

**Кафедра метеорологии, экологии и охраны окружающей среды**

Естественно-технический факультет

Кыргызско-Российский Славянский университет

## **Загрязнение атмосферы Бишкека в январе 2018 г. по данным станции контроля атмосферы**



Профессор О.А. Подрезов

Бишкек, февраль 2018

## Оглавление:

Список используемых сокращений. ....	2
Станция СКАТ и измеряемые ею характеристики загрязнения атмосферы. Предельно-допустимые концентрации и их использование. ....	3
Статистическая обработка и анализ месячных данных СКАТ. ....	5
Концентрация углекислого газа $\text{CO}_2$ . ....	8
Средние месячные концентрации ингредиентов и превышения ими уровня в $1\text{ПДК}_{\text{СС}}$ . ...	8
Изменение средних суточных концентраций пыли - $n_{\text{СС}}$ и превышения ими уровней в $\text{кПДК}_{\text{СС}}$ . ....	8
Изменение в январе текущих средних 20-минутных концентраций $n_{20}$ различных ингредиентов и превышения ими уровней в $\text{кПДК}_{\text{МР}}$ . ....	9
Суточный ход средних часовых концентраций пыли $n_{60}$ в январе 2018. ....	11
Статистические свойства эмпирических распределений ингредиентов. ....	14
Резюме .....	15

### Список используемых сокращений.

КР	Кыргызская Республика
МЭО	Метеорология, экология и охрана окружающей среды
ЕТФ	Естественно-технический факультет
КРСУ	Кыргызско-Российский Славянский Университет
СКАТ	Станция контроля атмосферы
ТЭЦ	Теплоэлектроцентраль
НД	Национальный доклад
ПДК	Предельно допустимая концентрация
ПДК <sub>мр</sub>	Предельно допустимая концентрация максимальная разовая
ПДК <sub>сс</sub>	Предельно допустимая концентрация средняя суточная
мкм	Микрометр ( $\mu\text{m}$ )
СКО	Среднее квадратическое отклонение
мг/м <sup>3</sup>	Миллиграмм/метр <sup>3</sup>
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения

## Станция СКАТ и измеряемые ею характеристики загрязнения атмосферы. Предельно-допустимые концентрации и их использование.

Столица Кыргызстана – г. Бишкек выбрасывает в свою атмосферу около 43,6% от общих выбросов по республике (НД о состоянии окружающей среды КР за 2011 - 2014 гг.), и поэтому она является самой загрязненной среди ее городов. Для решения проблемы загрязнения атмосферы Бишкека, прежде всего, необходима технически надежная оценка концентраций загрязняющих веществ, т.е. современный высоко технологичный мониторинг состояния атмосферы.

Со второй половины января 2017 г. в рамках развития научных исследований КРСУ кафедра Метеорологии, экологии и охраны окружающей среды (МЭО) ЕТФ КРСУ приступила к систематическому мониторингу качества атмосферного воздуха в г. Бишкеке с помощью современной станции контроля атмосферу (СКАТ). СКАТ кафедры МЭО располагается примерно в 100 м восточнее одного из напряженных перекрестков Бишкека - пересечении пр. Чуй и ул. Алма-Атинской на территории ЕТФ КРСУ. Станцией производятся автоматические непрерывные измерения с 20-минутным осреднением 16 ингредиентов, приведенных в таблице 1, где также даны значения их средних предельно допустимых суточных концентраций (ПДК<sub>сс</sub>) и предельно допустимых разовых максимальных концентраций. ПДК<sub>мр</sub>, соответствующих осреднению за 20 - минут. ПДК – это такие концентрации аэрозолей, химических элементов и их соединений в окружающей среде, которые «при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений» (КР, 2016 г.).

Очень важно отметить, что СКАТ измеряет 5 ингредиентов пыли (аэрозолей) различных по размерам фракций: ПМ1 < 1 мкм, ПМ2,5 < 2,5 мкм, ПМ4 < 4 мкм, ПМ10 < 10 мкм и пыль общая < 15 мкм. При этом под аэрозолями понимаются жидкие и твердые частицы естественного и техногенного происхождения (в том числе вредные дымы), которые, вследствие своих малых размеров, свободно плавают в атмосфере, медленно оседая в ней. Крупные частицы выпадают в течение нескольких часов или даже минут, а мелкие могут сохраняться до 1 - 2 недель. Пыль – это просто обобщенный краткий термин, под которым понимается недифференцированный, т.е. самый различный по химическому составу аэрозоль, содержащейся в воздухе населенных пунктов и включающий в себя различные по химическому составу вещества.

Согласно ВОЗ (2016 г.), основным компонентом пыли являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлористый натрий, углерод, минеральная пыль и вода. Пыль состоит из сложной смеси твердых и жидких частиц, органических и неорганических веществ.

