4,0	2,7	3,3	3,7	3,6	3,0	3,5	3,8	3,4	4,0	4,6	3,7	3,3	4,4	4,3	4,2	4,3	3,9	4,6	4,1
PM₁₀	22	14	18	19	15	16	20	14	15	23	17	19	19	20	16	18	19	20	18	16	17	7	10	11	10	13	3	7
O₃	29	58	47	45	49	49	43	55	59	32	54	47	46	39	47	47	48	54	56	48	50	78	63	66	64	61	80	64
NO₂	33	18	23	24	23	23	24	19	18	29	19	23	22	26	25	21	20	17	15	22	21	9	18	13	18	17	6	18
SO₂	5	3	4	4	4	3	4	4	3	5	3	4	4	5	3	4	4	3	2	4	4	3	3	4	3	5	6	7
CO	11	7	8	8	9	9	9	8	6	12	7	7	8	10	9	10	9	6	8	10	9	3	5	5	5	5	5	4

Таблица 22. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Будапешт. Весна 2017 г.

ПДК_{с.с} PM₁₀	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,1	0,3
ПДК_{с.с} O₃	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	1,0	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	0,8
ПДК_{с.с} NO₂	0,7	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,6	0,5	0,2	0,5

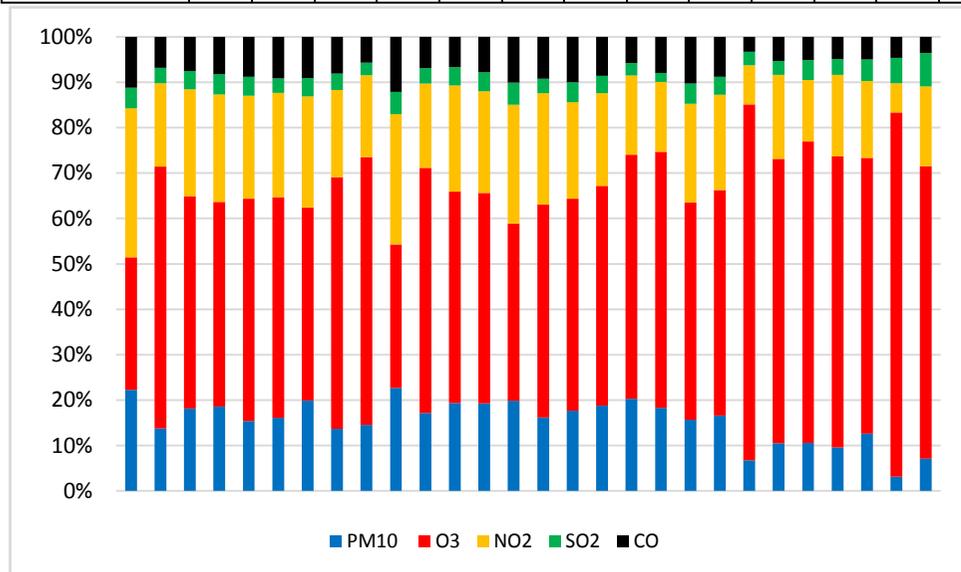


Рис.29. Доля ЗВ в КИЗА. Будапешт. Весна 2017 г.

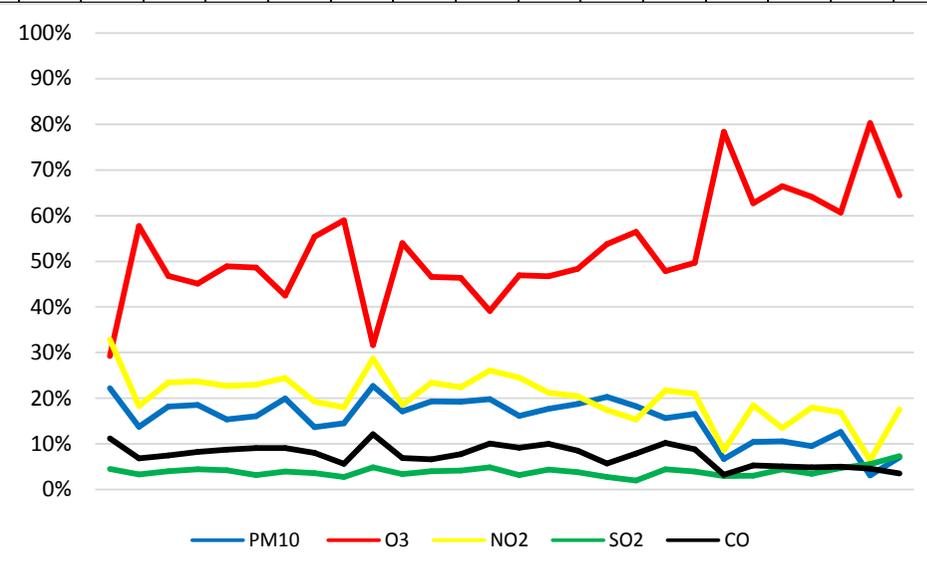


Рис.30. Распределение ЗВ в КИЗА. Будапешт. Весна 2017 г.

3.6 Лиссабон

В г.Лиссабон (Португалия) по данным сайта находится 1 пункт мониторинга «Энтрекампос» (<http://aqicn.org/city/portugal/lisboa/entrecampos/>), представленный необходимым набором компонентов: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию СОна сайте не представлены.

В таблице 23 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.32) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 72; 2. PM_{10} - 32; 3. NO_2 - 26; 3. O_3 – 20; 4. SO_2 – 2 (рис.33).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный КИЗА (рис.31).

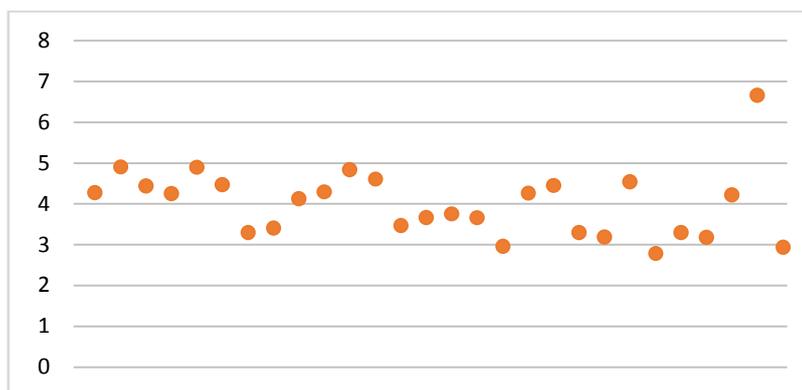


Рис. 31. Динамика КИЗА. Лиссабон. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.24) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,8 до 4,9, что соответствует зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Одно значение (6,7) находится в зоне повышенного уровня за счет увеличения содержания O_3 . (рис. 34).

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.24, рис.35):

1. O_3 -47%; 2. PM_{10} - 14%; 3. NO_2 - 22%; SO_2 - 1%; $PM_{2,5}$ - 8%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до 1,1 до 2,2 ПДК_{с.с}. (табл.25). Повышенные значения $PM_{2,5}$ и PM_{10} достигают 1,2 ПДК_{с.с} в 2 точках наблюдений. ПДК_{с.с} NO_2 , SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 23. Расчетные среднесуточные значения AQI. Лиссабон. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	80	70	91	70	72	94	61	36	49	110	77	89	71	46	69	86	80	61	81	66	61	65	140	44	47	49	52	110
PM ₁₀ *	42	35	34	35	37	35	35	15	23	30	34	35	35	15	32	34	30	24	30	35	29	31	33	23	26	31	32	68
O ₃ ***	14	28	19	28	19	23	25	21	18	15	19	23	25	21	18	15	18	15	22	23	17	16	18	16	17	19	22	29
NO ₂ **	50	13	36	13	37	31	19	24	32	34	38	31	19	24	27	30	23	21	24	29	23	23	24	22	28	15	31	27
SO ₂ **	2	2	1	2	1	1	2	1	2	3	1	1	2	1	2	3	2	3	1	1	3	1	1	2	2	2	1	2

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

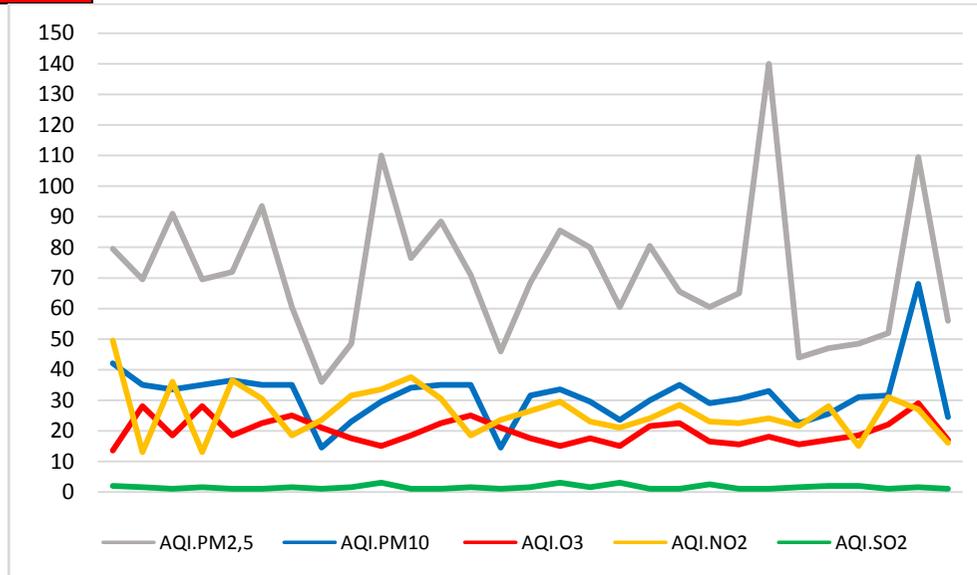


Рис.32. AQIЗВ. Лиссабон. Весна 2017 г.

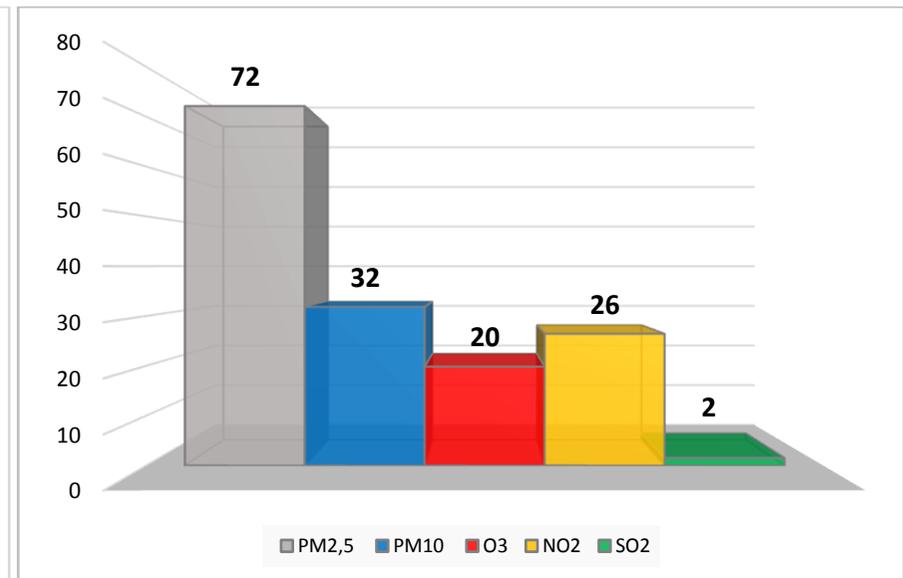


Рис. 33. Средний AQI за квартал Лиссабон. Весна 2017 г.

Таблица 24. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Лиссабон. Весна 2017 г.

КИЗА	4,3	4,9	4,4	4,3	4,9	4,5	3,3	3,4	4,1	4,3	4,8	4,6	3,5	3,7	3,8	3,7	3,0	4,3	4,5	3,3	3,2	4,5	2,8	3,3	3,2	4,2	6,7	2,9
PM _{2,5}	9	6	10	7	9	5	2	5	14	8	9	7	5	8	11	10	8	9	6	7	8	16	5	5	5	4	8	7
PM ₁₀	18	13	14	15	13	14	8	12	13	14	13	14	8	15	16	14	14	13	14	16	17	13	15	14	18	13	18	15
O ₃	25	65	39	40	47	60	63	46	30	40	48	58	60	43	33	43	42	50	52	44	41	36	47	46	54	53	51	52
NO ₂	38	9	27	28	21	14	24	31	27	29	21	13	22	24	26	21	24	19	21	23	23	18	26	28	16	24	13	18
SO ₂	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	4	1	1	3	1	1	2	2	2	1	1	1

Таблица 25. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Лиссабон. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,7	0,6	0,9	0,6	0,9	0,5	0,1	0,3	1,1	0,7	0,9	0,6	0,3	0,6	0,8	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	1,5	0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	0,4
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	1,2	0,4
ПДК _{с.с} O ₃	1,0	2,2	1,4	1,4	1,7	1,9	1,6	1,4	1,2	1,4	1,7	1,9	1,6	1,4	1,2	1,4	1,2	1,7	1,7	1,3	1,2	1,4	1,2	1,3	1,4	1,7	2,2	1,3
ПДК _{с.с} NO ₂	1,6	0,4	1,2	1,2	1,0	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,0	0,6	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,5	1,0	0,9	0,5

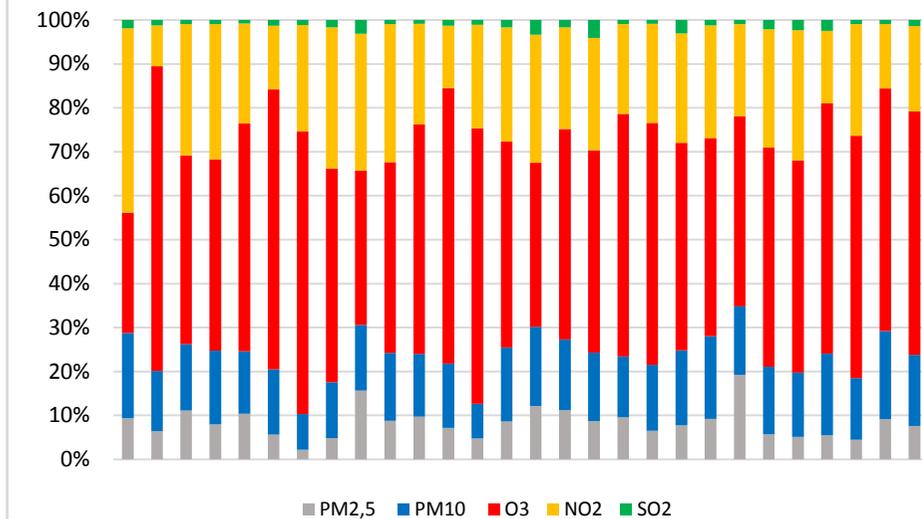


Рис.34. Доля ЗВ в КИЗА. Лиссабон. Весна 2017 г.

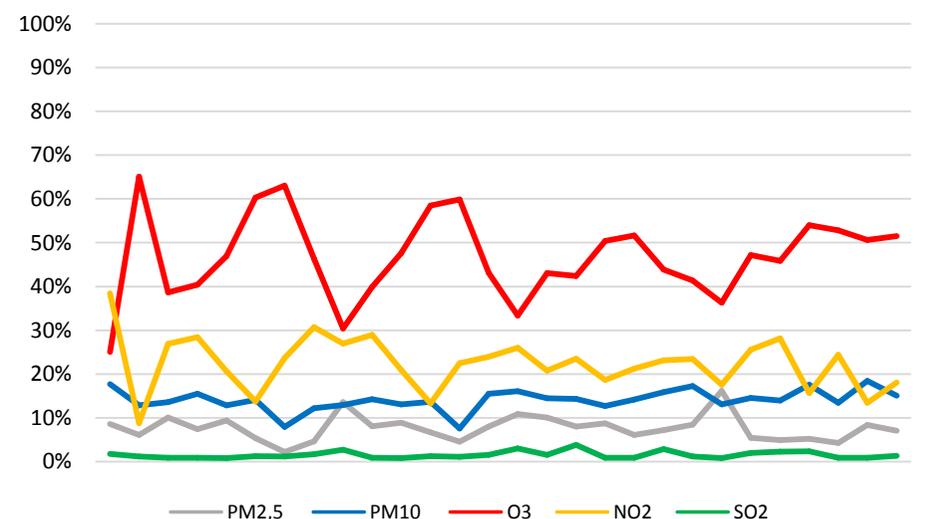


Рис.35. Распределение ЗВ в КИЗА. Лиссабон. Весна 2017 г.

3.7 Мадрид

В г.Мадрид (Испания) по данным сайта находится 11 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Мадрид» (<http://aqicn.org/city/madrid/ru>), представленный достаточным набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO . Данные концентраций CO за весь период наблюдения равны 0.

В таблице 26 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.37) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 55; 2. NO_2 – 34; 3. PM_{10} – 32; 4. O_3 – 24; 5. CO – 4(рис.38).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 36.).

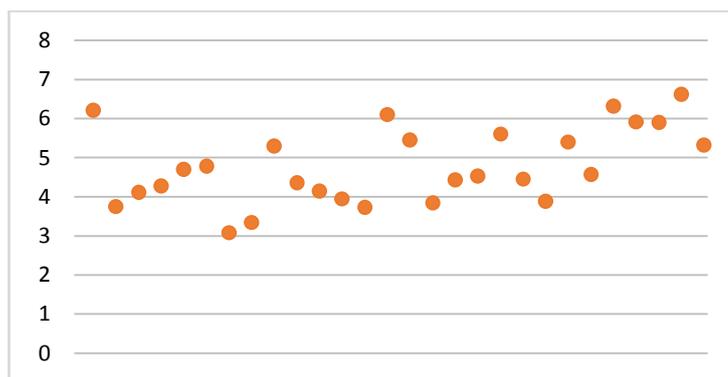


Рис.36. КИЗА. Мадрид. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА и приведенный график показывает, что значения находятся в диапазоне от 3,1 до 6,6, половина из которых расположилась в зоне низкого уровня загрязнения атмосферы, вторая половина - в зоне повышенного уровня загрязнения в связи с ростом концентраций ПДК_{с.с} $PM_{2,5}$ в соответствующие периоды (рис.39). По данным таблицы 27 средние значения ЗВ в КИЗА распределяются следующим образом (рис.40):

1. O_3 -53%;
2. NO_2 - 23%;
3. PM_{10} - 12%;
4. $PM_{2,5}$ - 9%;
5. SO_2 - 3%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений с 1,5 до

2,6 ПДК_{с.с.}(табл.28). Повышенные значения NO₂ достигают 2,1 ПДК_{с.с.}. ПДК_{с.с.} PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂ за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 26. Расчетные среднесуточные значения AQI.Мадрид. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	93	33	41	55	45	52	33	33	60	53	54	42	58	92	65	39	51	61	70	59	52	53	36	103	62	47	52	61
PM ₁₀ *	46	40	34	25	33	23	12	12	32	28	25	31	35	56	37	42	34	35	42	30	32	30	12	46	28	24	36	32
O ₃ ***	21	21	22	22	23	26	19	21	24	22	22	21	20	21	24	21	22	22	24	24	21	29	29	28	30	30	34	28
NO ₂ **	65	19	27	31	38	32	22	22	48	33	27	27	21	55	48	19	35	31	48	28	23	34	22	36	39	48	41	30
SO ₂ **	8	4	5	5	5	5	4	3	4	5	6	4	4	8	4	4	5	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

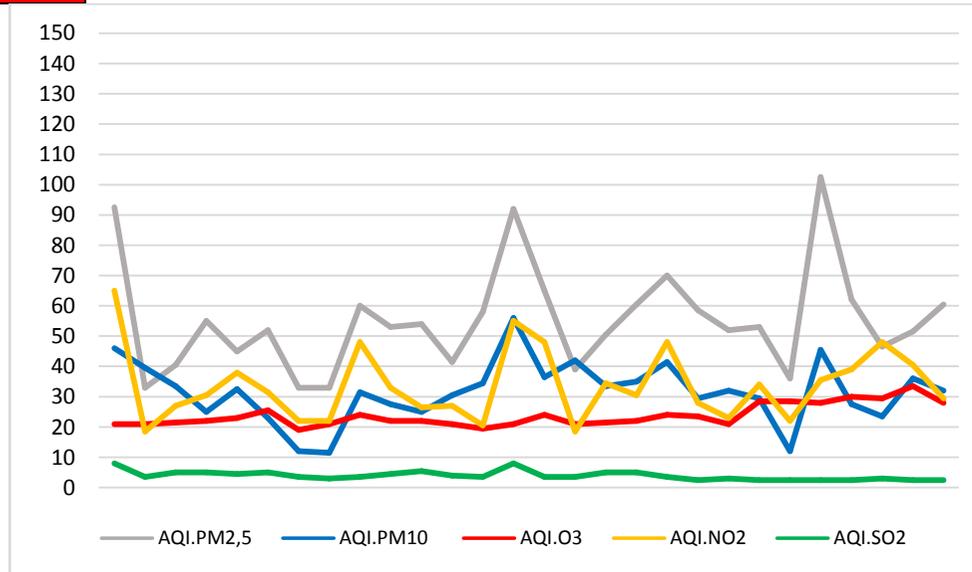


Рис.37 AQI 3В. Мадрид. Весна 2017 г.

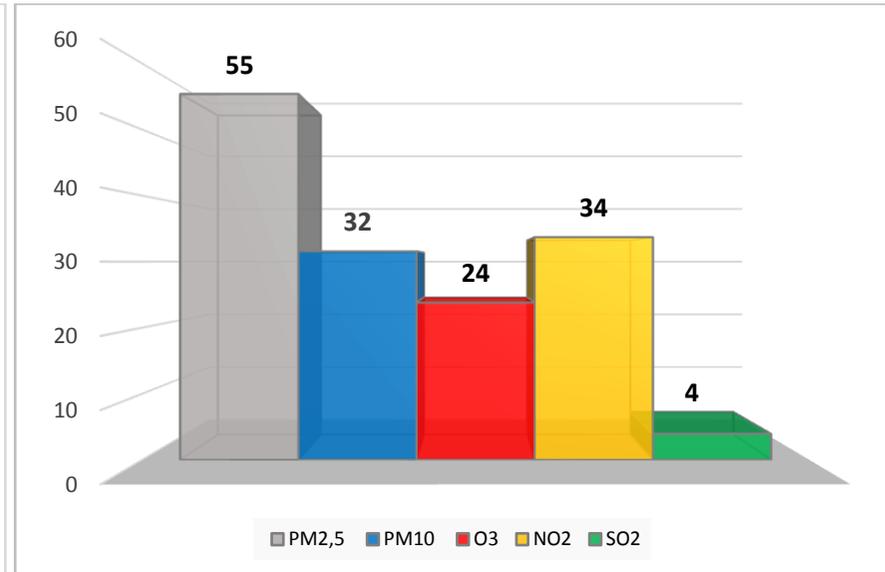


Рис. 38. Средний AQI за квартал Мадрид. Весна 2017 г.

Таблица 27. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Мадрид. Весна 2017 г.

КИЗА	6,2	3,8	4,1	4,3	4,7	4,8	3,1	3,3	5,3	4,4	4,1	4,0	3,7	6,1	5,5	3,8	4,4	4,5	5,6	4,5	3,9	5,4	4,6	6,3	5,9	5,9	6,6	5,3
PM_{2,5}	15	6	7	9	7	8	7	7	9	9	9	7	12	15	10	7	8	10	11	10	9	7	5	16	8	5	5	9
PM₁₀	13	19	15	11	12	9	7	6	11	11	11	14	17	17	12	20	14	14	13	12	15	10	5	13	8	7	10	11
O₃	33	55	52	52	51	58	58	62	48	51	54	52	50	34	47	54	49	49	45	55	53	61	72	51	60	59	63	60
NO₂	34	16	22	24	27	22	24	22	30	25	21	23	18	30	29	16	26	22	28	21	20	21	16	19	22	27	20	18
SO₂	5	3	5	4	4	4	4	3	2	4	5	4	3	5	2	3	4	4	2	2	3	2	2	1	2	2	1	2

Таблица 28. ПДК_{с.с} ЗВ. Мадрид. Весна 2017 г.

ПДК_{с.с} PM_{2,5}	0,9	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,9	0,5	0,3	0,3	0,5	0,6	0,4	0,4	0,2	1,0	0,5	0,3	0,4	0,5	
ПДК_{с.с} PM₁₀	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,2	0,8	0,5	0,4	0,6	0,6
ПДК_{с.с} O₃	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	2,0	1,5	1,6	1,9	1,7	1,7	1,6	1,5	1,6	1,9	1,6	1,7	1,7	1,9	1,8	1,6	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,6	2,2
ПДК_{с.с} NO₂	2,1	0,6	0,9	1,0	1,3	1,0	0,7	0,7	1,6	1,1	0,9	0,9	0,7	1,8	1,6	0,6	1,1	1,0	1,6	0,9	0,8	1,1	0,7	1,2	1,3	1,6	1,3	1,0

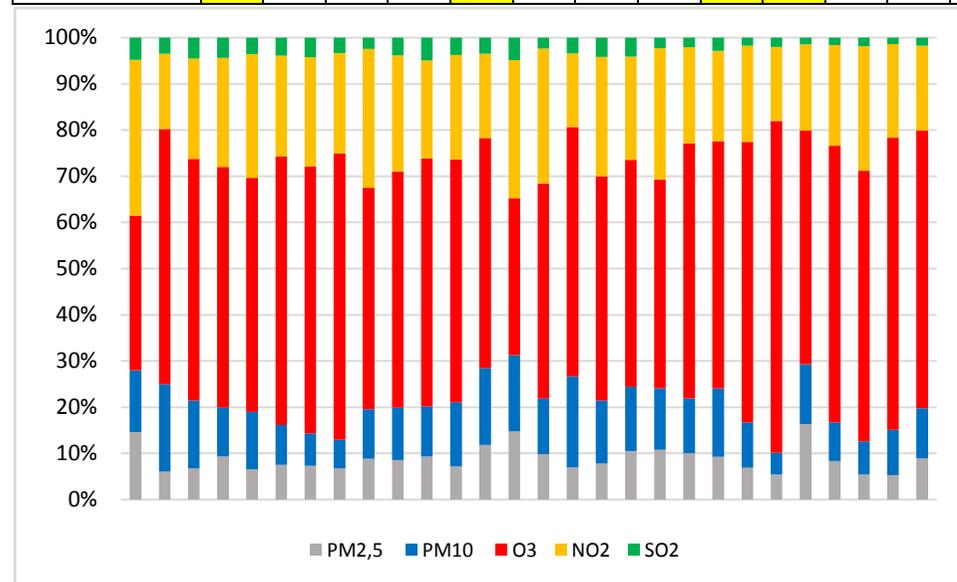


Рис.39. Доля ЗВ в КИЗА. Мадрид. Весна 2017 г.

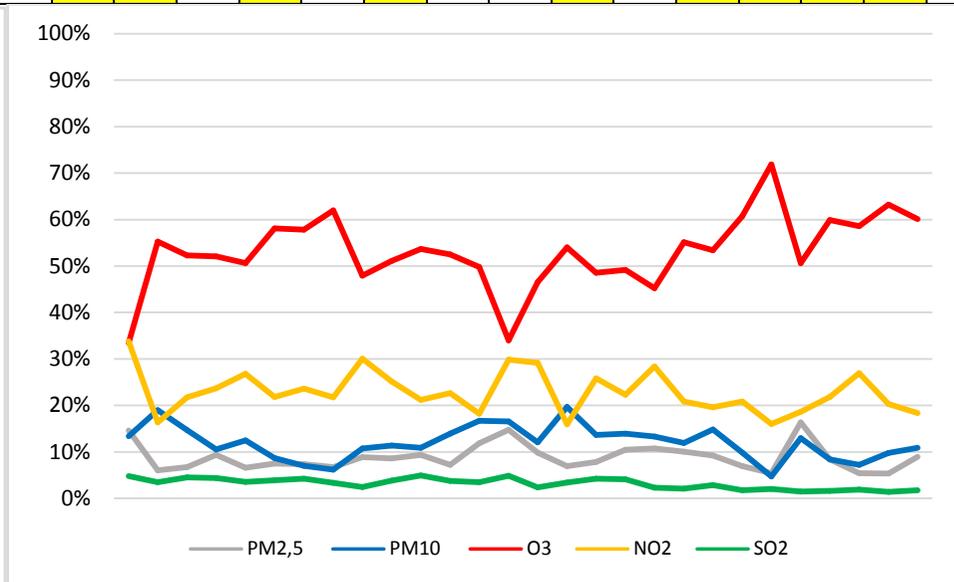


Рис.40. Распределение ЗВ в КИЗА. Мадрид. Весна 2017 г.

3.8 Марсель

В г.Марсель (Франция) по данным сайта находится 4 пункта мониторинга. Мной был выбран пункт «Марсель Рабату» (<http://aqicn.org/city/france/pasa/marseille-rabatau/>), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию CO на сайте не представлены.

В таблице 29 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.42) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 75; 2. PM_{10} – 39; 3. NO_2 - 33; 4. O_3 – 26; 5. SO_2 – 3 (рис.43).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 41.).

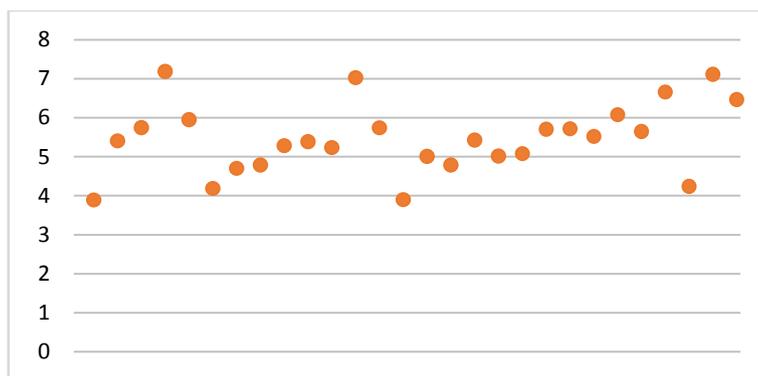


Рис.41. КИЗА. Марсель. Весна 2017 г.

Анализ рассчитанных величин и приведенный график показывает, что КИЗА находятся в широком диапазоне от 3,9 до 7,2. Большая часть значений попадает в зону повышенного загрязнения (5-7), одно – в зону очень высокого (рис.41).

По данным таблицы 30 средний процент ЗВ в КИЗА составляет (рис. 44, 45): 1. O_3 – 53%; 2. NO_2 – 20%; 3. PM_{10} – 13%; 4. $PM_{2,5}$ – 12%; 5. SO_2 – 2%.

Сравнение нормированных на $ПДК_{с.с}$ концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений с 1,4 до 2,6 $ПДК_{с.с}$. (табл.31). Повышенные значения NO_2 достигают 1,5 $ПДК_{с.с}$. $ПДК_{с.с}$ $PM_{2,5}$ (кроме двух), PM_{10} , SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 29. Расчетные среднесуточные значения AQI.Марсель. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	50	94	96	114	100	71	56	55	78	98	87	111	100	68	57	55	84	81	83	68	56	72	65	61	55	41	84	69
PM ₁₀ *	48	40	47	57	48	39	30	29	47	35	47	50	46	31	33	29	50	41	36	33	41	30	45	40	37	24	41	28
O ₃ ***	18	25	24	30	24	18	28	27	23	25	21	30	24	18	28	27	23	22	24	31	30	29	32	27	33	27	34	33
NO ₂ **	29	31	42	44	45	35	18	27	36	31	42	44	40	32	25	27	36	36	32	21	33	25	27	43	45	12	36	36
SO ₂ **	3	2	3	3	2	2	2	2	5	2	3	3	2	2	2	2	5	3	4	4	2	5	2	3	3	3	3	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

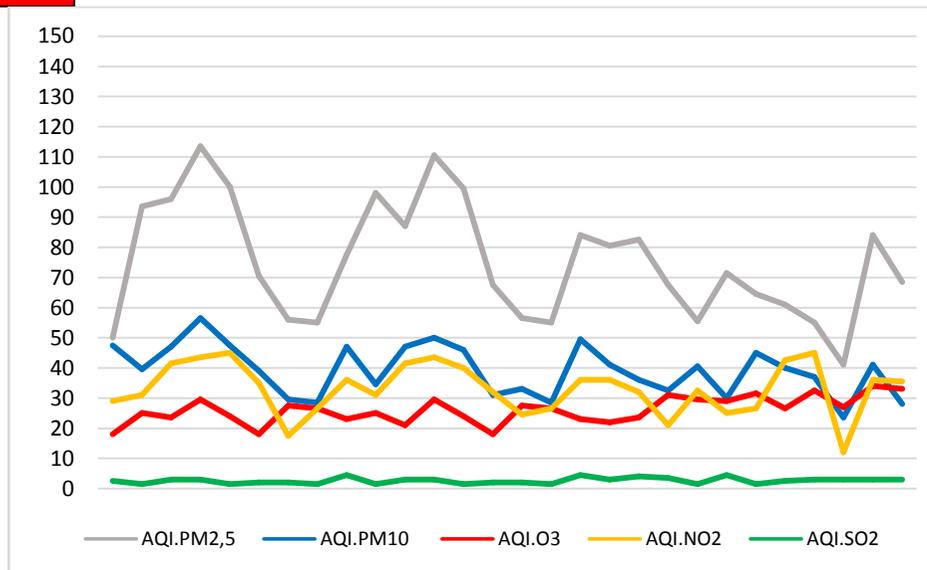


Рис. 42 AQI ЗВ. Марсель. Весна 2017 г.

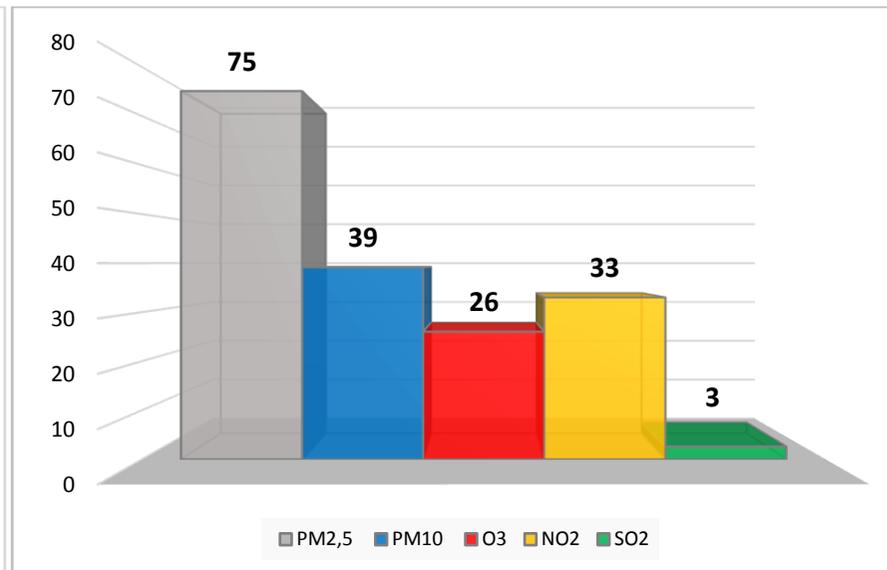


Рис. 43. Средний AQI за квартал Марсель. Весна 2017 г.

Таблица 30. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Марсель. Весна 2017 г.

КИЗА	3,9	5,4	5,7	7,2	6,0	4,2	4,7	4,8	5,3	5,4	5,2	7,0	5,8	3,9	5,0	4,8	5,4	5,0	5,1	5,7	5,7	5,5	6,1	5,6	6,7	4,2	7,1	6,5
PM _{2,5}	9	17	17	16	17	15	9	8	13	18	16	16	17	15	8	8	15	15	15	10	7	11	9	9	6	7	11	9
PM ₁₀	22	13	15	14	14	17	11	11	16	12	16	13	14	14	12	11	16	15	13	10	13	10	13	13	10	10	10	8
O ₃	42	50	43	48	43	39	66	61	45	50	40	49	44	42	62	61	44	44	48	65	60	61	63	52	60	71	60	63
NO ₂	25	19	24	20	25	28	12	18	23	19	26	20	23	27	16	18	22	24	21	12	19	15	14	25	22	9	17	18
SO ₂	2	1	2	2	1	2	2	1	3	1	2	2	1	2	1	1	3	2	3	2	1	3	1	2	2	3	2	2

Таблица 31. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Марсель. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,3	0,9	1,0	1,2	1,0	0,6	0,4	0,4	0,4	0,7	1,0	0,8	1,1	1,0	0,6	0,4	0,4	0,8	0,7	0,8	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,8	0,6
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,9	0,7	0,8	1,0	0,9	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	0,8	0,9	0,8	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,7	0,5
ПДК _{с.с} O ₃	1,4	1,9	1,8	2,3	1,9	1,4	2,1	2,1	1,8	1,9	1,6	2,3	1,9	1,4	2,1	2,1	1,8	1,7	1,8	2,4	2,3	2,2	2,4	2,1	2,5	2,1	2,6	2,6	
ПДК _{с.с} NO ₂	1,0	1,0	1,4	1,4	1,5	1,2	0,6	0,9	1,2	1,0	1,4	1,4	1,3	1,1	0,8	0,9	1,2	1,2	1,1	0,7	1,1	0,8	0,9	1,4	1,5	0,4	1,2	1,2	

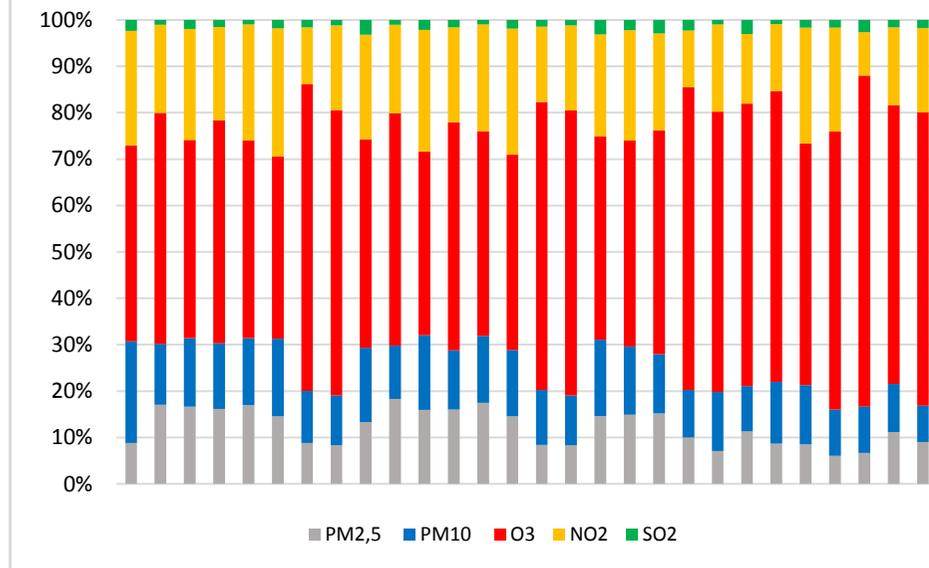


Рис.44. Доля ЗВ в КИЗА. Марсель. Весна 2017 г.

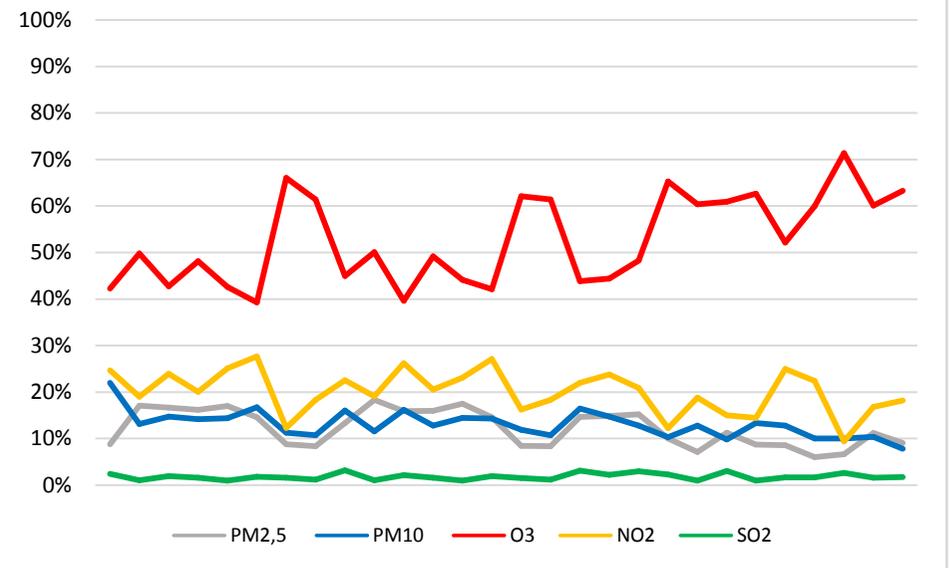


Рис.45. Распределение ЗВ в КИЗА. Марсель. Весна 2017 г.