Наиболее разрушительны для здоровья частицы диаметром 10 мкм и меньше, которые могут глубоко проникать в легкие и оседать в них. Хроническое воздействие таких частиц усугубляет риск развития сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, а также рака легких. В действительности пока не установлено такое пороговое значение, концентраций частиц, ниже которого вреда для здоровья не наблюдается. Поэтому рекомендации ВОЗ нацелены на достижение, по-возможности, самых низких уровней концентраций: а) ПМ<sub>2,5</sub> средний годовой уровень – 0,010 мг/м<sup>3</sup>, средний суточный уровень – 0,025 мг/м<sup>3</sup>; б) ПМ<sub>10</sub> средний годовой уровень – 0,020 мг/м<sup>3</sup>, средний суточный уровень – 0,050 мг/м<sup>3</sup>. Видно, что мелкие фракции пыли гораздо более опасны и, например, предельно допустимые уровни концентраций для ПМ<sub>2,5</sub> в два раза ниже, чем для ПМ<sub>10</sub>.

Как будет показано ниже, первые результаты наблюдений по СКАТ показывают, что основным загрязнителем атмосферы в Бишкеке является пыль, особенно ее мелкие фракции.

**Таблица 1.** Предельно-допустимые концентрации, принятые в КР (2016г.) и в России.

Вещество	Формула	ПДК, (мг/м <sup>3</sup> )		Относит. погрешн. измер., (%)
		Среднее суточное	Максимальное разовое	
Угарный газ	CO	3,0	5,0	20
Углекислый газ (двуокись углерода)	CO <sub>2</sub>	нет	нет	20
Окись (оксид) азота	NO	0,06	0,4	25
Двуокись (диоксид) азота	NO <sub>2</sub>	0,04	0,085 (0,2)	25
Аммиак	NH <sub>3</sub>	0,04	0,2	20
Двуокись (диоксид) серы	SO <sub>2</sub>	0,05	0,5	25
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0 (0)	0,008	25
Озон	O <sub>3</sub>	0,03	0,16	20
Все углеводороды (включая CH <sub>4</sub> )	CH	0 (0)	0 (50)	20
Метан	CH <sub>4</sub>	0 (0)	0 (50)	20
Все углеводороды (исключая CH <sub>4</sub> )	HCH	0 (0)	(50)	20
Пыль/дымы общая, менее 15 мкм	Пыль об.	0,15 (0,06)	0,5 (0,3)	20
Пыль/дымы размером менее 1 мкм	ПМ <sub>1</sub>	0 (0,035)	0 (0,16)	20
Пыль/дымы размером менее 2,5 мкм	ПМ <sub>2,5</sub>	0,035	0,16	20
Пыль/дымы размером менее 4 мкм	ПМ <sub>4</sub>	0 (0)	0 (0)	20
Пыль/дымы размером менее 10 мкм	ПМ <sub>10</sub>	0,06	0,3	20

Обозначения: 1) числа без скобок – значения ПДК КР (а также совпадающие с ними ПДК России), которые используются в отчете; 2) числа в скобках – ПДК России при их отличии от значений в КР, 3) 0 и (0) соответственно означают, что в КР и России ПДК для этих веществ пока не установлены и не приняты законодательно; 4) для CO<sub>2</sub> ПДК отсутствуют, т.к. это основной парниковый газ, который к загрязнителю атмосферы он не относится.

Как видно из таблицы 1, принятые в КР средние суточные ПДК<sub>сс</sub> в 3-5 и более раз меньше максимальных разовых ПДК<sub>мр</sub>. Поэтому, при анализе степени загрязнения атмосферы, наблюдаемые 20-минутные концентрации ингредиентов обычно сравниваются с установленными для них максимальными разовыми ПДК<sub>мр</sub>, а осредненные за сутки и месяц значения – со средними суточными ПДК<sub>сс</sub>. Однако возможны и другие варианты сравнений, все зависит от поставленных целей исследования. Важно то, чтобы всегда четко оговаривалось – какое ПДК используется. Например, в течение суток 72 измеренных 20-минутных концентраций, сильно колеблясь, были устойчиво выше как среднего суточного, так и максимального разового ПДК. Отсюда вполне правомочен вывод: находится в такой атмосфере вредно

не только в течение суток и более, но и в любую часть суток. Если же исходить только из ПДК<sub>сс</sub>, то вполне можно было заключить, что, возможно, какая-то часть суток соответствовала уровню ниже ПДК<sub>мр</sub> и была безопасной.

Сложности двух ПДК. Однако два значения – ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub> – могут привести и к кажущемуся противоречию. Например, в течение всех суток текущие 20-минутные концентрации ингредиента были постоянно выше ПДК<sub>сс</sub>, но ниже ПДК<sub>мр</sub>. В результате, средняя суточная концентрация оказалась больше ПДК<sub>сс</sub> и, следовательно, загрязнение следует считать «суточно» опасным. Одновременно в каждую 20-минутку суток по значению ПДК<sub>мр</sub> текущий разовый уровень загрязнения был не опасен и, следовательно, он не опасен и для всех суток, которые состоят из набора таких «индивидуально» неопасных 20-минут. Правильный непротиворечивый вывод, конечно, есть: в атмосфере такой загрязненности безопасно находиться короткое время порядка 0,5-1 ч., но она вредна для здоровья при пребывании в ней значительное время – несколько часов, сутки и более.

### Статистическая обработка и анализ месячных данных СКАТ.

В течение суток по каждому из 16 ингредиентов СКАТ в автоматическом режиме производит 72 осредненных за 20-минут измерения, а для месяца с 31 сутками это будет 2231 измерение (первое измерение каждого суток соответствует времени 0:20). Такой большой массив исходных месячных данных позволяет произвести полноценную статистическую обработку с получением многих расчетных характеристик и графиков, отражающих как их различные средние показатели, так и динамику процессов загрязнения в течение суток, месяца, сезона и года. Полученные результаты могут быть представлены в форме сообщений различной степени сложности и направленности – от понятных всем публичных, до сугубо научных. Важно то, что во всех случаях они будут полноценными и объективными, так как основаны на прямых и высоко технологичных измерениях. Ниже дается пример такого научно-технического анализа за январь 2018 г., из которого можно получить сообщения любой публичной направленности, полноты и сложности.

Основой для выполнения настоящего научно-техническим отчета послужила таблица 2, в которой приведены рассчитанные нами значения по данным СКАТ за январь 2018 г.

Все необходимые статистические характеристики, основанные на первых четырех моментах распределений (программой СКАТ рассчитывается только среднее значение, и СКО). Их перечень приведен в первом столбце таблицы, они получены для каждого из 16 ингредиентов по всему массиву измеренных месячных данных, а дополнительно в первых двух строках таблицы даны значения ПДК<sub>мр</sub> и ПДК<sub>сс</sub>.

В нижней половине таблицы 2 приведены повторяемости (число случаев и %) попадания текущих 20-минутных концентраций ингредиентов в различные градации

ПДК<sub>мр</sub>: 0 - 1, 1 - 2, 2 - 3 и т.д. Эти данные, кроме своей прямой наглядности, позволят далее рассчитать длительности концентраций, превышающих заданные уровни кПДК<sub>мр</sub> различной кратности: > 1ПДК<sub>мр</sub>, > 2ПДК<sub>мр</sub>, > 3ПДК<sub>мр</sub> и т.д. Последовательность, полнота и детали научно-технического анализа загрязнения атмосферы Бишкека в январе 2018 г. будут непосредственно видны из содержания приведенного ниже текста и могут быть приняты за основу при дальнейших аналогичных исследованиях.

**Таблица 2. Основные статистики концентраций (мг/м<sup>3</sup>) малых примесей в атмосфере Бишкека за январь 2018 г. (СКАТ, кафедра МЭО)**

Статистики	CO	CO2	NO	NO2	NH3	SO2	H2S	O3	CH	CH4	HCH	Пыль общая	PM1	PM2.5	PM4	PM10
ПДК <sub>мр</sub> мг/м <sup>3</sup>	5,0	нет	0,4	0,085	0,2	0,5	0,008	0,16	50	50	50	0,5	(0,16)	0,16	нет	0,3
ПДК <sub>сс</sub> мг/м <sup>3</sup>	3,0	нет	0,06	0,04	0,04	0,05	нет	0,03	нет	нет	нет	0,15	0,035	0,035	нет	0,06
среднее, мг/м <sup>3</sup>	0,572	861,1	0,071	0,077	0,020	0,041	0,003	0,009	1,847	1,406	0,435	0,421	0,392	0,411	0,413	0,418
СКО, мг/м <sup>3</sup>	1,770	58,592	0,078	0,026	0,010	0,030	0,003	0,011	0,859	0,594	0,331	0,322	0,295	0,315	0,316	0,319
коэф. вариации	3,093	0,068	1,091	0,334	0,497	0,726	1,070	1,261	0,465	0,422	0,761	0,763	0,753	0,767	0,766	0,763
коэф. асиммет.	4,071	-0,816	3,842	1,534	18,859	6,658	34,342	36,627	-0,841	-1,635	1,447	2,044	1,869	2,047	2,043	2,035
коэф. эксцесса	19,106	2,808	9,008	1,395	8,744	3,806	4,184	0,740	1,021	1,604	4,100	7,738	6,047	7,692	7,670	7,631
макс., мг/м <sup>3</sup>	17,200	1192,0	0,557	0,196	0,088	0,202	0,025	0,049	4,700	2,700	2,500	3,416	2,857	3,325	3,334	3,364
мин., мг/м <sup>3</sup>	0,000	772,0	0,006	0,014	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,019	0,020	0,020	0,021
мед., мг/м <sup>3</sup>	0,000	847,0	0,045	0,074	0,017	0,034	0,002	0,004	1,900	1,600	0,400	0,343	0,322	0,335	0,336	0,340
мода, мг/м <sup>3</sup>	0,000	823,0	0,016	0,074	0,016	0,034	0,000	0,000	1,800	1,500	0,300	0,245	0,119	0,227	0,223	0,225
0-1 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)			998 (98,9)	721 (71,5)			1098 (89,8)					980 (43,9)	427 (19,1)	408 (18,3)		988 (44,3)
1-2 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)			11 (1,1)	285 (28,3)			114 (9,3)					767 (34,4)	685 (30,7)	670 (30,0)		768 (34,4)
2-3 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)				3 (0,3)			10 (0,8)					303 (13,6)	479 (21,5)	472 (21,2)		302 (13,5)
3-5 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)							1 (0,01)					153 (6,9)	437 (19,6)	453 (20,3)		146 (6,5)
5-7 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)												20 (0,9)	147 (6,6)	151 (6,8)		20 (0,9)
7-10 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)												7 (0,3)	44 (2,0)	57 (2,6)		6 (0,3)
10-15 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)												1 (0,05)	11 (0,5)	19 (0,85)		1 (0,05)
15-20 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)													1 (0,05)	0		
20-25 ПДК <sub>мр</sub> число случ. (%)														1 (0,05)		
число измерений	2231	2231	1009	1009	1009	1223	1223	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231	2231