3.9 Осло

В г. Осло (Норвегия) по данным сайта находится 9 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Брейволмаллесташион» (<http://aqicn.org/city/norway/norway/oslo/breivoll-malestasjon/>), представленный достаточным набором компонентов, а именно $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO . Данные концентраций CO по всему периоду наблюдения равны 0.

В таблице 32 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.47) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 35; 2. PM_{10} – 21; 3. O_3 – 18; 4. NO_2 – 16; 4. SO_2 – 1 (рис.48).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 46.).

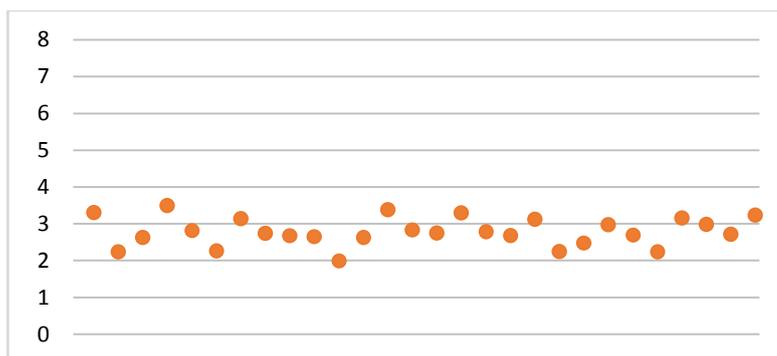


Рис.____. КИЗА. Осло. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл. 33) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,0 до 3,5, что соответствует низкому уровню загрязнения атмосферы.

Средние значения ЗВ в КИЗА распределяются следующим образом (рис.49, 50):

1. O_3 -58%;
2. NO_2 - 19%;
3. PM_{10} - 13%;
4. $PM_{2,5}$ - 4%;
5. SO_2 - 1%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до 1,1 до 1,8 ПДК_{с.с}. (табл.34). ПДК_{с.с} $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 32. Расчетные среднесуточные значения AQI. Осло. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	38	44	38	37	30	21	42	35	40	45	42	38	38	30	36	38	42	39	41	42	28	12	19	37	47	30	21	36
PM ₁₀ *	25	13	23	43	19	7	37	33	30	22	15	23	42	20	9	38	33	30	32	9	10	7	7	11	17	11	18	16
O ₃ ***	18	16	17	17	19	17	16	16	14	17	14	17	16	19	20	17	16	14	17	16	18	23	21	16	21	23	19	23
NO ₂ **	28	9	13	28	17	14	24	15	22	13	9	13	29	17	14	25	15	22	22	12	14	11	13	14	15	6	13	11
SO ₂ **	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

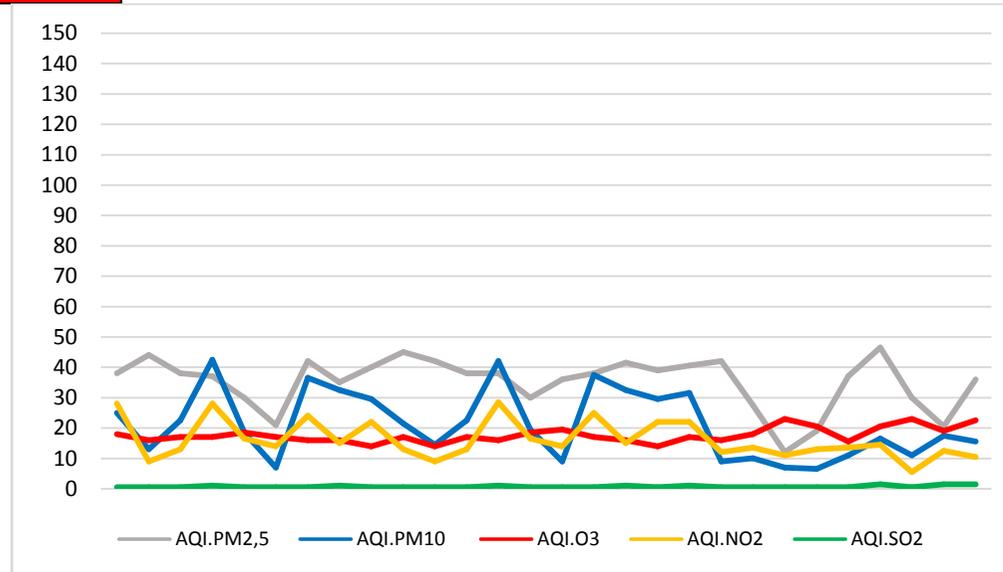


Рис.47. AQI ЗВ. Осло. Весна 2017 г.

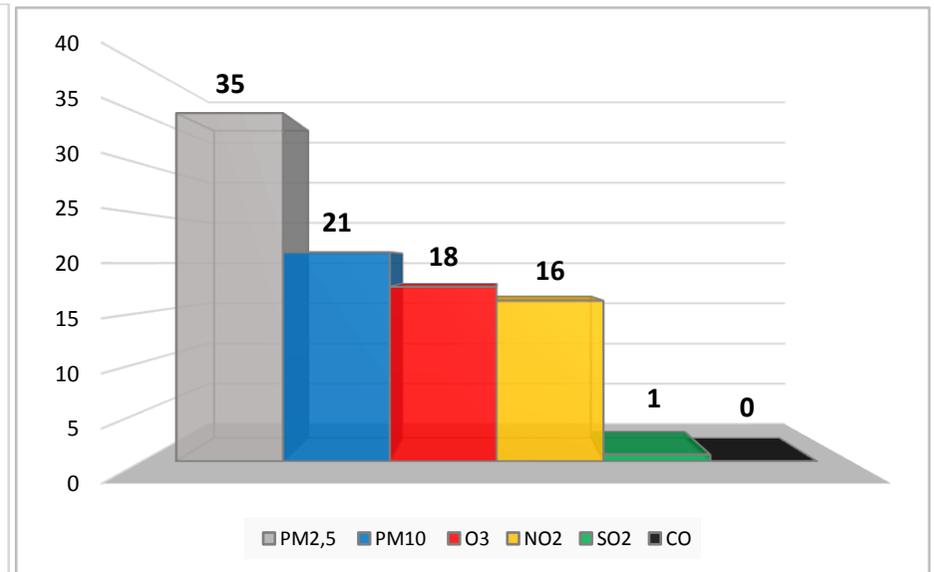


Рис. 48. Средний AQI за квартал. Осло. Весна 2017 г.

Таблица 33. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Осло. Весна 2017 г.

КИЗА	3,3	2,2	2,6	3,5	2,8	2,3	3,1	2,7	2,7	2,7	2,0	2,6	3,4	2,8	2,7	3,3	2,8	2,7	3,1	2,2	2,5	3,0	2,7	2,2	3,2	3,0	2,7	3,2
PM_{2,5}	4	7	5	4	4	3	5	4	5	6	7	5	4	4	4	4	5	5	4	6	4	1	2	6	5	3	3	4
PM₁₀	14	10	15	22	12	6	21	21	20	15	13	15	22	12	6	21	21	20	18	7	7	4	4	9	9	7	12	9
O₃	50	62	58	43	61	67	44	50	42	57	57	58	41	60	68	46	50	42	48	61	66	80	74	59	63	80	66	71
NO₂	28	13	16	27	19	20	25	18	27	16	15	16	28	19	17	25	18	27	23	18	18	12	16	20	15	6	15	11
SO₂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2

Таблица 34. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Осло. Весна 2017 г.

ПДК_{с.с} PM_{2,5}	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2
ПДК_{с.с} PM₁₀	0,5	0,2	0,4	0,8	0,3	0,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,8	0,4	0,2	0,7	0,6	0,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	
ПДК_{с.с} O₃	1,4	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,1	1,3	1,2	1,4	1,5	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,4	1,8	1,6	1,2	1,6	1,8	1,5	1,7	
ПДК_{с.с} NO₂	0,9	0,3	0,4	0,9	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,9	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3	

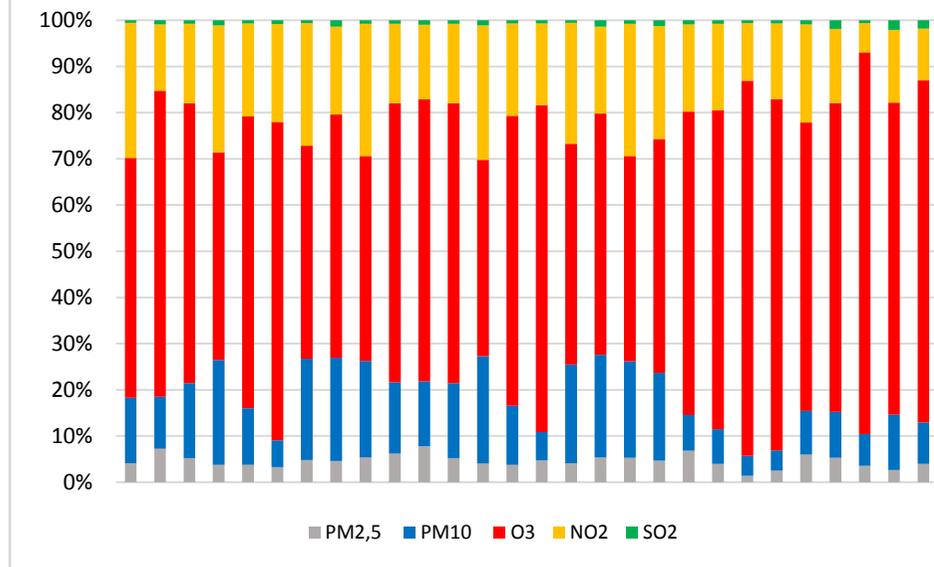


Рис.49. Доля ЗВ в КИЗА. Осло. Весна 2017 г.

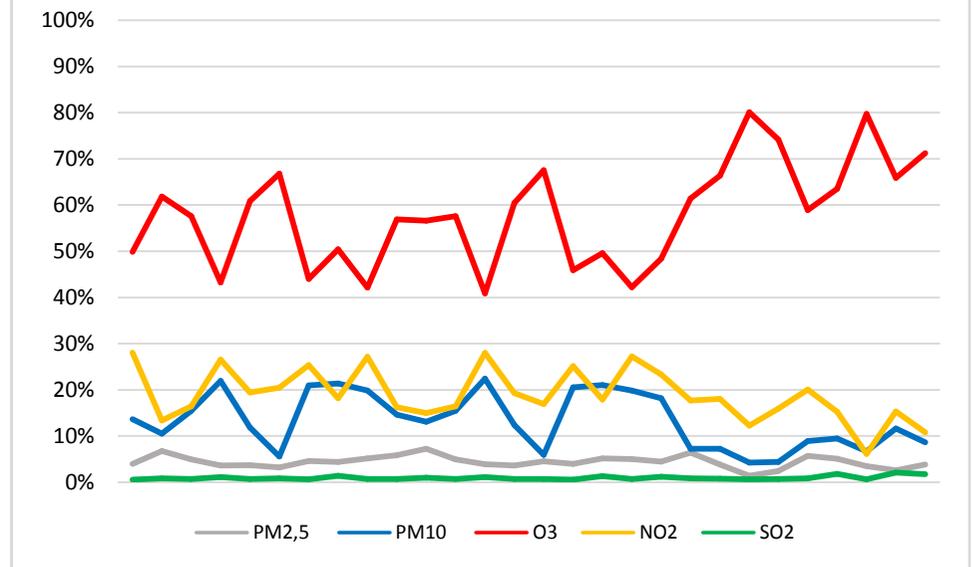


Рис.50. Распределение ЗВ в КИЗА. Осло. Весна 2017 г.

3.10 Париж

В г.Париж (Франция) по данным сайта находятся 15 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Париж Центр»(<http://aqicn.org/city/france/paris/paris-centre/>), представленный достаточным набором компонентов, а именно $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO .

В таблице 35 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.52) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 66; 2. PM_{10} – 27; 3. NO_2 – 23; 4. O_3 – 18; 5. CO – 3; 6. SO_2 – 2 (рис.53).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 51.).

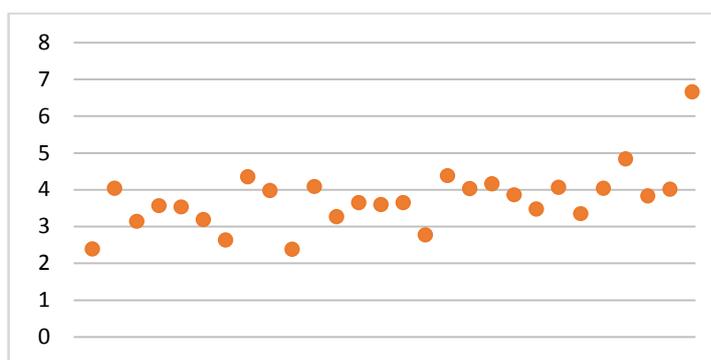


Рис. 51. КИЗА. Париж. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.36) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,4 до 4,8, что соответствует в зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Одно значение (6,7) находится в зоне повышенного уровня за счет увеличения содержания O_3 (рис.54, 55).

Средние значения ЗВ в КИЗА распределяются следующим образом: 1. O_3 -44%; 2. NO_2 - 21%; 3. $PM_{2,5}$ - 15%; 4. PM_{10} - 13%; 5. CO – 4%; 6. SO_2 - 2%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение практически всего периода наблюдений с 1,1 до 3,1 ПДК_{с.с}.(табл.37). Повышенные значения NO_2 достигают 1,1 ПДК_{с.с}. ПДК_{с.с} $PM_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , CO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 35. Расчетные среднесуточные значения AQI Париж. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	52	106	64	71	65	28	57	89	53	50	101	68	76	69	73	68	90	57	63	58	55	56	37	84	103	80	42	37
PM ₁₀ *	20	39	28	34	31	12	21	36	32	20	45	28	34	31	12	21	37	32	35	32	25	26	15	26	22	41	16	18
O ₃ ***	12	15	16	15	14	22	13	20	18	12	15	16	15	14	22	13	20	18	18	18	18	23	20	18	24	18	26	40
NO ₂ **	19	26	19	26	32	14	20	24	34	19	26	19	26	32	14	20	24	34	34	29	25	21	22	27	23	16	14	13
SO ₂ **	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CO***	4	4	3	4	5	2	3	3	5	4	4	3	4	5	2	3	3	5	5	5	4	3	3	4	3	2	3	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

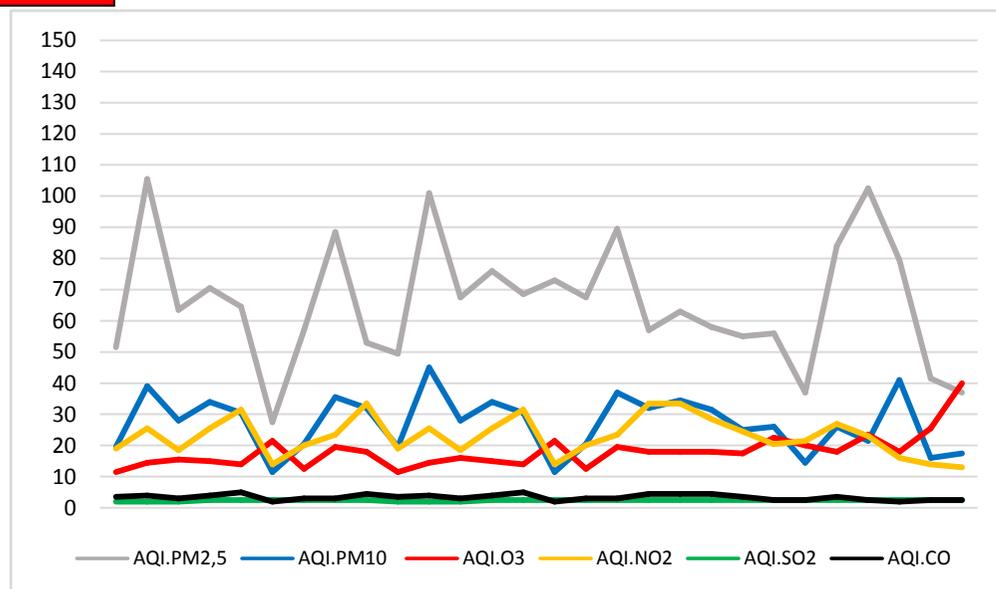


Рис. 52. AQIЗВ. Париж. Весна 2017 г.

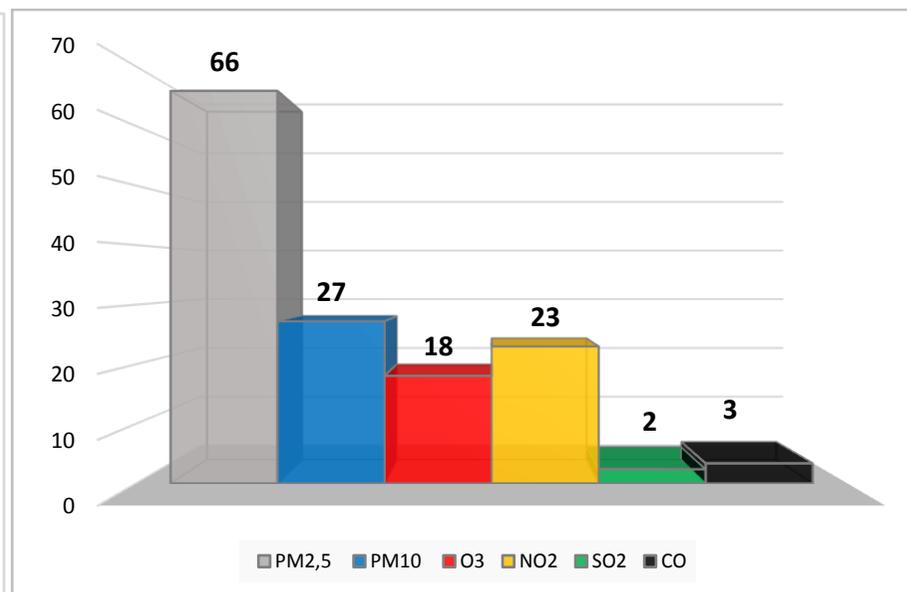


Рис. 53. Средний AQI за квартал. Париж. Весна 2017 г.

Таблица 36. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Париж. Весна 2017 г.

КИЗА	2,4	4,0	3,2	3,6	3,5	3,2	2,6	4,4	4,0	2,4	4,1	3,3	3,7	3,6	3,6	2,8	4,4	4,0	4,2	3,9	3,5	4,1	3,4	4,0	4,8	3,8	4,0	6,7
PM _{2,5}	15	26	16	17	15	6	16	20	9	14	25	17	19	16	18	21	20	11	12	11	11	10	8	20	21	19	7	4
PM ₁₀	15	17	16	17	16	6	14	15	14	15	20	15	17	15	6	13	15	14	15	15	13	12	8	12	8	19	7	5
O ₃	35	29	42	35	32	67	36	43	41	35	29	42	34	31	59	34	42	41	40	43	45	57	57	41	51	43	69	82
NO ₂	26	21	19	24	29	15	25	18	28	26	21	19	23	29	13	24	18	28	27	24	23	17	21	22	16	14	12	6
SO ₂	3	2	2	3	3	3	4	2	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	1
CO	6	4	4	5	6	3	5	3	4	6	4	4	4	5	2	5	3	4	4	5	4	3	3	4	2	2	3	2

Таблица 37. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Париж. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,4	1,1	0,5	0,6	0,5	0,2	0,4	0,9	0,4	0,3	1,0	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,9	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,8	1,0	0,7	0,3	0,3
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,2	0,4	0,6	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6	0,5	0,2	0,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,7	0,3	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	0,9	1,1	1,2	1,2	1,1	1,7	1,0	1,5	1,4	0,9	1,1	1,2	1,2	1,1	1,7	1,0	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,7	1,5	1,4	1,8	1,4	2,0	3,1
ПДК _{с.с} NO ₂	0,6	0,8	0,6	0,8	1,0	0,5	0,7	0,8	1,1	0,6	0,8	0,6	0,8	1,0	0,5	0,7	0,8	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,5	0,5	0,4

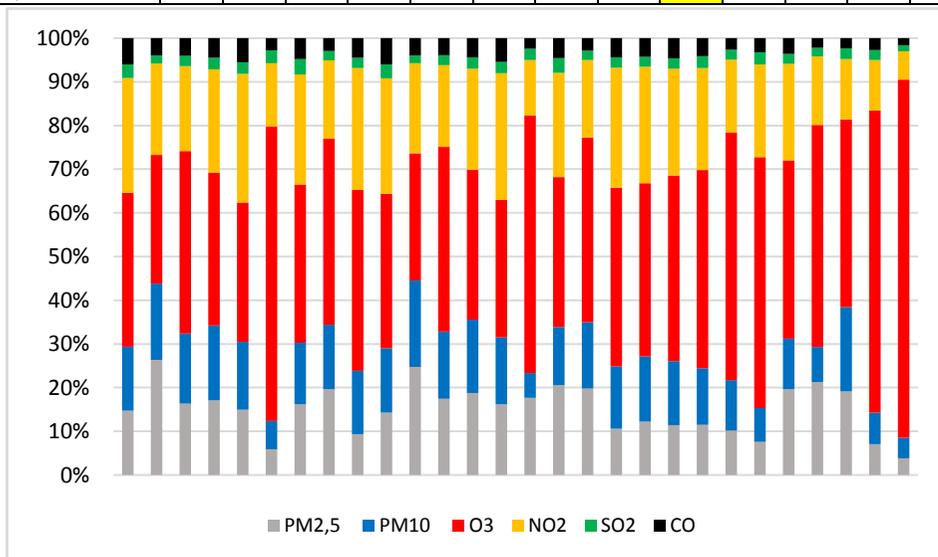


Рис.54. Доля ЗВ в КИЗА. Париж. Весна 2017 г.