*Примечание: 1. CO<sub>2</sub> – является основным парниковым газом, он химически очень стабилен; в наблюдаемых концентрациях не относится к вредным примесям и поэтому не имеет ПДК. 2. Одно измеренное превышение максимального разового ПДК<sub>мр</sub> (или иной его кратности) соответствует интервалу осреднения в 20 мин. Поэтому общая длительность превышений уровня разового ПДК (его различной кратности) в минутах равна произведению числа превышений этой кратности ПДК на 20.*



## Концентрация углекислого газа CO<sub>2</sub>.

Средняя за месяц концентрация CO<sub>2</sub>, который является основным парниковым газом и не относится к загрязняющим атмосферу веществам, составила 861,1 мг/м<sup>3</sup>. Коэффициент вариации 20-минутных значений CO<sub>2</sub> оказался равным 7%, а общий диапазон измеренных концентраций составил 772-1192 мг/м<sup>3</sup>, что соответствует их малой изменчивости относительно среднего значения. Это говорит о высокой стабильности динамики концентраций CO<sub>2</sub> во времени.

Дальнейший анализ проводится в основном по 13 ингредиентам, для которых в КР установлены нормы ПДК – 2016 г.

## Средние месячные концентрации ингредиентов и превышения ими уровня в 1ПДК<sub>сс</sub>.

Уровень 1ПДК<sub>сс</sub> в январе (таблица 2) превысили средние месячные значения концентраций 5 ингредиентов в следующее число раз (из списка, для которого в КР установлены нормы ПДК<sub>сс</sub>): пыль общая - 2,8, ПМ<sub>2,5</sub> – 11,7, ПМ<sub>10</sub> – 7, двуокись азота NO<sub>2</sub> - в 1,9 и окись азота NO - в 1,2. Для остальных 8 ингредиентов (CO, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> и HCN) средние месячные концентрации были ниже средних суточных значений ПДК<sub>сс</sub> и, следовательно, не опасны для здоровья. В результате, по средним месячным показателям основным загрязнителем атмосферы над Бишкеком в январе 2018 г. были все фракции пыли, и особенно ее мелкая фракция, менее 2,5 мкм, средние концентрации которой почти в 12 раз превышала уровень своего ПДК<sub>сс</sub>. Поэтому дальнейший анализ в основном проводится по 5 этим ингредиентам, средние месячные значения которых многократно превышали установленные нормы ПДК<sub>сс</sub>.

## Изменение средних суточных концентраций пыли - n<sub>сс</sub> и превышения ими уровней в кПДК<sub>сс</sub>.

Месячный ход средних суточных изменений концентраций n<sub>сс</sub> пыли общей и ее мелких фракций - ПМ<sub>2,5</sub> и ПМ<sub>10</sub>, которые многократно превышали ПДК<sub>сс</sub> и поэтому представляли наибольшую опасность для здоровья населения Бишкека, практически одинаков – все три кривые изменения концентраций в течение месяца идут параллельно, почти сливаясь и повторяя друг друга. Это, например, можно наглядно видеть из близких средних месячных значений концентраций этих фракций пыли в таблице 2. Поэтому приведем подробный анализ только по одной, наиболее опасной, мелкой фракции ПМ<sub>2,5</sub>.



**Рисунок 1.** Вариация средних суточных концентраций пыли ПМ<sub>2,5</sub> в январе 2018 г.

График месячной вариации (месячного хода) значений  $n_{cc}(2.5)$  показан на рис. 1, из которого, прежде всего, следует, что кривая суточных концентраций имела очень большой размах (амплитуду), но весь январь лежала значительно выше уровня  $1ПДК_{cc} = 0,035 \text{ мг/м}^3$ , и, за исключением одного дня (11.01), лежала даже выше уровня в 3  $ПДК_{cc}$ . При этом среднее месячное значение  $n_{cc}(2.5) = 0,411 \text{ мг/м}^3$  (11,7  $ПДК_{cc}$ ), максимальное среднее суточное достигало  $0,762 \text{ мг/м}^3$  (21,8  $ПДК_{cc}$ ) и наблюдалось 07.01, а минимальное -  $0,094 \text{ мг/м}^3$  (2,7  $ПДК_{cc}$ ) пришлось на 11.01. Очень высокий уровень в 5 $ПДК_{cc}$  превышался в течение января в 29 сутках из 31, а исключительно высокие уровни в 10 и 15 $ПДК_{cc}$  превышались соответственно в 20 и 7 сутках. Только когда шли осадки в виде снега текущая концентрация пыли временно снижалась и могла падать до уровня максимальных разовых ПДК и даже ниже.

27 - 31 января на ТЭЦ произошла технологическая авария, и режим ее выбросов был нарушен, хотя мы не располагаем данными каким именно образом. В средних суточных концентрациях пыли  $n_{cc}$  это не отразилось заметным образом как это видно из рис.1.

Таким образом, средние суточные концентрации пыли в январе говорят об очень сильном загрязнении атмосферы Бишкека всеми ее фракциями, особенно мелкой и наиболее опасной фракцией ПМ<sub>2,5</sub>, когда в течение 94% длительности месяца  $ПДК_{cc}$  превышались в 5 раз, а в 65% длительности месяца в 10 раз.

### Изменение в январе текущих средних 20-минутных концентраций $n_{20}$ различных ингредиентов и превышения ими уровней в $kПДК_{мр}$ .

Не менее важно, чем по средним данным, охарактеризовать уровень загрязнения атмосферы Бишкека в январе 2018 г., используя все измеренные текущие 20-минутные концентрации  $n_{20}$  по каждому ингредиенту и сравнивая их с допустимыми максимальными разовыми концентрациями ( $ПДК_{мр}$ ), которые в 3 - 5 и более раз выше, чем средние суточные  $ПДК_{cc}$ . Это позволит судить о том, насколько вредным для здоровья, являлось даже кратковременное, в пределах 0,5 - 1 ч., пребывание в атмосфере Бишкека в различные дни января 2018 г.

В таблице 3 даны рассчитанные для января значения превышений текущими измеренными  $n_{20}$  заданных уровней максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub> для различных ингредиентов.

**Таблица 3.** Число случаев (и %) превышения  $n_{20}$  уровня максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub>.

кПДК <sub>мр</sub>	NO	NO2	H <sub>2</sub> S	пыль об.	PM1	PM2.5	PM10
k>1	11 (1,1)	288 (28,5)	126 (10,3)	1251 (56,1)	1804 (80,9)	1823 (81,7)	1243 (55,7)
k>2		3 (0,3)	11 (0,9)	484 (21,7)	1119 (50,2)	1153 (51,7)	475 (21,3)
k>3			1 (0,05)	181 (8,1)	640 (28,7)	681 (30,5)	173 (7,8)
k>5				28 (1,3)	203 (9,1)	228 (10,2)	27 (1,2)
k>7				8 (0,4)	56 (2,5)	77 (3,5)	7 (0,3)
k>10				1 (0,05)	12 (0,5)	20 (0,9)	1 (0,05)
k>15					1 (0,05)	1 (0,05)	
k>20						1 (0,05)	

Видно, что уровень в 1ПДК<sub>мр</sub> текущие значения  $n_{20}$  различных ингредиентов превысили следующее число раз (в скобах %): окись азота 11(1,1%), двуокись азота – 288 (28,5%), сероводород H<sub>2</sub>S – 126 (10,3%), пыль общая – 1251 (56,1%), ПМ1 – 1804 (80,9%), ПМ2,5 – 1823 (81,7%) и ПМ10 – 1243 (55,7%). Общий диапазон колебаний  $n_{20}$  для различных фракций пыли был очень широк и составил 0,019 – 3,416 мг/м<sup>3</sup>, что соответствовало почти постоянным для различных фракций пыли и высоким коэффициентам вариации около 0,76. Устойчивость k говорит об общих и стабильных по времени действия источниках выбросов для всех фракций пыли. Очень важно также отметить, что концентрации всех фракций пыли были ниже максимальных разовых ПДК<sub>мр</sub> только в те периоды, когда шел снег и пыль вымывались им из атмосферы.

Не превышались ни разу текущими 20-минутными концентрациями 1ПДК<sub>мр</sub> для 6 ингредиентов: NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> и HCN. При этом их относительная изменчивость колебалась в широких пределах, от умеренной k=0,42 (CH<sub>4</sub>) до очень сильной k=1,26 (O<sub>3</sub>), что говорит о временной нестабильности мощности источников выбросов этих веществ.