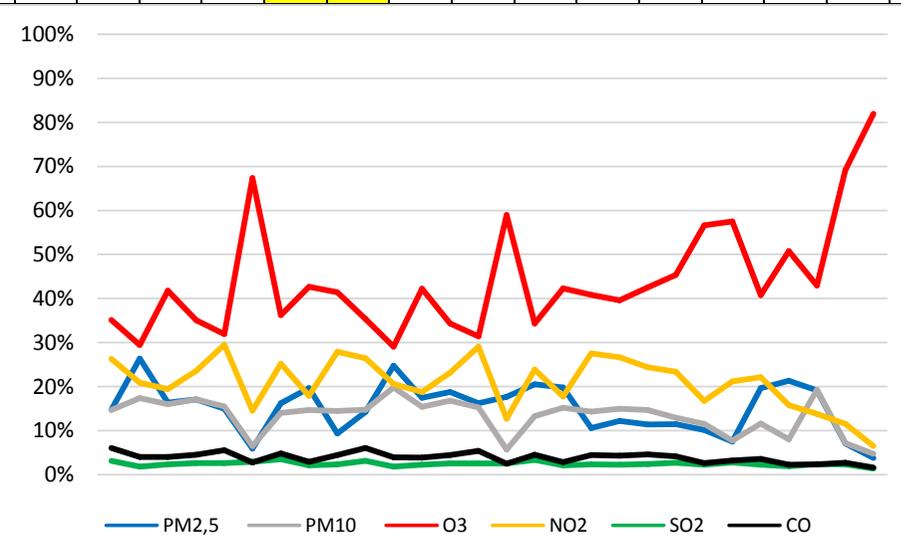


Рис.55. Распределение ЗВ в КИЗА. Париж. Весна 2017 г.

3.11 Прага

В г.Прага (Чехия) по данным сайта находится 13 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Пха2-Легерова» (<http://aqicn.org/city/czechrepublic/prague/pha2-legerova/>), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию CO на сайте не представлены.

В таблице 38 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.57) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 53; 2. NO_2 – 30; 3. PM_{10} – 23; 4. O_3 – 21; 5. SO_2 – 3 (рис.58).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 56.).

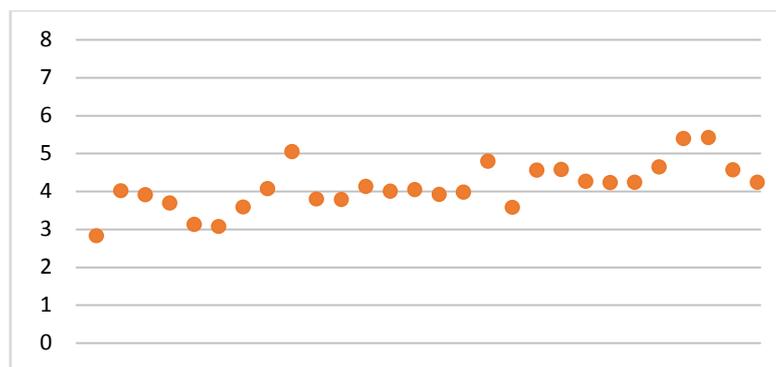


Рис. 56. КИЗА. Прага. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.39) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,8 до 5,0, что соответствует зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Два значения (5,4) попадают в зону повышенного уровня за счет увеличения содержания NO_2 (рис.59, 60).

По данным таблицы 39 средний процент ЗВ в КИЗА составляет:

1. O_3 – 50%; 2. NO_2 – 24%; 3. $PM_{2,5}$ и PM_{10} – 11%; 4. SO_2 – 4%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение практически всего периода наблюдений с 1,2 до 2,6 ПДК_{с.с}. (табл.40). Повышенные значения NO_2 достигают 1,4 ПДК_{с.с}. ПДК_{с.с} $PM_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 38. Расчетные среднесуточные значения AQI.Прага. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	32	79	87	62	51	36	69	47	51	57	52	59	65	58	63	84	83	73	73	36	32	31	35	32	41	26	32	33
PM ₁₀ *	12	33	32	30	21	12	34	19	28	30	33	34	33	31	24	25	20	23	28	16	25	12	23	13	18	16	13	15
O ₃ ***	17	17	16	18	17	20	16	21	22	22	18	20	19	20	22	18	24	17	22	24	24	25	24	25	29	33	28	24
NO ₂ **	19	34	32	31	25	18	30	34	44	19	34	32	31	32	24	30	33	32	35	42	28	27	28	39	42	23	27	36
SO ₂ **	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	4	4	6	4	6	4	3	4	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

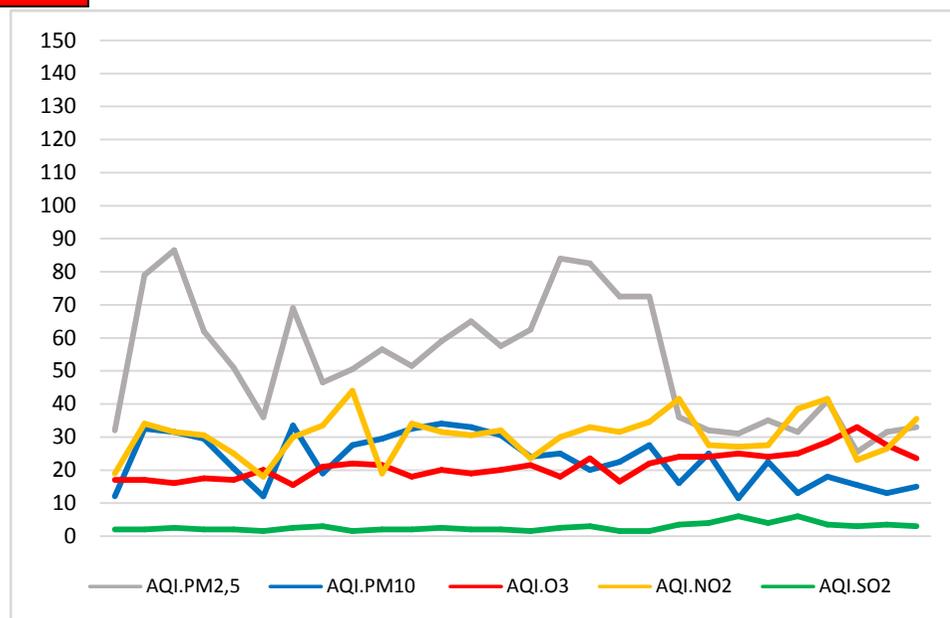


Рис.57. AQI 3В. Прага. Весна 2017 г.

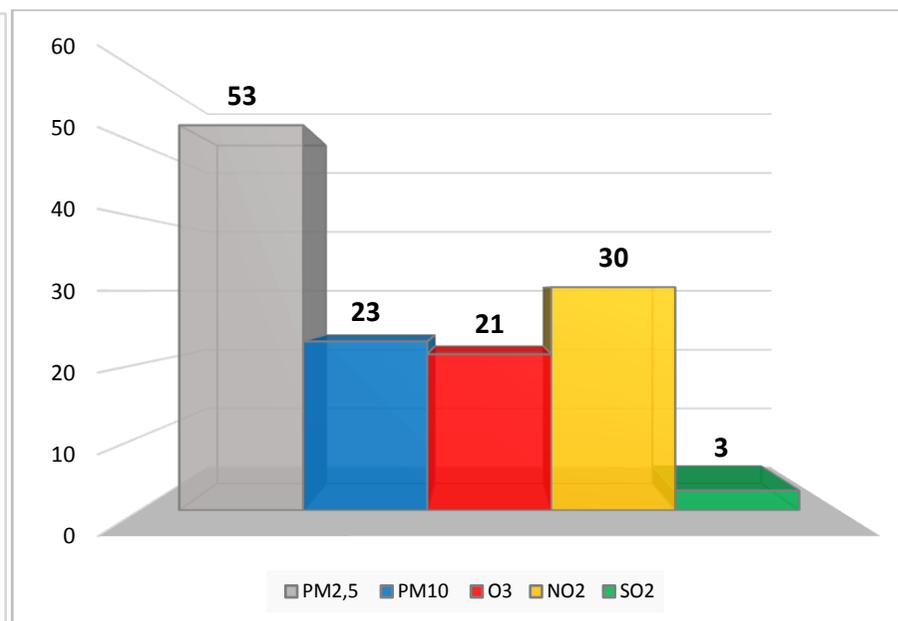


Рис. 58. Средний AQI за квартал. Прага. Весна 2017 г

Таблица 39. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Прага. Весна 2017 г.

КИЗА	2,8	4,0	3,9	3,7	3,1	3,1	3,6	4,1	5,0	3,8	3,8	4,1	4,0	4,0	3,9	4,0	4,8	3,6	4,6	4,3	4,2	4,2	4,6	5,4	5,4	4,6	4,2	2,8
PM _{2,5}	8	18	21	13	11	14	16	8	7	11	9	11	13	11	13	20	16	18	14	5	5	6	5	5	3	5	5	8
PM ₁₀	8	15	15	14	12	13	17	8	10	14	15	15	15	14	11	11	8	11	11	11	5	10	5	6	5	5	6	8
O ₃	53	38	35	43	48	29	37	51	44	56	43	47	45	48	55	41	51	40	49	59	64	60	58	61	75	68	58	53
NO ₂	22	28	27	27	26	22	28	27	29	17	30	25	25	26	20	25	23	29	25	21	21	21	27	26	14	19	28	22
SO ₂	9	2	2	2	2	22	3	5	10	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	3	5	4	5	2	2	3	3	9

Таблица 40. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Прага. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,2	0,7	0,8	0,5	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,8	0,8	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,2	0,6	1,0	0,5	0,4	0,4	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	1,3	1,3	1,1	1,4	1,3	0,9	1,2	1,6	1,7	1,7	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,4	1,8	1,3	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,2	2,6	2,1	1,8
ПДК _{с.с} NO ₂	0,6	1,1	1,2	1,0	0,8	0,7	1,0	1,1	1,5	0,6	1,1	1,0	1,0	1,1	0,8	1,0	1,1	1,0	1,1	1,4	0,9	0,9	0,9	1,3	1,4	0,8	0,9	1,2

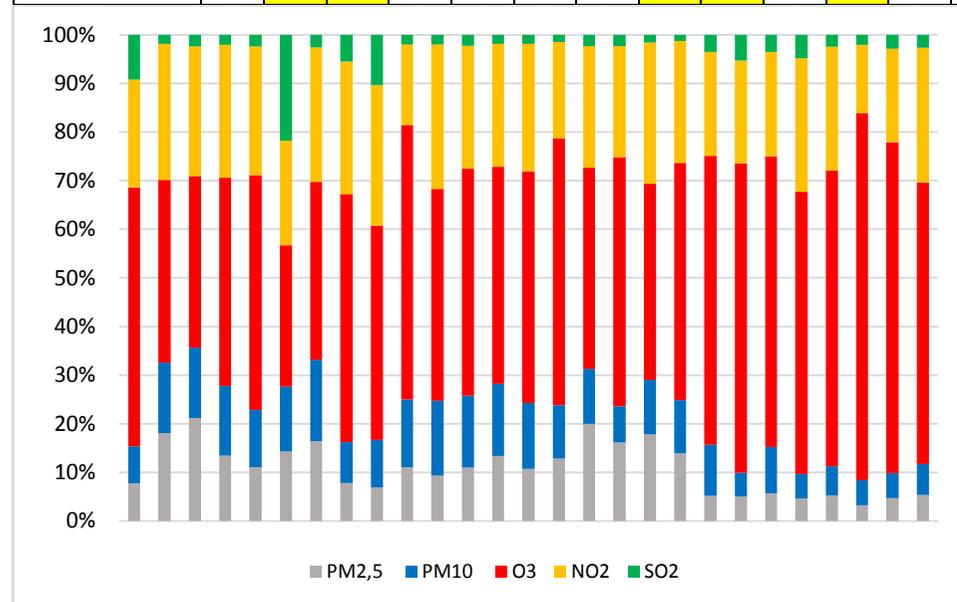


Рис.59. Доля ЗВ в КИЗА. Прага. Весна 2017 г.

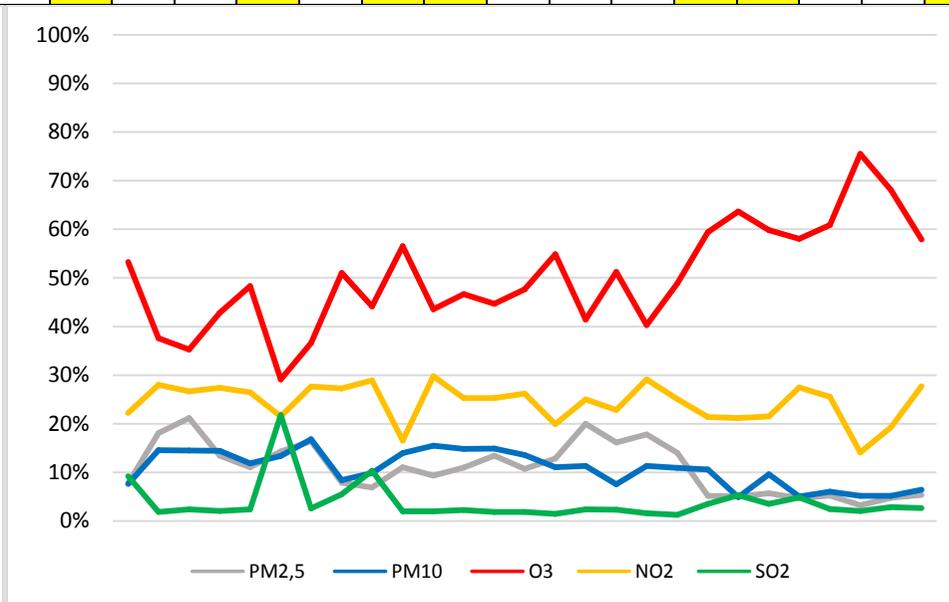


Рис.60. Распределение ЗВ в КИЗА. Прага. Весна 2017 г.

3.12 Таллинн

В г.Таллинн (Эстония) по данным сайта находится 4 пункта мониторинга. Мной был выбран пункт «Лиивалаиа» (<http://aqicn.org/city/estonia/liivalaia/>), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию CO на сайте не представлены.

В таблице 41 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.62) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. PM_{10} – 26; 2. O_3 – 23; 3. $PM_{2,5}$ – 19; 4. NO_2 – 12; 5. SO_2 – 1 (рис.63).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 61).

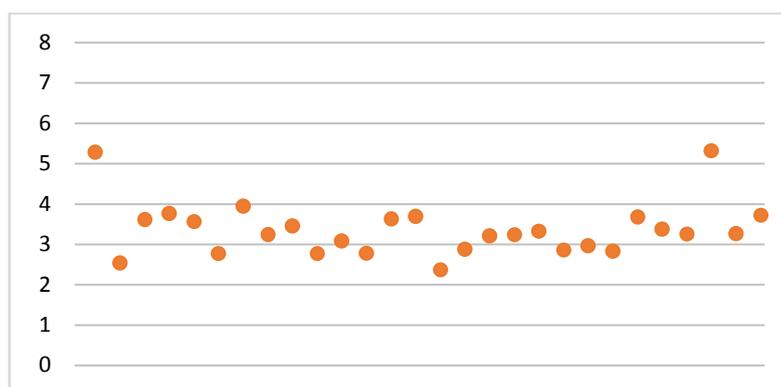


Рис. 61. КИЗА. Таллинн. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.42) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,4 до 5,3. 26 значений – в зоне низкого, а 2 – в зоне повышенного уровня загрязнения атмосферы.

По данным таблицы 42 средний процент ЗВ в КИЗА составляет (рис. 64, 65):

1. O_3 - 69%; 2. PM_{10} – 14%; 3. NO_2 – 12%; 4. $PM_{2,5}$ – 4%; 5. SO_2 - 1%.

Превышений нормированных на $ПДК_{с.с}$ концентраций ни по одной из примесей за все время наблюдения не выявлено. Однако концентрации O_3 выше по сравнению с другими ЗВ (табл. 43).

Таблица 41. Расчетные среднесуточные значения AQI.Таллинн. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	31	7	28	28	5	22	9	20	15	22	16	12	15	20	20	24	19	24	16	15	22	10	15	20	23	31	20	17
PM ₁₀ *	47	20	20	20	18	22	27	32	29	22	21	24	21	23	23	23	23	23	26	27	30	27	24	31	39	40	18	23
O ₃ ***	31	20	26	27	27	19	28	21	23	19	23	20	25	25	16	20	22	22	23	20	20	20	25	21	19	30	23	25
NO ₂ **	17	8	6	8	8	13	7	16	13	13	7	10	13	13	13	13	13	13	13	10	10	10	13	20	18	25	13	17
SO ₂ **	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

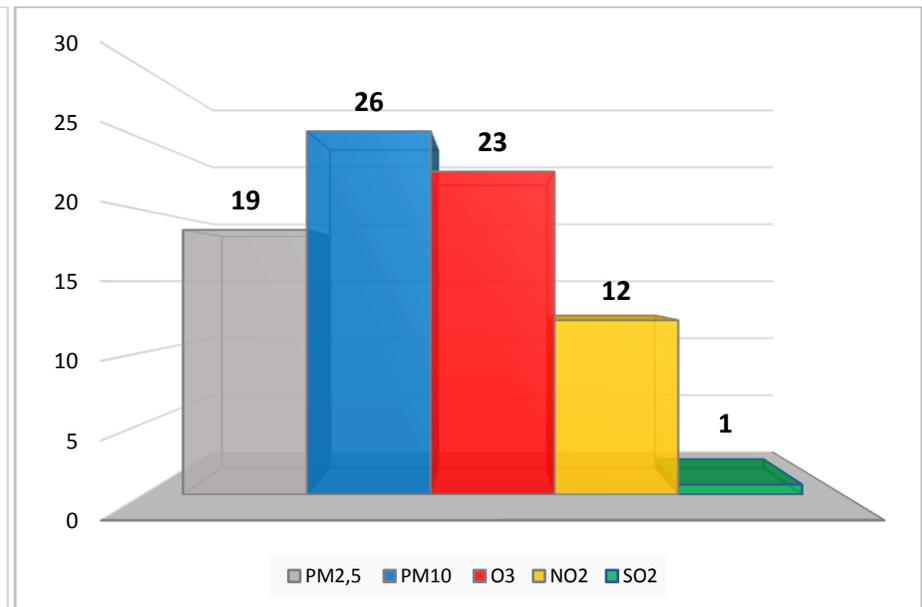
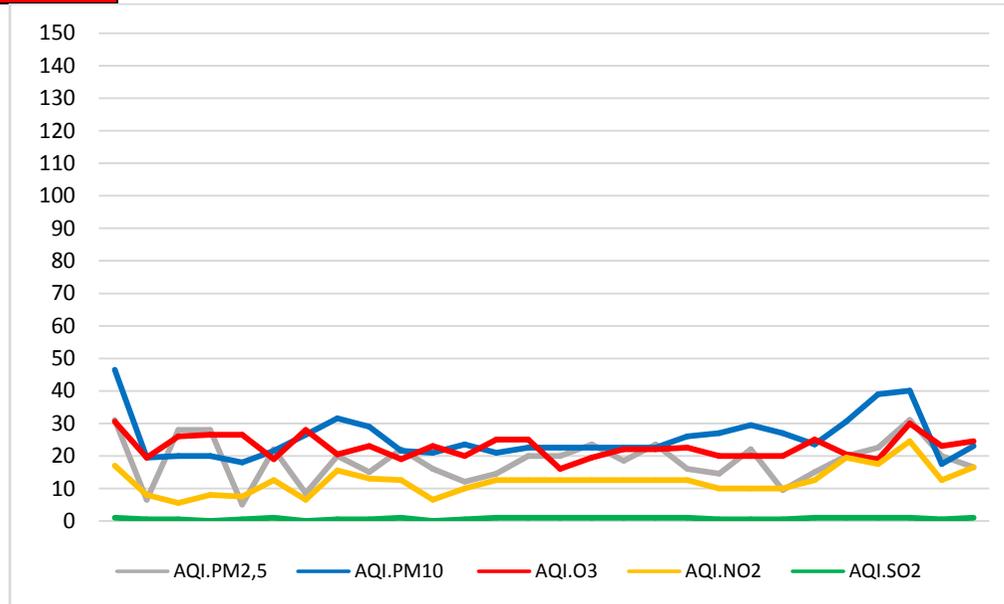


Таблица 42. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Таллинн. Весна 2017 г.