Опасный и особо опасный уровень в 3 и 5ПДК<sub>мр</sub> в течение января превышали только пыль общая и все ее мелкие фракции (за исключением одного случая для H<sub>2</sub>S). Так, опасные значения 3ПДК<sub>мр</sub> пылью общей превышалось в 8,1% случаях, а наиболее вредными для здоровья ее мелкими фракциями ПМ1 и ПМ2,5 в 28,7 и 30,5% случаях. Особо опасный уровень в 5ПДК<sub>мр</sub> пылью общей превышался в 1,3%, а фракциями ПМ1 и ПМ2,5 практически в 10 раз чаще - в 9,1 и 10,2%. Максимальные зарегистрированные в течение месяца разовые превышения концентраций пыли соответствует следующим уровням кПДК<sub>мр</sub>: пыль общая – 11,4; ПМ1 – 17,9; ПМ2,5 – 20,8; ПМ10 – 11,2. Поэтому, эти данные со всей убедительностью говорят о том, что безусловно, пыль и вредные дымы – есть основной загрязнитель зимней атмосферы Бишкека, причем особенно высоки разовые концентрации их мелких опасных для здоровья фракций ПМ1 и ПМ2,5 с размерами соответственно менее 1 и 2,5 мкм.

Суммарная месячная продолжительность превышений  $n_{20}$  заданных уровней кПДК<sub>мр</sub>. По таблице 3 для каждого ингредиента были рассчитаны суммарные длительности за месяц (в сутках) превышений текущими значениями  $n_{20}$  различных заданных уровней кПДК<sub>мр</sub>, данные о которых приведены в таблице 4.

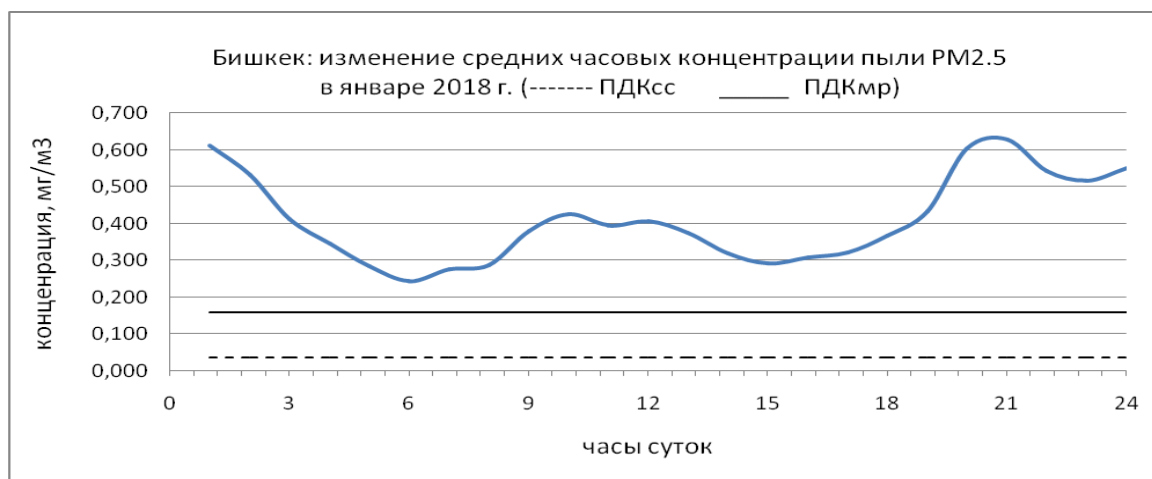
Из нее видно, что в целом за январь время превышений 1ПДК<sub>мр</sub> текущими 20-минутными концентрациями различных фракций пыли составило диапазон 17,3 – 25,3 суток (или 56 - 82% месяца), а для 3ПДК<sub>мр</sub> и 5ПДК<sub>мр</sub> - соответственно диапазоны 2,5 – 9,5 суток (8 - 31% месяца) и 0,4 – 3,2 суток (1 - 10% месяца). Это означает, что от 17,3 до 25,3 суток в месяце, или 56-82% его длительности, текущие концентрации  $n_{20}$  различных фракций пыли превышали допустимые максимальные разовые ПДК<sub>мр</sub>, которые в 3-5 раз выше средних суточных ПДК<sub>сс</sub>.

**Таблица 4.** Суммарная продолжительность (число суток) превышений значениями  $n_{20}$  уровней кПДК<sub>мр</sub> в январе 2018 г. различными ингредиентами.

кПДК <sub>мр</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	пыль об.	PM1	PM <sub>2,5</sub>	PM10
k>1	0,15	4,00	1,75	17,38	25,06	25,32	17,26
k>2	0	0,042	0,15	6,72	15,54	16,01	6,60
k>3	0	0	0,014	2,51	8,89	9,46	2,40
k> 5	0	0	0	0,39	2,82	3,17	0,38

### Суточный ход средних часовых концентраций пыли $n_{60}$ в январе 2018.

На рисунке 2 показан усредненный за месяц суточный ход средних часовых концентраций мелкой фракции пыли ПМ<sub>2,5</sub> ( $n_{60}$  - средние концентрации за 60 минут). Как и следовало ожидать, кривая хода  $n_{60}$  лежит значительно выше не только среднего суточного, но максимального разового ПДК. Она имеет три хорошо выраженных максимума: 1) основной резкий полуночный со значением  $n_{60} = 0,613$  мг/м<sup>3</sup>, 2) двойной и плоский дневной в 11 - 13 ч. со значениями 0,426 и 0,406 мг/м<sup>3</sup>) вечерний, так же резкий, в 21 ч со значением 0,628 мг/м<sup>3</sup>. Минимумов так же три, которые, однако, не опускаются даже до ПДК<sub>мр</sub>: ранне-утренний в 6 ч., дневной в 15 ч. и пред-полуночный в 23 ч.



**Рисунок 2.** Усредненный суточный ход концентраций  $n_{60}$  пыли ПМ<sub>2,5</sub> за январь 2018 г.

Такой характер суточного хода часовых концентраций ПМ<sub>2,5</sub> в январе, несомненно, объясняется суточным ходом погодных условий месяца и одновременным наложением трех основных антропогенных факторов - суточным режимом выбросов ТЭЦ, суточными режимами работы автотранспорта и печного отопления частного сектора. Выбросами от промпредприятий Бишкека в первом приближении пока можно пренебречь.

Предположим, что ТЭЦ в зимний период производит максимальные выбросы в вечерние, ночные и ранние утренние часы, когда температуры в суточном ходе наиболее низкие и требуется наиболее интенсивная подача тепла. Ими обусловлен высокий ночной и более низкий дневной фон суточных концентраций пыли. Однако на этот, несомненно, главный фактор накладываются два других.

Выбросы пыли от автотранспорта зимой понижены из-за мерзлости почвы и снежного покрова. Наиболее высокие они днем и наиболее низкие ночью. При этом в их ходе имеет место два максимума - утром в начале рабочего дня (около 8 - 10 ч.) и вечером в конце рабочего дня (около 17 - 19 ч.).

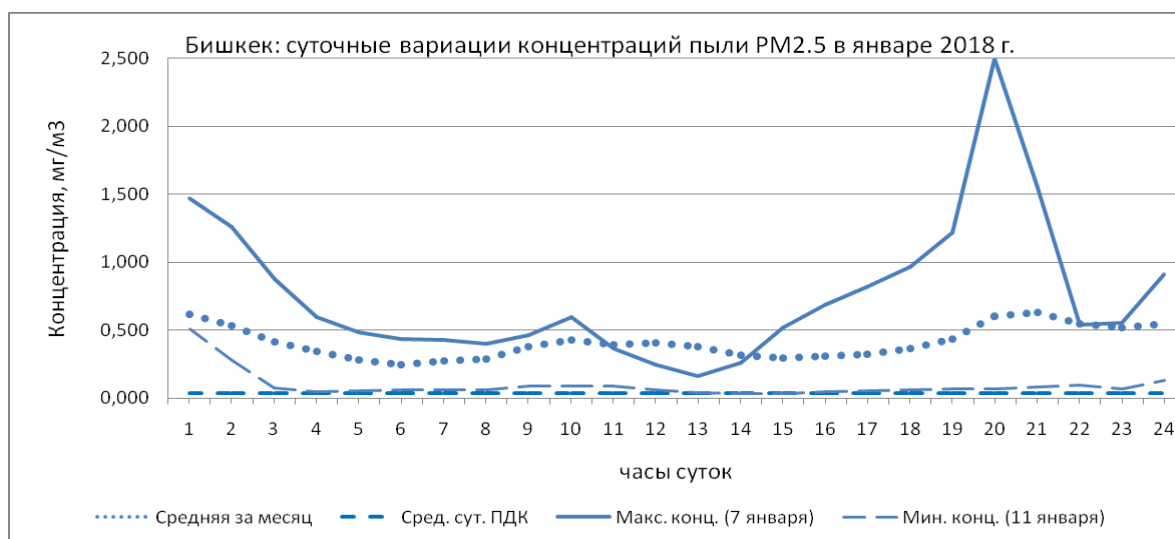
Выбросы от отопления частного сектора представляют собой дымы и сажу из низких, рассредоточенных источников, без применения какого-либо пыле улавливания. Домашние печи технологически не эффективно сжигают уголь и другое топливо в низко температурных топках. Поэтому относительные выбросы дымов здесь по сравнению с технологичной ТЭЦ значительно выше. В режиме отопления частного сектора имеет место два максимума: часть домов, где владельцы имеют возможность протопить печи с утра, обуславливает первый утренний максимум выбросов; там, где такой возможности нет - печи протапливаются вечером, когда владельцы вернутся с работы, и возникает второй вечерний и основной максимум. Именно он обуславливает второй резкий максимум в 21 ч. на кривой рис. 2 для суточного хода концентраций  $n_{60}$ . Такое наложение вечерних выбросов от частного сектора на и без того высокие вечерне-ночные выбросы ТЭЦ создает более высокий, по сравнению с днем, фон ночных концентраций пыли.

Зимой, в течение всего дня, несмотря на слабо выраженный плоский максимум в 11 - 13 ч., концентрация пыли остается значительно более низкой, чем ночью. Сам полуденный максимум можно объяснить накоплением выбросов, происходящее от всех источников с началом рабочего дня к обеду и ее дальнейшим снижением к концу дня. Но возможно, это влияние пока еще не выявленных других факторов и погодных условий января 2018 г. Здесь требуется накопление данных и последующее уточнение.