КИЗА	5,3	2,5	3,6	3,8	3,6	2,8	3,9	3,2	3,5	2,8	3,1	2,8	3,6	3,7	2,4	2,9	3,2	3,2	3,3	2,9	3,0	2,8	3,7	3,4	3,3	5,3	3,3	3,7
PM _{2,5}	4	2	5	5	1	5	1	4	3	5	4	3	3	4	6	6	4	5	3	3	5	2	3	4	5	4	4	3
PM ₁₀	16	14	10	10	9	14	12	18	15	14	12	15	10	11	17	14	13	12	14	17	18	17	12	16	22	14	10	11
O ₃	69	73	79	78	82	64	81	62	69	64	77	69	74	73	58	65	69	69	69	67	65	68	73	59	55	67	73	70
NO ₂	11	10	5	7	7	15	5	16	12	15	7	12	11	11	17	14	13	13	12	12	11	12	11	19	18	15	13	15
SO ₂	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 43. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Таллинн. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,9	0,2	0,8	0,8	0,1	0,6	0,2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,3	0,4	0,6	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,6	0,6	0,9	0,6	0,9	
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,7	0,3	0,8	
ПДК _{с.с} O ₃	1,0	0,7	0,9	0,9	0,9	0,6	0,9	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	1,0	0,8	1,0
ПДК _{с.с} NO ₂	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	

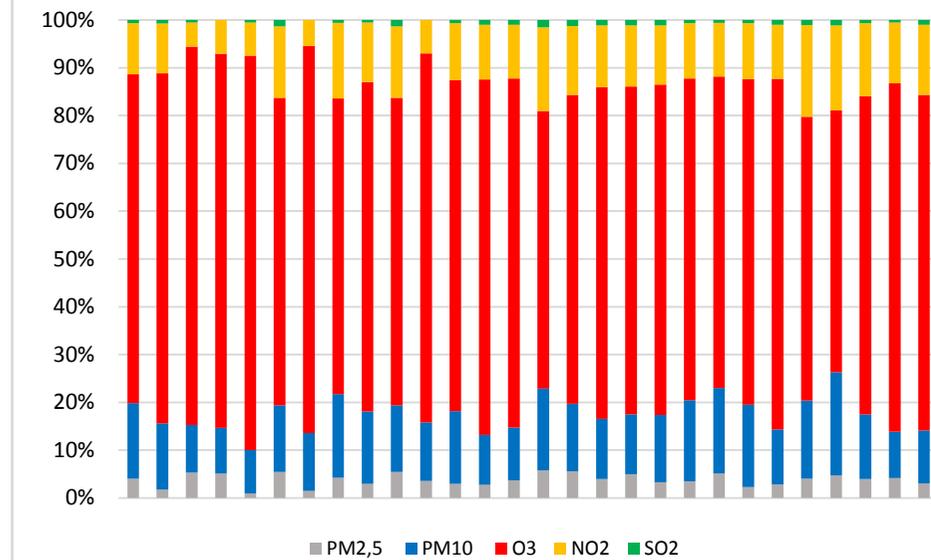


Рис.64. Доля ЗВ в КИЗА. Таллинн. Весна 2017 г.

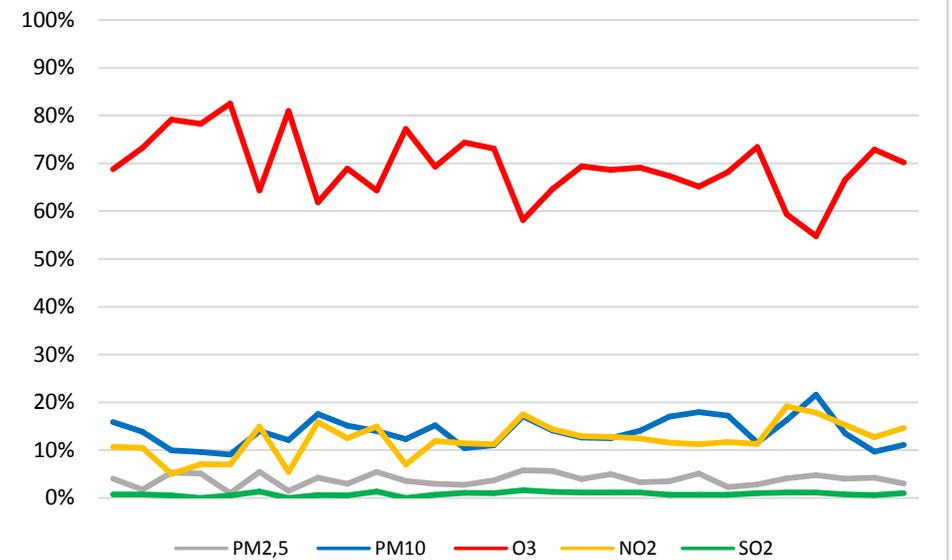


Рис.65. Распределение ЗВ в КИЗА. Таллинн. Весна 2017 г.

3.13 Тарту

В г.Тарту (Эстония) по данным сайта находится 1 пункт мониторинга «Тарту» (<http://aqicn.org/city/estonia/tartu/>), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 . Данные по содержанию CO на сайте не представлены.

В таблице 44 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.67) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 51; 2. PM_{10} – 31; 3. O_3 – 24; 4. NO_2 – 11; 5. SO_2 – 1 (рис.68).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис.66).

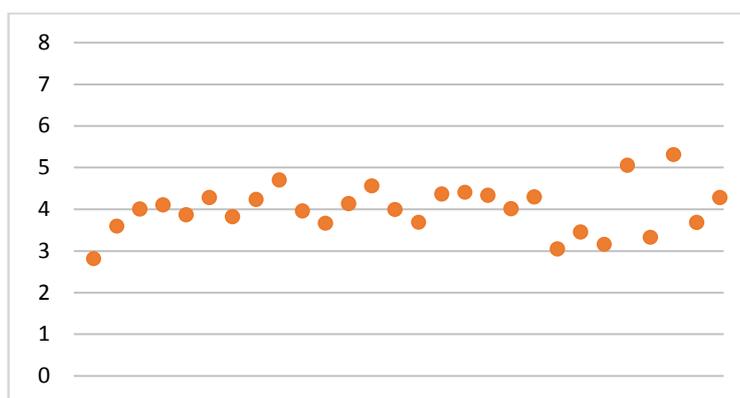


Рис. 66. КИЗА. Тарту. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,8 до 5,3. 26 значений – в зоне низкого, а 2 – в зоне повышенного уровня загрязнения атмосферы.

По данным таблицы 45 средний процент ЗВ в КИЗА составляет (рис. 69, 70):

1. O_3 – 65%;
2. PM_{10} – 14%;
3. NO_2 – 9%;
4. $PM_{2,5}$ – 5%;
5. SO_2 – 1%.

Сравнение нормированных на $ПДК_{с.с.}$ концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до 1,2 до 2,8 $ПДК_{с.с.}$ (табл. 46). 3 значения PM_{10} поднимаются до 1.3 $ПДК_{с.с.}$. $ПДК_{с.с.}$ $PM_{2,5}$, NO_2 , SO_2 за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 44. Расчетные среднесуточные значения AQI.Тарту. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	51	86	90	32	31	90	30	21	80	110	91	89	47	49	63	44	47	63	58	36	31	17	23	27	37	32	33	32
PM ₁₀ *	21	48	49	29	20	55	23	18	62	23	48	48	30	20	47	38	18	62	49	29	18	12	12	17	28	6	16	17
O ₃ ***	18	15	18	28	27	18	27	31	20	20	15	19	30	27	18	28	31	19	20	29	23	26	24	35	22	36	27	31
NO ₂ **	15	18	17	7	10	18	5	4	22	16	18	19	7	11	18	5	4	22	22	5	4	7	8	5	9	9	4	3
SO ₂ **	1	3	3	1	1	3	1	1	2	2	3	3	1	1	3	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

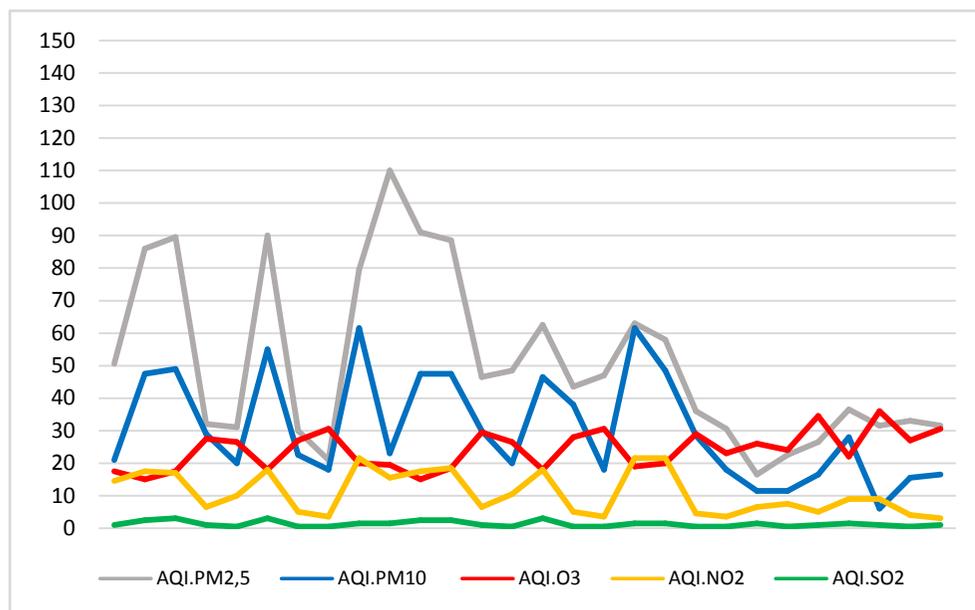


Рис.67. AQI 3В. Тарту. Весна 2017 г.

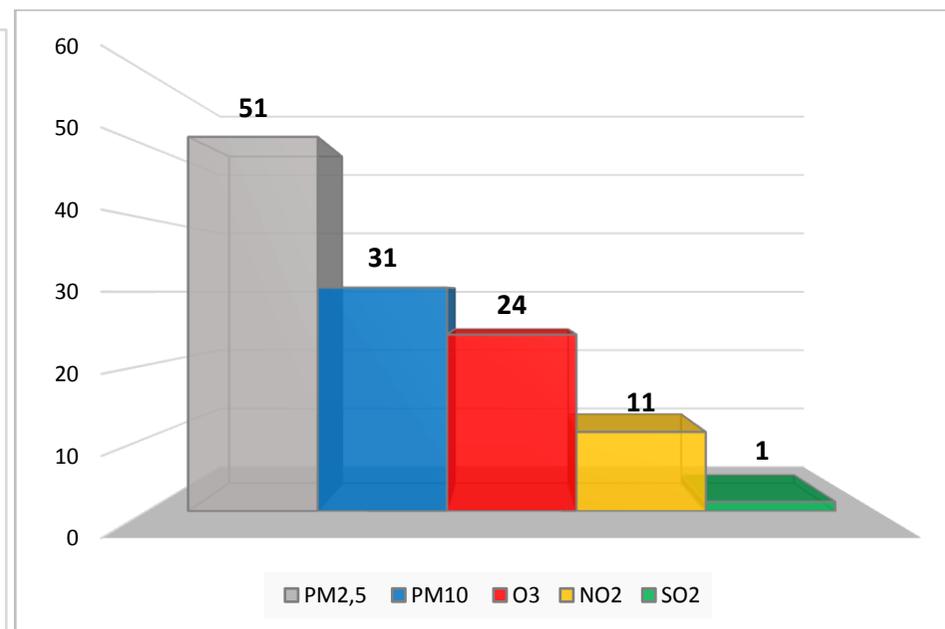


Рис. 63. Средний AQI за квартал. Тарту. Весна 2017 г

Таблица 45. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Тарту. Весна 2017 г.

КИЗА	2,8	3,6	4,0	4,1	3,9	4,3	3,8	4,2	4,7	4,0	3,7	4,1	4,6	4,0	3,7	4,4	4,4	4,3	4,0	4,3	3,0	3,5	3,2	5,1	3,3	5,3	3,7	4,3
PM _{2,5}	6	11	11	3	3	10	3	2	8	14	12	10	3	4	7	3	4	6	5	3	3	2	2	2	4	2	3	3
PM ₁₀	13	24	22	13	9	25	11	8	27	10	23	21	12	9	23	16	7	29	22	12	11	6	7	6	15	2	8	7
O ₃	56	35	39	76	76	38	79	86	41	47	34	42	76	74	45	73	82	41	48	78	78	83	80	87	67	88	82	85
NO ₂	17	16	14	5	9	14	4	3	15	13	16	15	5	9	16	4	3	16	18	3	4	6	8	3	9	6	4	2
SO ₂	1	3	3	1	0	3	0	0	1	1	3	2	1	0	3	0	0	1	1	0	1	2	1	1	2	1	1	1

Таблица 46. ПДК_{с.с} основныхЗВ. Тарту. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,3	0,8	0,9	0,2	0,2	0,9	0,2	0,1	0,7	1,1	0,9	0,9	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,4	0,9	0,9	0,5	0,4	1,1	0,4	0,3	1,3	0,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,8	0,7	0,3	1,3	0,9	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,1	0,3	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	1,4	1,2	1,4	2,1	2,1	1,4	2,1	2,4	1,5	1,5	1,2	1,4	2,3	2,1	1,4	2,2	2,4	1,5	1,5	2,2	1,8	2,0	1,9	2,7	1,7	2,8	2,1	2,4
ПДК _{с.с} NO ₂	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,6	0,2	0,1	0,7	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,6	0,2	0,1	0,7	0,7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1



Рис.69. Доля ЗВ в КИЗА. Тарту. Весна 2017 г.

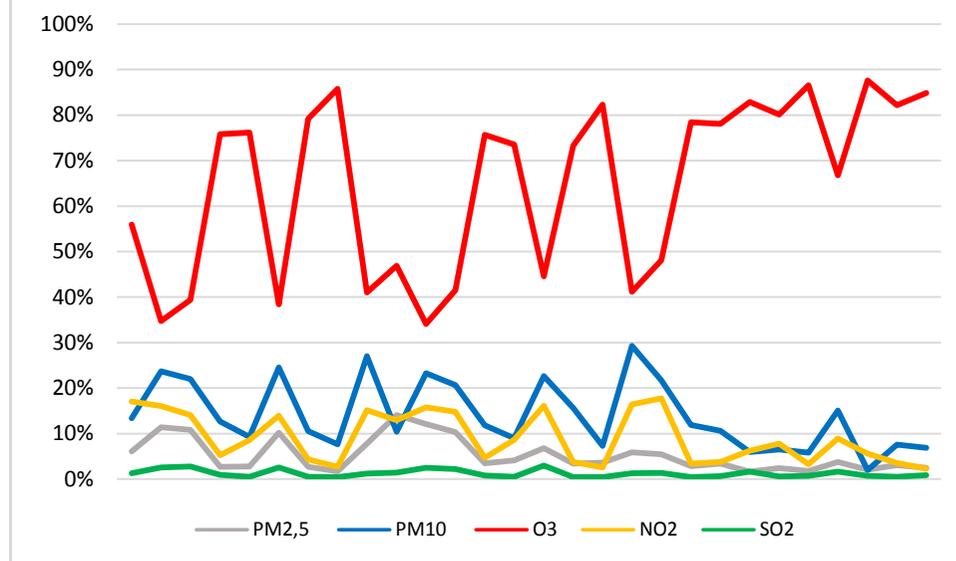


Рис.70. Распределение ЗВ в КИЗА. Тарту. Весна 2017 г.

3.14 Хельсинки

В г.Хельсинки (Финляндия) по данным сайта находится 6 пунктов мониторинга. Мною был выбран пункт «Маннерхайминти» (<http://aqicn.org/city/finland/helsinki/mannerheimintie/>), представленный рядом компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 .

В таблице 47 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. Значения всех компонентов находятся в «зеленой» (хорошей) зоне. По данным (рис.72) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 31; 2. PM_{10} – 28; 3. NO_2 - 16; 4. SO_2 – 2 (рис.73).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 71.).

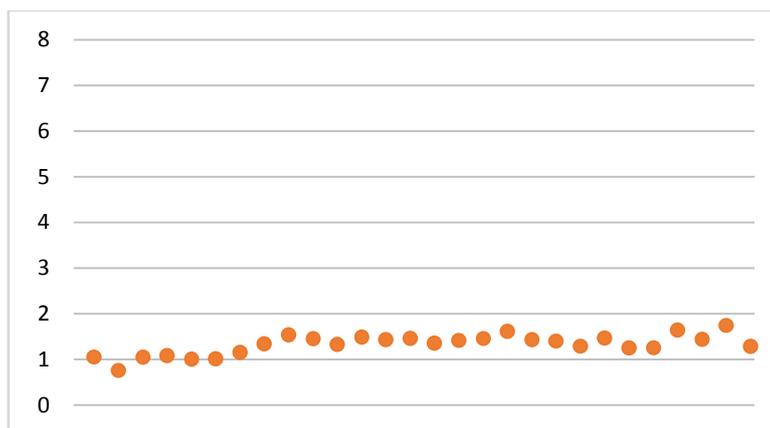


Рис.71. КИЗА. Хельсинки. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.48) показывает, что значения находятся в диапазоне от 0,8 до 1,7, соответствующей зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Можно предположить, что низкие значения КИЗА обусловлены отсутствием данных по концентрациям O_3 .

По рассчитанным данным средний процент ЗВ в КИЗА составляет (рис. 74, 75): 1. NO_2 – 41%; 2. PM_{10} - 38%; 3. $PM_{2,5}$ - 16%; 4. SO_2 - 5%.

Концентрации всех примесей нормированных на $ПДК_{с.с}$ менее 1 (табл.49).

Таблица 47. Расчетные среднесуточные значения AQI. Хельсинки. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	37	23	36	36	22	21	26	45	38	33	28	34	35	29	28	34	32	33	29	33	28	29	23	25	32	34	34	29
PM ₁₀ *	16	13	22	22	12	24	27	28	31	31	29	33	34	31	29	32	29	33	31	29	26	32	25	27	39	35	54	26
NO ₂ **	15	11	12	13	10	13	15	15	19	18	16	18	15	19	18	18	22	22	18	18	17	19	18	18	22	17	15	16
SO ₂ **	1	1	1	1	9	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	2	3	2	3	2	2	1	1	1	1	3

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

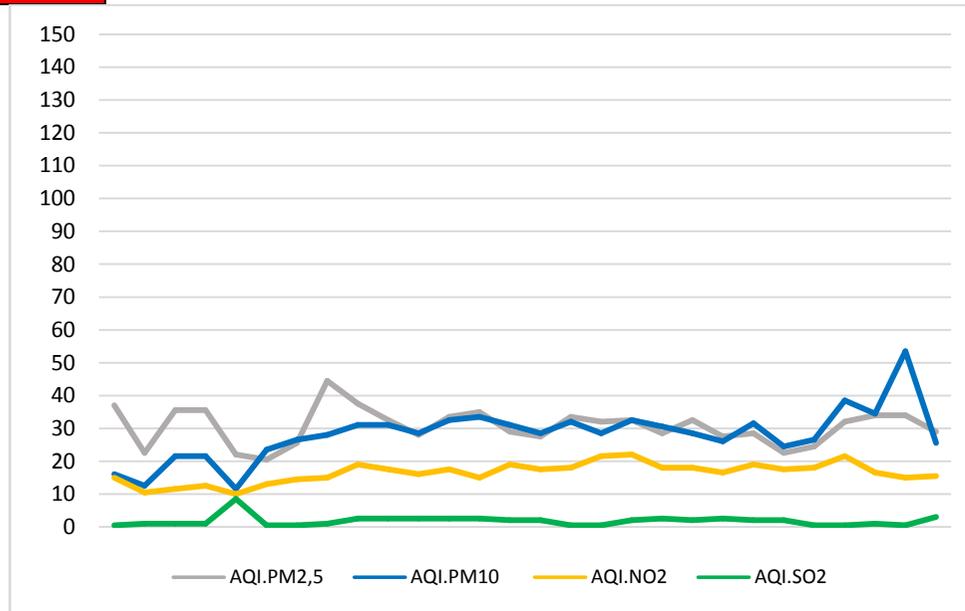


Рис.72. AQI ЗВ. Хельсинки. Весна 2017 г.

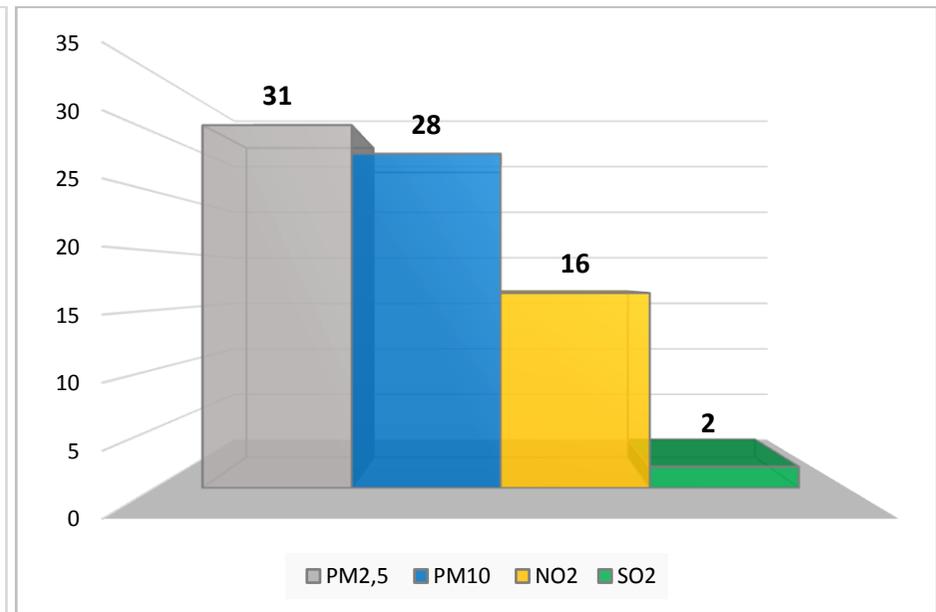


Рис. 73. Средний AQI за квартал. Хельсинки. Весна 2017 г.

Таблица 48. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Хельсинки. Весна 2017 г.

КИЗА	1,1	0,8	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2	1,3	1,5	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,3	1,6	1,4	1,7	1,3
PM _{2,5}	24	20	23	22	15	14	15	23	17	15	14	15	17	14	14	16	15	14	14	16	15	13	12	13	13	16	13	15
PM ₁₀	27	29	37	36	21	42	41	38	36	38	39	39	42	38	38	41	35	36	38	36	36	39	35	38	42	43	57	36
NO ₂	47	45	36	38	33	43	42	37	41	40	40	39	35	43	43	42	49	45	42	42	42	43	46	47	43	38	28	40
SO ₂	2	5	4	3	31	2	2	3	6	6	7	6	6	5	5	1	1	5	6	5	7	5	6	1	1	3	1	9

Таблица 49. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Хельсинки. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,7	0,6	1,0	0,5
ПДК _{с.с} NO ₂	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5

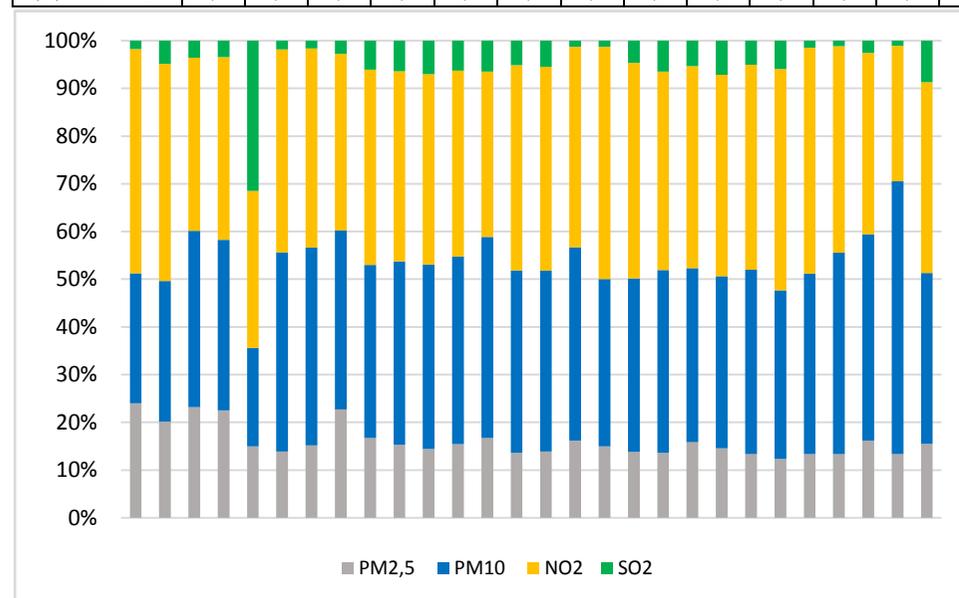


Рис.74. Доля ЗВ в КИЗА. Хельсинки. Весна 2017 г.

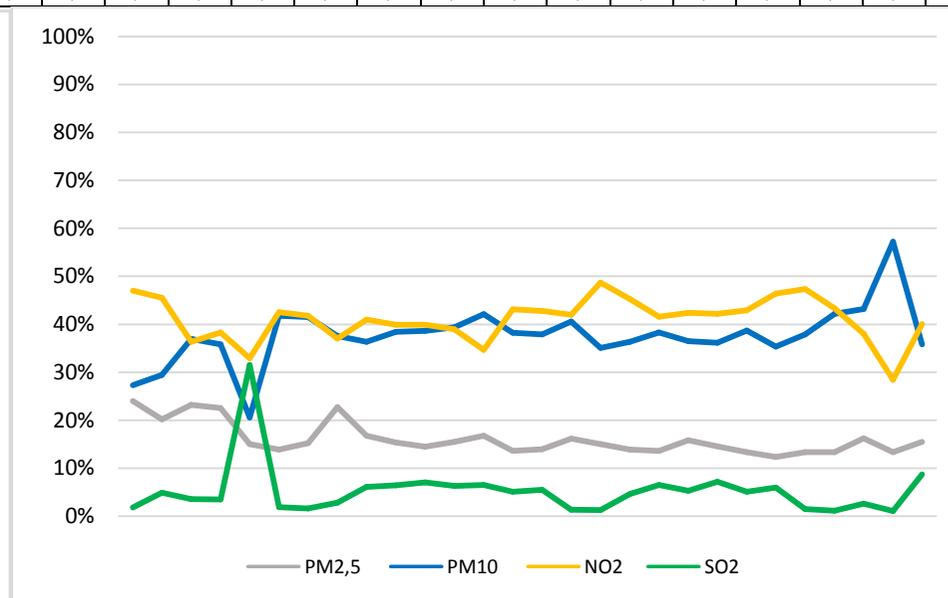


Рис. 75. Распределение ЗВ в КИЗА. Хельсинки. Весна 2017 г.

3.15 Римини

В г.Римини (Италия) по данным сайта находится 2 пункта мониторинга. Мной был выбран пункт «Маричиа» (<http://aqicn.org/city/italy/emilia-romagna/marecchia/>), представленный следующими компонентами: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 .

В таблице 50 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.77) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 81; 2. O_3 – 36; 2. NO_2 - 30; 3. PM_{10} – 14 (рис.78).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 76).

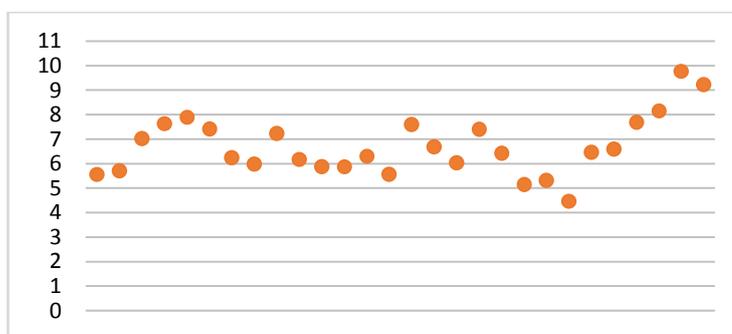


Рис. 76. КИЗА. Римини. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл. 51) показывает, что значения находятся в диапазоне от 4,5 до 9,8. Таким образом около половины значений расположено в зоне повышенного уровня загрязнения атмосферы (5-7), другая половина – в зоне высокого уровня (7-14), что обусловлено высокими концентрациями O_3 (рис. 79, 80).

По данным средний процент ЗВ в КИЗА составляет:

1. O_3 –70%;
2. NO_2 – 15%;
3. $PM_{2,5}$ – 11%;
4. PM_{10} –4%.

Сравнение нормированных на $ПДК_{с.с}$ концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение практически всего периода наблюдений с 2,3 до 4,1 $ПДК_{с.с}$. (табл.52). Повышенные значения NO_2 достигают 1,6 $ПДК_{с.с}$. $ПДК_{с.с}PM_{2,5}$ имеет превышения в трех точках, PM_{10} , за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 50. Расчетные среднесуточные значения AQI.Римини. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	72	68	101	121	128	82	101	113	100	92	93	90	95	93	94	82	81	71	67	58	71	32	66	56	61	57	66	60
PM ₁₀ *	15	19	23	23	32	18	21	18	21	20	20	24	25	9	8	8	10	9	8	4	4	4	8	10	9	8	11	8
O ₃ ***	30	30	35	35	36	39	31	29	35	30	30	30	30	31	41	39	36	42	37	33	33	30	39	40	44	46	58	51
NO ₂ **	34	40	47	49	44	33	34	34	45	44	35	34	44	26	26	19	17	26	26	20	20	20	19	17	26	26	24	24

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

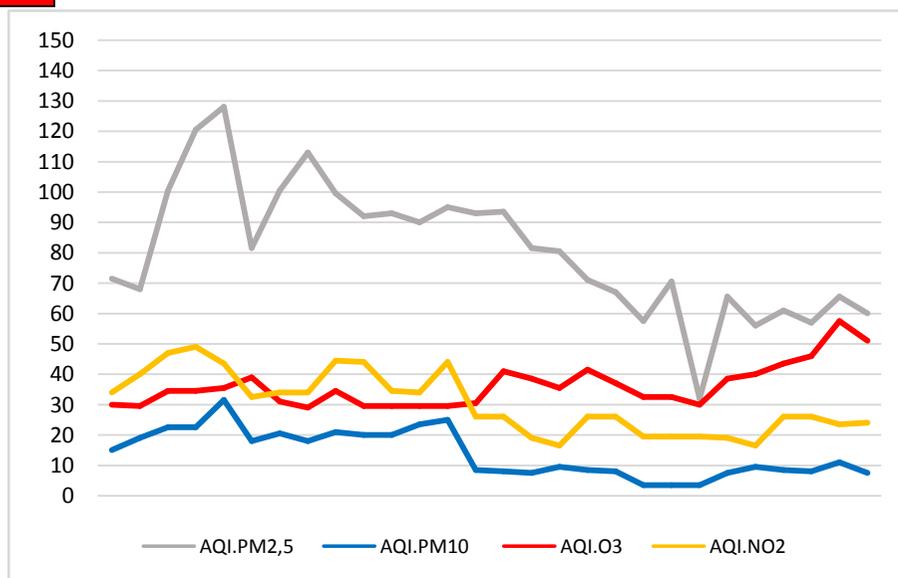


Рис.77. AQI ЗВ. Римини. Весна 2017 г.

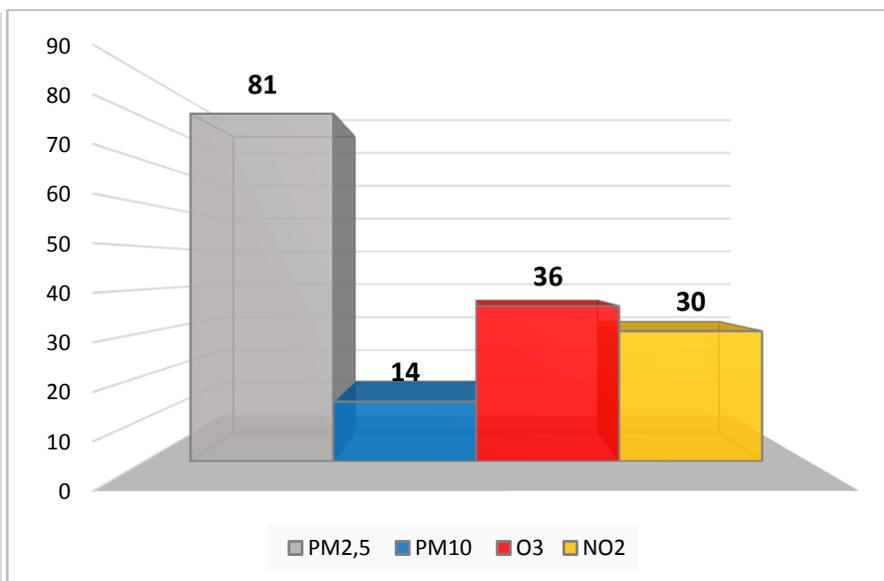


Рис. 78. Средний AQI за квартал. Хельсинки. Весна 2017 г.

Таблица 51. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Римини. Весна 2017 г.

КИЗА	5,6	5,7	7,0	7,6	7,9	7,4	6,2	6,0	7,2	6,2	5,9	5,9	6,3	5,6	7,6	6,7	6,0	7,4	6,4	5,1	5,3	4,5	6,5	6,6	7,7	8,2	9,8	9,2
PM _{2,5}	11	10	10	16	17	10	16	19	14	15	16	15	15	16	12	11	12	8	9	8	11	5	8	6	6	5	6	5
PM ₁₀	5	6	6	5	7	4	6	5	5	6	6	7	7	3	2	2	3	2	2	1	1	1	2	3	2	2	2	1
O ₃	64	61	62	57	58	71	60	56	60	56	59	59	55	65	75	77	76	78	76	78	75	79	80	83	81	82	84	85
NO ₂	20	23	22	21	18	15	18	19	20	24	19	19	23	15	11	9	9	12	13	13	12	14	10	8	11	11	8	9

Таблица 52. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Римини. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,6	0,6	0,7	1,2	1,3	0,8	1,0	1,2	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4	0,6	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	
ПДК _{с.с} O ₃	2,3	2,3	2,7	2,7	2,8	3,0	2,4	2,2	2,7	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	3,2	3,0	2,8	3,2	2,9	2,5	2,5	2,3	3,0	3,1	3,4	3,6	4,1	3,9	
ПДК _{с.с} NO ₂	1,1	1,3	1,6	1,6	1,4	1,1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,1	1,1	1,5	0,9	0,9	0,6	0,5	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,9	0,9	0,8	0,8	

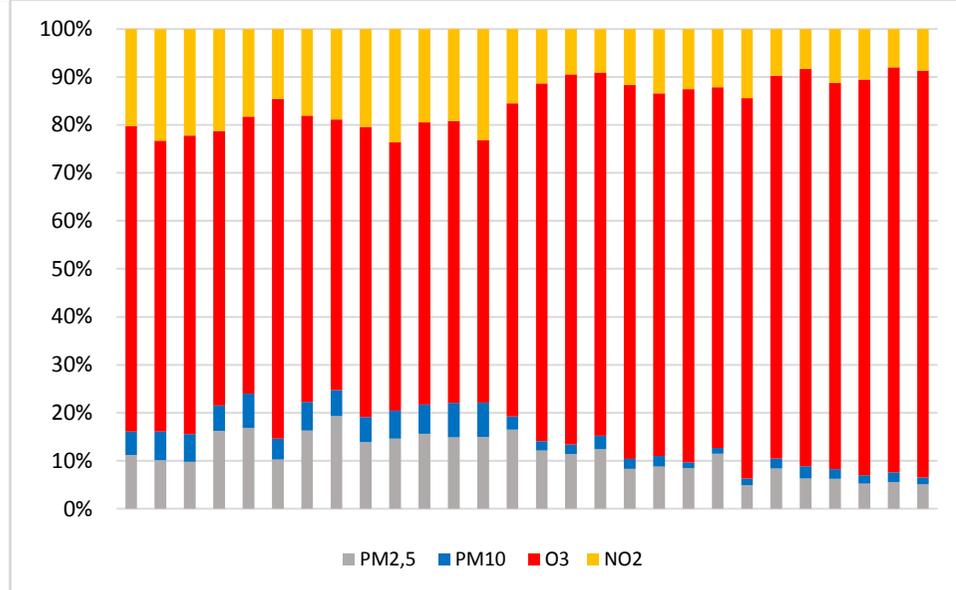


Рис.79. Доля ЗВ в КИЗА. Римини. Весна 2017 г.

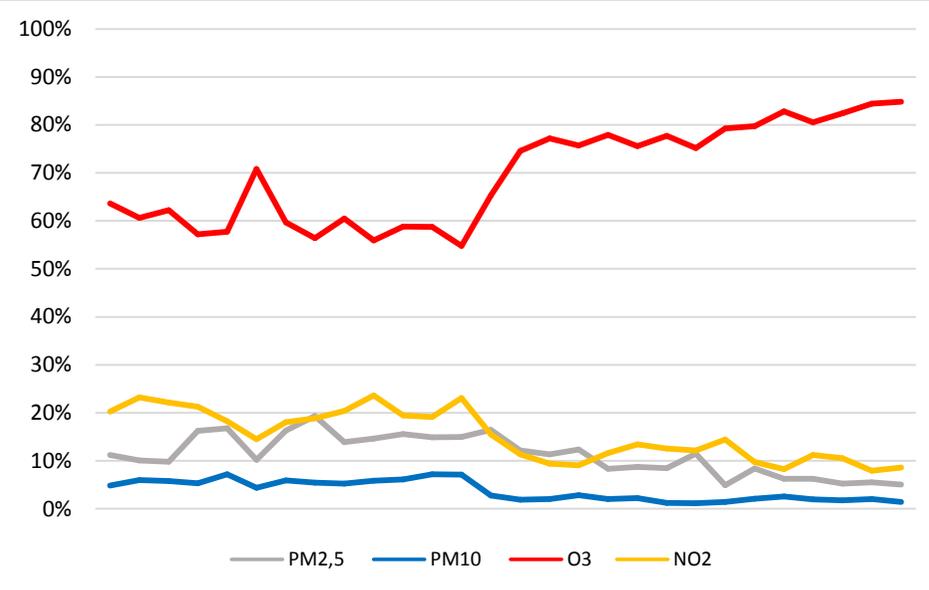


Рис.80. Распределение ЗВ в КИЗА. Римини. Весна 2017 г.

3.16 Роттердам

В г.Роттердам (Нидерланды) по данным сайта находится 2 пункта мониторинга. Мной был выбран пункт «Роттердам» (<http://aqicn.org/city/rotterdam/>), представленный следующими компонентами: $PM_{2,5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 .

В таблице 53 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.82) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. $PM_{2,5}$ – 44; 2. NO_2 - 26; 3. PM_{10} – 20; 4. O_3 – 18-(рис.83).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис.81).

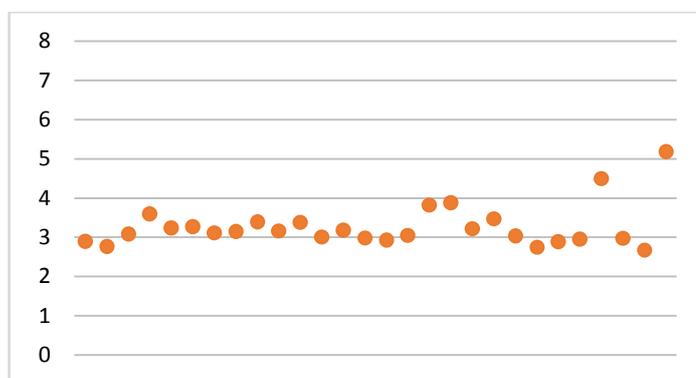


Рис. 81. КИЗА. Роттердам. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.54) показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,7 до 4,5, соответствующей зоне низкого уровня загрязнения атмосферы (рис. _). Одно значение (5,2) попадает в зону повышенного уровня.

По данным таблицы средний процент ЗВ в КИЗА составляет (рис. 84, 85):

1. O_3 - 52%; 2. NO_2 – 27%; 3. PM_{10} - 11%; 4. $PM_{2,5}$ - 10%.

Сравнение нормированных на $ПДК_{с.с}$ концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение практически всего периода наблюдений до 1,7 $ПДК_{с.с}$. (табл.55). Повышенные значения NO_2 достигают 1,3 $ПДК_{с.с}$. $ПДК_{с.с}$ $PM_{2,5}$ и PM_{10} , за весь период наблюдений менее 1.

Таблица 53. Расчетные среднесуточные значения AQI.Роттердам. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	36	56	50	81	59	33	60	56	43	53	42	38	57	55	41	47	55	42	37	29	30	29	35	32	53	33	29	29
PM ₁₀ *	23	29	37	40	29	18	24	24	21	21	21	16	16	16	18	16	23	15	15	15	15	16	18	16	23	16	14	15
O ₃ ***	12	10	13	13	18	22	18	18	18	17	18	18	18	18	17	18	21	25	21	23	20	17	17	18	25	18	17	33
NO ₂ **	41	35	34	36	21	15	20	22	33	28	33	27	27	22	25	24	31	19	19	19	19	25	25	24	31	27	22	19

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

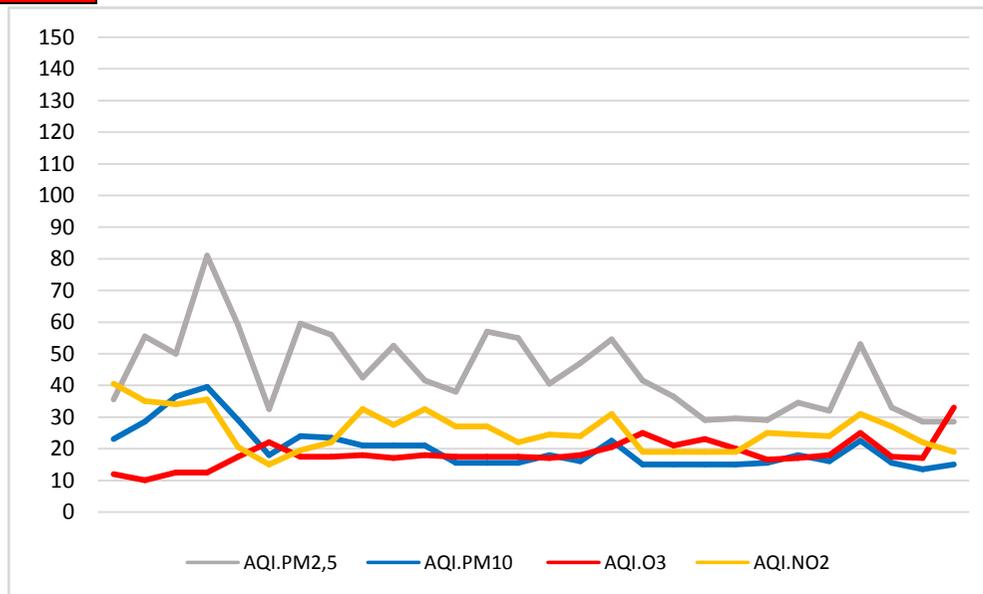


Рис.82. AQI ЗВ. Роттердам. Весна 2017 г.

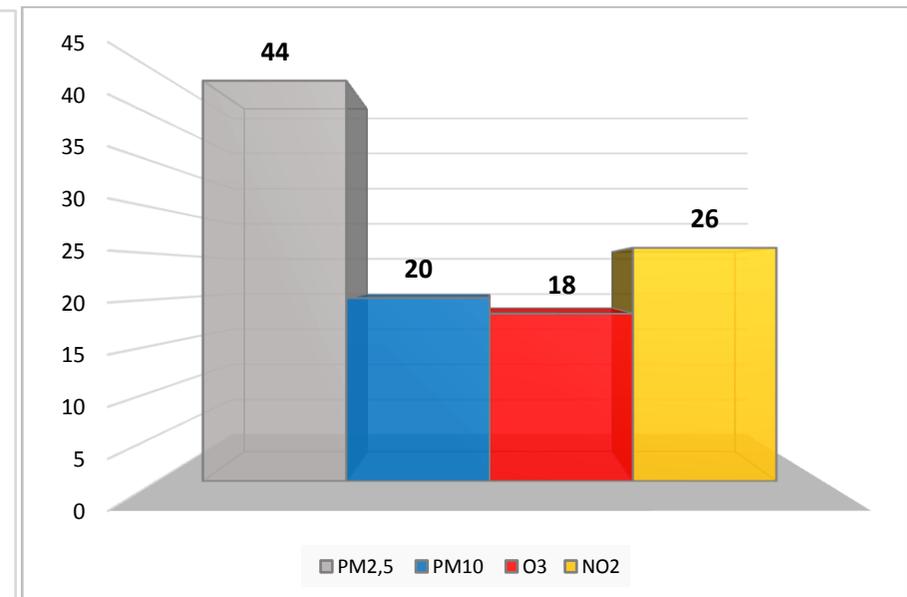


Рис. 83. Средний AQI за квартал. Роттердам. Весна 2017 г.

Таблица 54. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Роттердам. Весна 2017 г.

КИЗА	2,9	2,8	3,1	3,6	3,2	3,3	3,1	3,1	3,4	3,2	3,4	3,0	3,2	3,0	2,9	3,1	3,8	3,9	3,2	3,5	3,0	2,8	2,9	3,0	4,5	3,0	2,7	5,2
PM _{2,5}	8	15	11	21	14	7	15	13	9	12	8	9	13	13	9	11	10	7	8	6	7	7	8	7	8	8	7	4
PM ₁₀	14	19	21	20	16	10	14	13	11	12	11	9	9	9	11	9	11	7	8	8	9	10	11	10	9	9	9	5
O ₃	31	25	31	27	49	68	51	50	49	48	49	52	50	53	52	54	52	69	64	68	64	53	52	56	60	53	56	79
NO ₂	46	42	37	33	21	15	21	23	32	29	32	30	28	24	28	26	27	16	20	18	21	30	28	27	23	30	27	12

Таблица 55. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Роттердам. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,2	0,4	0,3	0,8	0,5	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,4	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	0,9	0,8	1,0	1,0	1,4	1,7	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,6	1,9	1,6	1,8	1,5	1,3	1,3	1,4	1,9	1,4	1,3	2,6
ПДК _{с.с} NO ₂	1,3	1,2	1,1	1,2	0,7	0,5	0,6	0,7	1,1	0,9	1,1	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	0,7	0,6

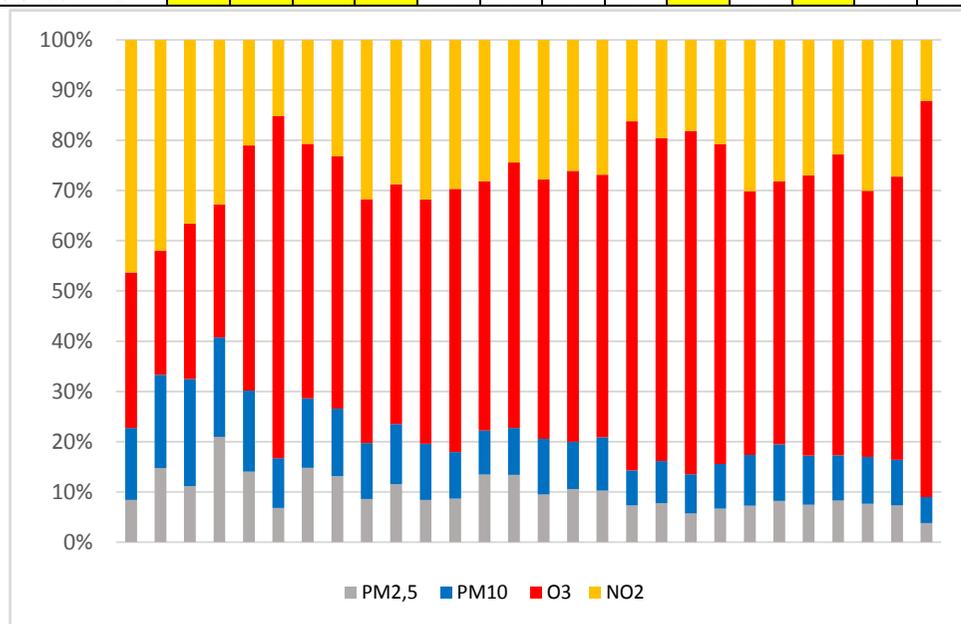


Рис.84. Доля ЗВ в КИЗА. Роттердам. Весна 2017 г.

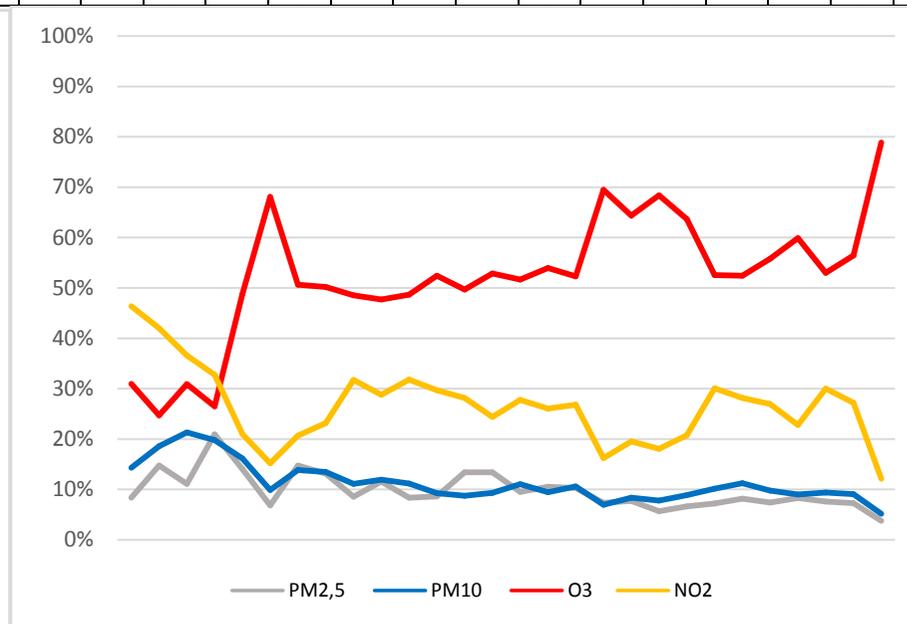


Рис.85. Распределение ЗВ в КИЗА. Роттердам. Весна 2017 г.

3.17 Кельн

В г.Кельн (Германия) по данным сайта находится 6 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Кельн Туринер Штрассе» (<http://aqicn.org/city/germany/nrw/koln-turiner-strasse/>), представленный следующими компонентами: PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO . Данные по содержанию $PM_{2,5}$ на сайте не представлены.

В таблице 56 представлены расчетные среднесуточные данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. По данным (рис.87) был рассчитан среднеквартальный AQI ЗВ: 1. PM_{10} - 24; 2. NO_2 – 24; 3. O_3 – 19; 4. – 3 (рис.88).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 86).

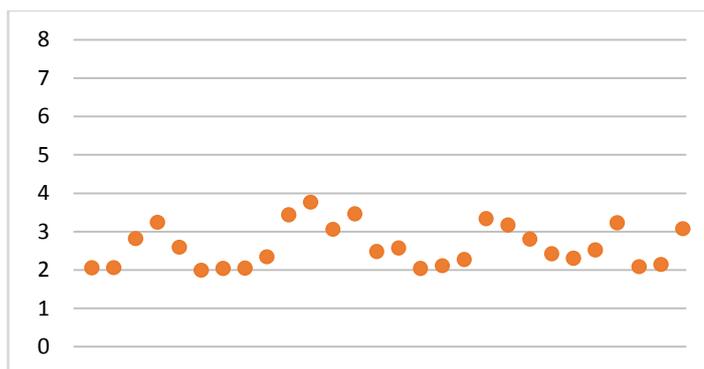


Рис. 86. Динамика КИЗА. Кельн. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА показывает, что значения находятся в диапазоне от 2,0 до 3,8, что соответствует зоне низкого уровня загрязнения атмосферы. Можно предположить, что низкие значения КИЗА обусловлены отсутствием данных по концентрациям $PM_{2,5}$.

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (табл.57, рис.89, 90):

1. NO_2 - 44%; 2. O_3 - 30%; 3. SO_2 - 25%. 4. PM_{10} - 1%.

Сравнение нормированных на ПДК_{с.с} концентраций всех примесей свидетельствует о превышении O_3 в течение всего периода наблюдений до 2,7 ПДК_{с.с}. ПДК_{с.с} PM_{10} , NO_2 , SO_2 за весь период наблюдений менее 1 (табл. 58).

Таблица 56. Расчетные среднесуточные значения AQI.Кельн. Весна 2017 г.

PM ₁₀ *	19	17	33	36	27	18	19	14	15	42	38	37	40	22	26	19	19	18	34	32	27	23	16	13	19	9	18	17
O ₃ ***	15	18	15	15	15	18	17	20	22	15	25	15	17	17	18	17	17	19	24	23	21	18	21	23	32	22	18	35
NO ₂ **	23	22	26	34	29	18	20	19	25	26	27	26	27	30	25	20	21	25	22	24	24	25	25	33	30	24	22	21
SO ₂ **	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	3	3	3	5

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

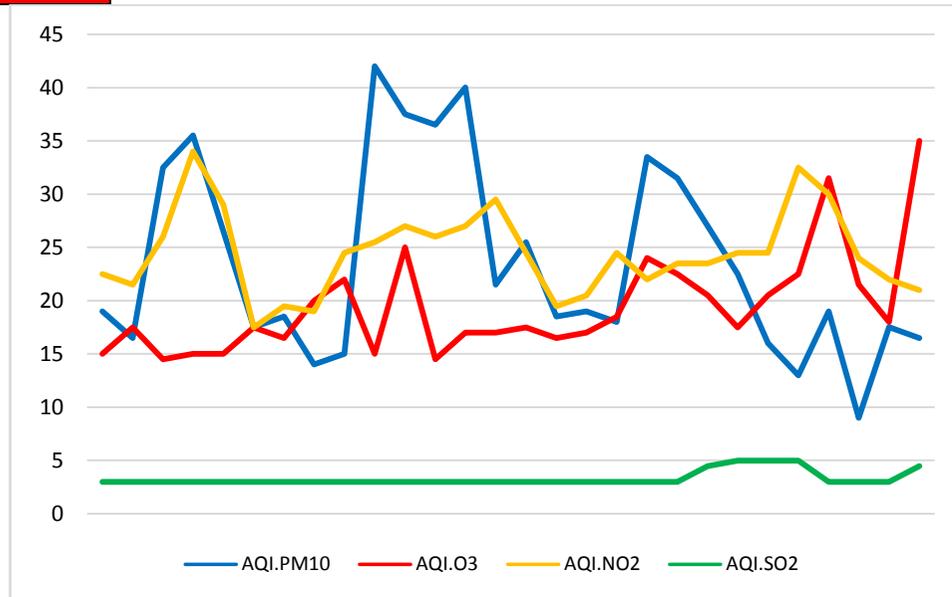


Рис.87. AQI ЗВ. Кельн. Весна 2017 г.

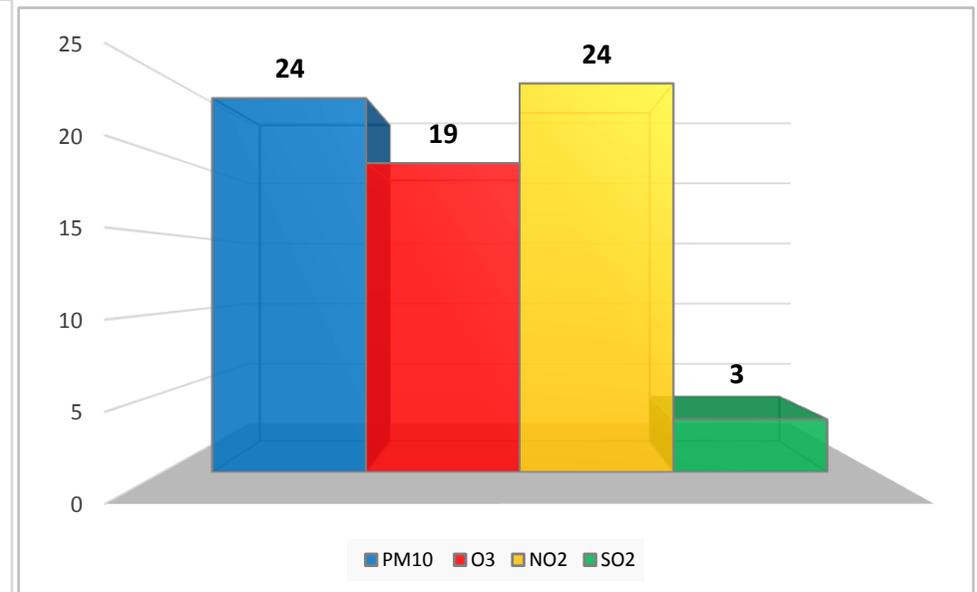


Рис. 88. Средний AQI за квартал. Кельн. Весна 2017 г.

Таблица 57. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Кельн. Весна 2017 г.

КИЗА	2,1	2,1	2,8	3,3	2,6	2,0	2,0	2,0	2,4	3,4	3,8	3,1	3,5	2,5	2,6	2,0	2,1	2,3	3,3	3,2	2,8	2,4	2,3	2,5	3,2	2,1	2,2	3,1
PM ₁₀	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O ₃	28	22	45	45	36	25	27	18	17	54	42	49	50	28	34	27	27	23	40	38	34	30	19	13	18	9	23	15
NO ₂	42	49	30	27	34	51	47	57	54	25	38	27	29	40	40	47	47	47	42	41	43	42	52	52	57	60	49	66
SO ₂	29	28	24	28	30	23	25	25	28	20	19	22	21	32	25	25	26	29	17	20	22	27	28	34	25	30	27	18

Таблица 58. ПДК_{с.с} основных ЗВ. Кельн. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,8	0,7	0,7	0,7	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
ПДК _{с.с} O ₃	1,2	1,4	1,1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,5	1,7	1,2	1,9	1,1	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,9	1,7	1,6	1,4	1,6	1,7	2,4	1,7	1,4	2,7	
ПДК _{с.с} NO ₂	0,7	0,7	0,9	1,1	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,0	0,8	0,7	0,7	
ПДК _{с.с} SO ₂	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2

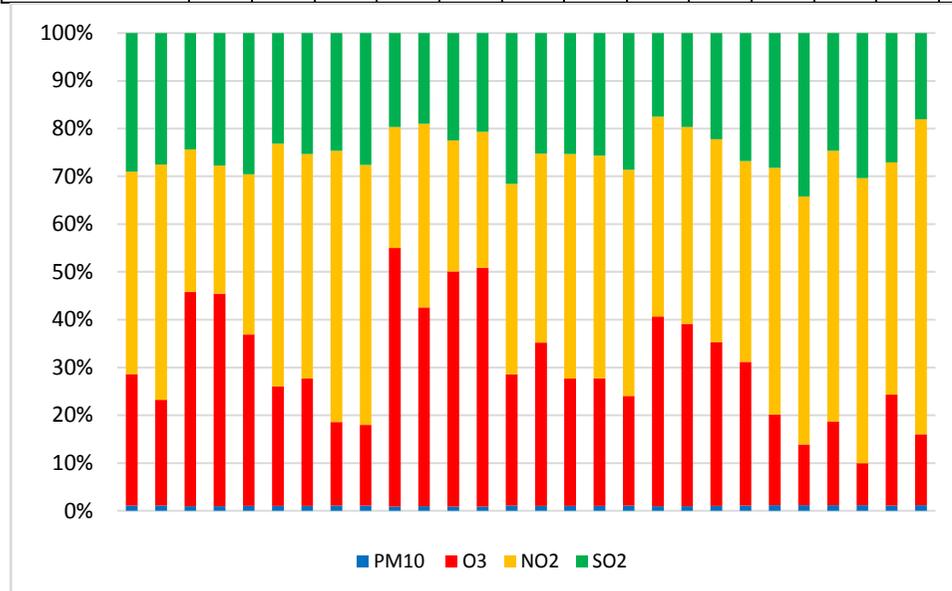


Рис.89. Доля ЗВ в КИЗА. Кельн. Весна 2017 г.

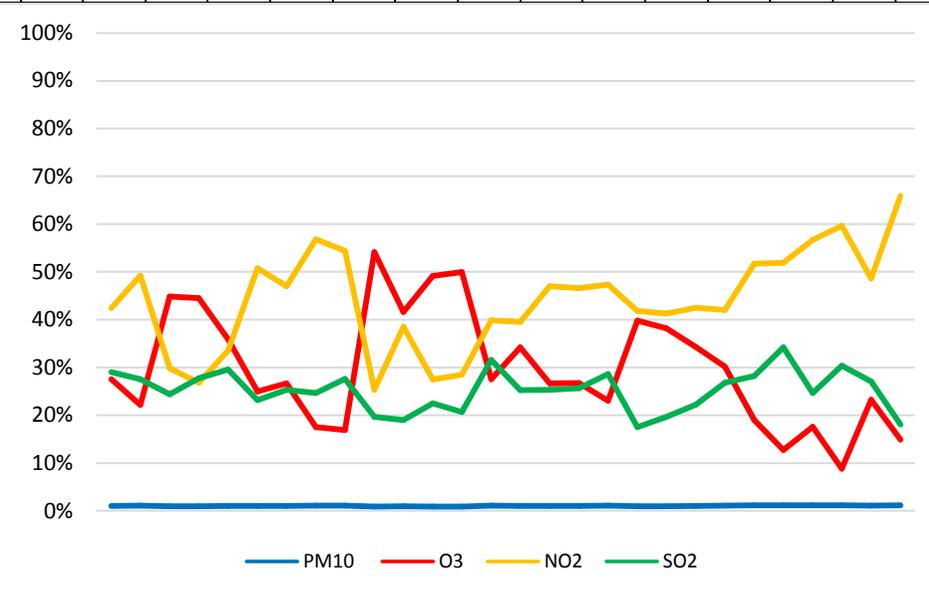


Рис.90. Распределение ЗВ в КИЗА. Кельн. Весна 2017

4. Примеры оценки качества атмосферного воздуха городов России при использовании зарубежных гигиенических стандартов и обобщающих показателей

Мониторинг состояния российских городов проводился на примере г. Москвы – единственном городе России (рис. 91), данные по которому представлены на интернет ресурсе «Качество воздуха во всем мире» <http://aqicn.org> [36].



Рис. 91. Снимок карты пунктов мониторинга в режиме реального времени

В г. Москва (Россия) по данным сайта находятся 5 пунктов мониторинга. Мной был выбран пункт «Спиридоновка» (aqicn.org/city/amsterdam), представленный необходимым набором компонентов, а именно: $PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO . Данные по содержанию O_3 на сайте не представлены.

В таблице 59 представлены данные AQI. Система цветовых обозначений соответствует ступени загрязнения каждого из ЗВ. Значения всех компонентов находятся в «зеленой» (хорошей) зоне (рис. 93).

Произведенный пересчет в российскую интегральную систему загрязнения атмосферы позволил оценить комплексный ИЗА (рис. 92).

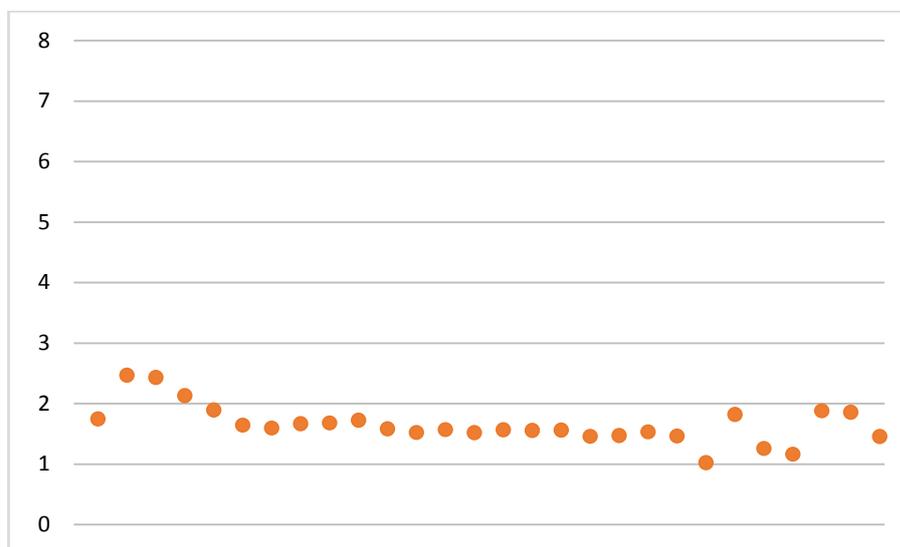


Рис.92. КИЗА. Москва. Весна 2017 г.

Анализ полученных величин КИЗА (табл.60) показывает, что значения находятся в диапазоне от 1,0 до 2,5, что соответствует низкому уровню загрязнения атмосферы.

Средний процент («вклад») ЗВ в КИЗА составляет (рис.94, 95):

1. NO_2 - 40%;
2. PM_{10} - 31%;
3. $\text{PM}_{2,5}$ - 16%;
4. CO - 7%.
5. SO_2 - 6%;

Концентрации всех примесей, нормированных на $\text{ПДК}_{\text{с.с}}$ менее 1 (табл.61).

Очевидно, что отсутствие значений на сайте глобального мониторинга загрязнения атмосферы O_3 понижает комплексный ИЗА.

Таблица 59. Расчетные среднесуточные значения AQI. Москва. Весна 2017 г.

PM _{2,5} *	38	33	38	38	44	38	34	36	37	35	28	29	34	38	41	39	44	35	36	36	33	25	86	28	30	44	36	37
PM ₁₀ *	30	33	30	33	38	33	28	31	33	36	33	29	29	26	29	28	28	28	26	26	22	9	17	18	21	34	38	33
NO ₂ **	19	28	26	23	18	14	18	18	16	16	16	16	16	16	13	14	14	14	13	15	16	12	15	14	10	18	20	9
SO ₂ **	2	13	13	8	3	2	2	1	3	3	2	2	2	2	3	2	2	1	3	3	3	3	2	2	1	1	1	1
CO***	3	5	6	4	3	4	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	6	4	4

*- среднесуточное значение; **- 1-часовое значение; ***- 8-часовое значение

0-50	хорошее
51-100	удовлетворительное
101-150	неблагоприятное для чувствительных групп населения
151-200	плохое

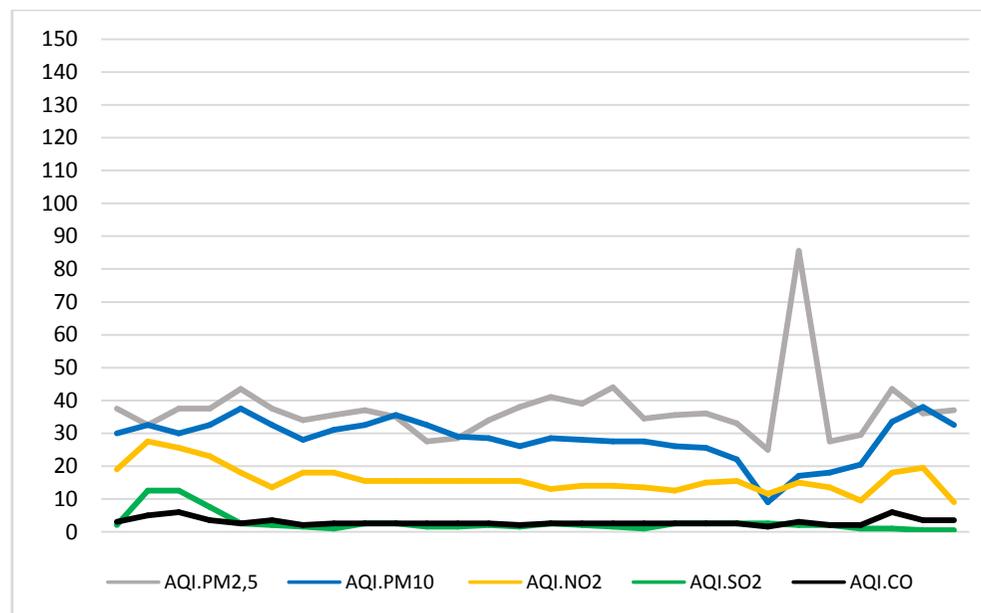


Рис.93. AQI 3B. Москва. Весна 2017 г.

Таблица 60. Данные КИЗА и распределения загрязнителей (%). Москва. Весна 2017 г.

КИЗА	1,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,8	1,3	1,2	1,9	1,9	1,5
PM _{2,5}	15	9	11	12	16	16	15	15	15	14	12	13	15	17	18	17	19	16	17	16	15	17	45	15	17	16	13	17
PM ₁₀	31	24	22	27	36	36	31	34	35	37	37	34	33	31	33	32	32	34	32	30	27	16	17	26	32	32	37	40
NO ₂	43	40	39	41	38	36	45	43	38	37	41	42	41	42	36	39	38	40	38	41	44	52	27	46	40	38	41	31
SO ₂	4	19	19	13	5	5	3	2	6	5	4	4	5	4	6	5	4	3	6	6	6	9	4	6	3	2	1	1
CO	7	8	9	7	6	9	6	7	6	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	12	8	10

Таблица 61. ПДК_{с.с} ЗВ. Москва. Весна 2017 г.

ПДК _{с.с} PM _{2,5}	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
ПДК _{с.с} PM ₁₀	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6
ПДК _{с.с} NO ₂	0,7	1,0	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8	0,5
ПДК _{с.с} SO ₂	0,1	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ПДК _{с.с} CO	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

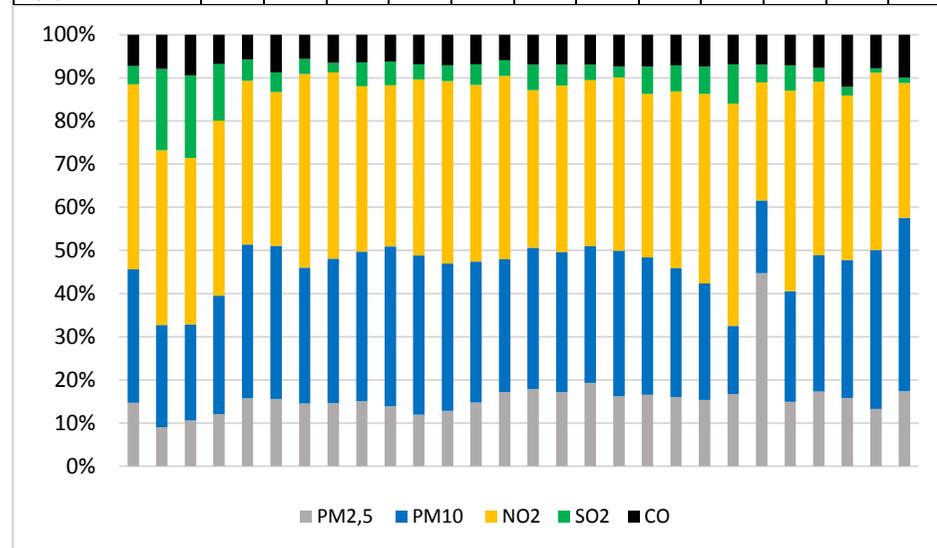


Рис.94. Доля ЗВ в КИЗА. Москва. Весна 2017 г.

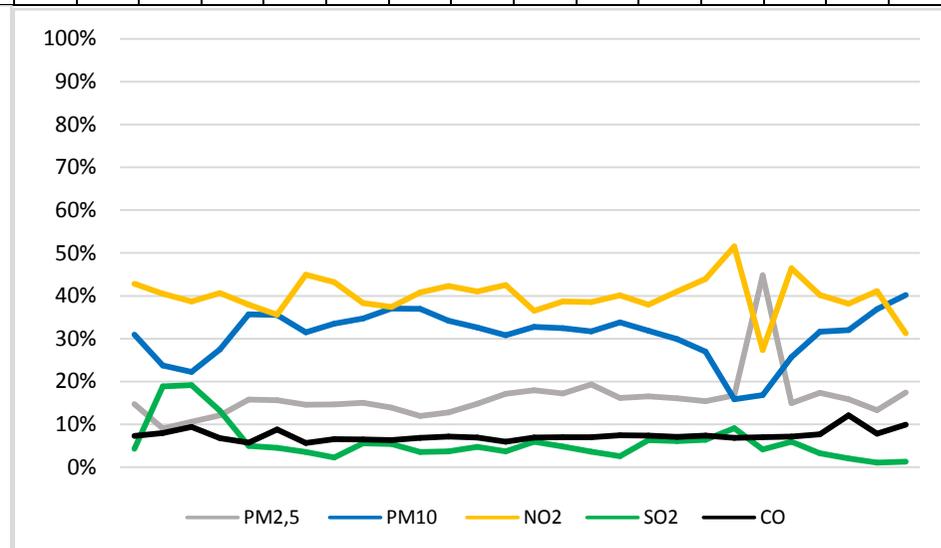


Рис.95. Распределение ЗВ в КИЗА. Москва. Весна 2017 г.

Заключение

Существует сложность перехода из одной в другую систему в оценке качества атмосферного воздуха в связи наличием большого количества подходов. Унификация важна с учетом трансграничности атмосферных масс. Данные, представленные на сайте - удобный механизм понимания экологической обстановки в режиме реального времени, что особенно важно для сильнозагрязненных мегаполисов Азии.

Система, принятая в странах СНГ позволяет комплексно оценивать загрязнение воздуха. Таким образом загрязнители нормируются как по ПДК, так и по индексу загрязнения атмосферы. Данный «двухступенчатый» подход жестче, чем принятый в США и Европе. Что видно из приведенного в исследовании анализа. Так, AQI загрязняющих веществ, попадающих в благоприятные для здоровья зоны, при пересчете в российскую систему показывают значения ПДКс.с. со значением выше 1. Одновременно с этим комплексный ИЗА может выходить за пределы зоны низкого уровня загрязнения атмосферы, что связано в том числе с учетом индекса степени опасности каждого вещества при расчете.

Отрицательным моментом в системе дистанционного мониторинга является недостаточность данных. Так, при расчетах, зачастую попадались города, где отсутствовали значения по содержанию тропосферного озона. Данные объекты попадали в благоприятные для здоровья группы, что может отличаться от истины, так как O_3 является веществом высокого класса опасности и основным компонентом при оценке комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха.

Безусловно глобальный он-лайн мониторинг должен быть доступен всем слоям населения, но носить более полный и комплексный характер. При отсутствии единой системы оценки в разных странах, должен быть разработан механизм перевода из одной системы в другую при выборе языка в меню программы.

Однако отсутствие городов России в данной системе носит двойкий смысл, т.к. годовые экологические отчеты, хоть и обладают достаточно полной информацией, но выходят с большим опозданием и несут более статистический характер.

В связи с вышесказанным и исходя из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- разработанная методика конвертации данных из AQI в мг/м^3 апробирована на 17 городах позволила выявить несоответствие систем;
- при оценке загрязнения по российским стандартам основными ЗВ в европейских городах являются O_3 и NO_2 , которые не имеют таковой значимости в AQI значениях;
- высокие показатели AQI $\text{PM}_{2.5}$ не имеют таковой значимости в КИЗА;
- роль СО сложно оценить, т.к. в большинстве городов данные по его содержанию не представлены;
- российская система жестче оценивает качество атмосферного воздуха;
- дистанционный мониторинг не дает полного представления о качестве воздушных масс, так как данные по 3-5 загрязнителям не достаточны для оценки уровня воздействия на здоровье человека;
- дистанционный мониторинг имеет ошибки, процент которых можно рассчитать при более продолжительном наблюдении;
- необходимо продолжение работы по изучению разных подходов к оценке загрязненности атмосферного воздуха для разработки более совершенной унифицированной системы;
- несмотря на недочеты сайта «Загрязнение воздуха в режиме реального времени» необходимо включение данных о российских промышленных городах в данную систему.

Список использованных источников

1. Бегак, М. В. Экологические стандарты. Различие между подходами к установлению нормативов качества окружающей среды в Российской Федерации и Европейском Союзе / М. В. Бегак. // Проект «Внедрение результатов мониторинга окружающей среды в экономические процессы в Российской Федерации». – 2010.
2. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
3. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Минздрав СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. Утв. Минздравом СССР 15.06.88, № 4681– 88. 1989. – 110 с.
4. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Минздравом России 21.05.03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава РФ, 2003. – 86 с; ГН 2.1.6.2326-08 (дополнения и изменения к ГН 2.1.6.1338-03) с изменениями на 30 августа 2016 г. Утв. Минздравом России 04.02.08, № 6. – 3 с.
5. ГН 2.1.6.1339-03. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Минздравом России 21.05.03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 174 с.
6. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Утв. Минздравом России. 27.04.03. – 200 с.

7. ГН 2.2.5.2308-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Утв. Минздравом России 19.12.07, № 89. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008 – 59 с.

8. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Утв. Минздравом СССР 29.09.88 № 3388, издание 5. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 71 с.

9. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Утв. 10.03.76 № 579. М.: Стандартиформ. – 5 с.

10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2016.

11. Дистанционное зондирование Земли: учебное пособие / Е. Н. Сутырина ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО ИГУ. - Иркутск : Изд-во Иркутского государственного университета, 2013.

12. Звягинцева, А. В. Системы оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов / А. В. Звягинцева. // системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2014. – №1(6)-2(7). – С. 1-33.

13. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // Природопользование: Сб. научн. тр. – Минск: СтройМедиаПроект, институт природопользования, 2014. – Вып. 25. – С. 61 – 69.

14. Какарека, С. В. Оценка суммарного загрязнения атмосферного воздуха / С. В. Какарека. // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – С. 14-20.

15. Капранов С.В., Капранова Г.В., Пенская Л.А. Растения в ноосфере и здоровье населения. – Луганск: Янтарь, 2008. – 256 с.

16. Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами. Утв. Минздравом СССР 30.03.82, № 2983-84 М. 1986. – 41 с.

17. Морозов А.Н., Светличный С.И. Спектроскопические методы дистанционного анализа – Электр.ресурс. URL: <http://cpf-bmstu.ru/pdf/Morozov.pdf>

18. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

19. Пинигин М.А. Гигиенические основы оценки суммарного загрязнения воздуха населенных мест // Гиг. и сан. – 1985, 1. – С. 66 – 69.

20. Р 2.1.10.19920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

21. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Госком. СССР по гидрометеорологии – МинздравСССР. 1991. – 691 с.

22. Рекомендации по качеству воздуха в Европе. / Пер. с англ. – М.: Весь мир. – 2004. – 312 с.

23. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. М.: Медицина, 1975. – 328 с.

24. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. Утв. 17.05.01, № 14. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 14 с.

25. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей среды. – М.: Международный фонд конверсии, 1991. – 370 с.

26. Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ // Ред. Кушнев В.С., Горшкова Р.Б. – М.: ИздАТ, 1999. – 272 с.
27. Стурман, В. И. Современные подходы к картографированию загрязнения атмосферного воздуха за рубежом и в России / В. И. Стурман, А. В. Семакина. // Изв. РГО. – 2014. – Т.146, № 2. – С. 28-37.
28. Фомин Г.С., Фомина О.Н. Воздух. Контроль загрязнения по международным стандартам. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Протектор, 2002. – 432 с.
29. Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. С.-Пб.: Наука, 1998. – 328 с.
30. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23. – Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe, 1987. – 425 p.
31. CITEAIR II (Common Information to European Air) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.citeair.eu/>, свободный. – Загл. с экрана.
32. Elshout, S. Comparing Urban Air Quality Across Borders. A review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative / S. Elshout, K. Léger. // DCMR, Environmental Protection Agency Rijnmond. – 2006. – № 1. – С. 1-36.
33. European Community-Environment-Air- Стандарты качества воздуха. – Электр.ресурс. URL: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
34. Mapgroup – Новости космоса.- Электр.ресурс. URL: <http://mapgroup.com.ua/kosmicheskie-apparaty/34-evropa-evropejskoe-kosmicheskoe-agenstvo/737-sentinel-5-p>
35. Occupational exposure limits for airborne toxic substances a tabular compilation of values from selected countries. – Geneva: International Labour Office. 1993. – 455 p.
36. Real-time Air Quality Index (AQI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aqicn.org/>, свободный. – Загл. с экрана.

37. The, Danish national research institute. Comparison of the EU and US Air Quality Standards & Planning Requirements / Danish national research institute. The. // project for DG. – 2004. – № 3. – C. 1-58.