Отметим еще раз, что более детальное для каждого суток объяснение суточного хода концентраций пыли и других выбросов возможно только с одновременным учетом хода погодных условий и суточного режима этих трех антропогенных факторов.

Теперь будет весьма полезным рассмотреть совместный график суточного хода концентраций  $n_{60}$  пыли ПМ<sub>2,5</sub> для дня с самым высоким и самым низким уровнем загрязнения в январе. Это сделано на рис. 3, где для сравнения нанесена также усредненная месячная кривая суточного с рис. 2. При анализе рис. 3 надо только учесть, что за счет нанесения на график кривой для дня с максимальной концентрацией использован большой масштаб шкалы  $mg/m^3$  (до 2,500  $mg/m^3$ ), в результате чего две другие кривые сжаты по вертикали и выглядят уплощенно.

Из анализа графика рис 3, с учетом полученных выше результатов, можно сделать следующие весьма важные выводы.



**Рисунок 3.** Суточный ход для дня с максимальной (07.01), минимальной (11.01) и усредненной за январь концентрацией пыли ПМ<sub>2,5</sub>.

1. На кривой за 07.01, когда имела место самая высокая средняя суточная концентрация ПМ<sub>2,5</sub>, равная 0,762 мг/м<sup>3</sup>, виден очень яркий индивидуальный суточный ход: все три максимума, имеющие место на усредненной месячной кривой рис. 2, здесь сохранились, но вечерний (20 ч., 2,49 мг/м<sup>3</sup>) стал главным с большим преобладанием над полуночным (0 ч., 1,46 мг/м<sup>3</sup>). Дневной плоский максимум распался на слабо выраженный частный максимум в 10 ч (0,59 мг/м<sup>3</sup>) и такой же слабый минимум в 13 ч, когда концентрация снизилась до уровня ПДК<sub>мр</sub>=0,160 мг/м<sup>3</sup>. Но значительную часть дня 07.01, с конца ночи и раннего утра (4-5 ч.) и почти до начала вечера (15 - 16 ч.) наблюдался общий, хорошо выраженный, пониженный для этих суток фон значений  $p_{60}$ , в пределах 0,16-0,50 мг/м<sup>3</sup>, но который, все равно, был выше 1ПДК<sub>мр</sub>. Ночные же концентрации  $p_{60}$  были стабильно высоки, они определялись двумя названными основными максимумами и только на короткий часовой период (22 - 23 ч.) опустились до 0,55 мг/м<sup>3</sup>.

2. Кривая суточного хода за 11.01, когда наблюдалось самое малое значение средней суточной концентрации в месяце (0,094 мг/м<sup>3</sup>), на графике рис. 3 выглядит уплощенно на фоне высоко амплитудной кривой за 07.01. В эти сутки шел снег, и пыль интенсивно вымывалась из атмосферы. Однако, все равно, вся кривая суточного хода за 11.01 лежит выше уровня ПДК<sub>сс</sub> = 0,035 мг/м<sup>3</sup> и лишь касается его сверху в 14 и 15 ч., т.е. осадки оказались не в состоянии очистить атмосферу в Бишкеке до уровня ниже предельно допустимой суточной концентрации. Несмотря на воздействие осадков и вызванное ими существенное уплощение кривой суточного хода на ней отчетливо видны все его характерные особенности, выявленные на рис.2.: три максимума с их иерархией значений и временным положением; повышенный ночной и пониженный дневной фон в суточном ходе концентраций. Если построить кривую суточного хода за 11.01 отдельно, то все это становится видно более наглядно.

3. Полученные результаты говорят о том, что усредненный за месяц график суточного хода концентраций ПМ<sub>2,5</sub> на рис. 2, хорошо отражает все главные

закономерности январского режима концентраций пыли (дымов) от трех названных основных источников выбросов. Эти главные закономерности и в мало загрязненные сутки 11.01, полностью не могло подавить выпадение снега, интенсивно вымывающего пыль из атмосферы. Следовательно, усредненные месячные графики суточного хода концентраций хорошо отражают все основные закономерности суточного режима выбросов, характерные для текущего сезона, которые четко прослеживаются во все дни месяца. Осадки и другие погодные условия могут только, хотя порой и весьма существенно, усиливать (как например, 07.01.18) или ослаблять (как, например, 11.01.18) фон и амплитуду суточных изменений концентраций. К сожалению, полностью вымыть (и рассеять) выбросы пыли из атмосферы Бишкека, до уровня ПДК<sub>сс</sub> и ниже, погодные процессы, видимо, не в состоянии за исключением отдельных случаев их высокой интенсивности и продолжительности.

В дни с аварией на ТЭЦ 27.01.2018 - 31.01.2018 в суточном ходе не наблюдалось каких-либо заметных отклонений от выявленных закономерностей. Так, например, для ПМ<sub>2,5</sub> в эти числа средние и максимальные за сутки значения концентраций были равны.

**Таблица 5.** Средняя и максимальная концентрации ПМ<sub>2,5</sub> в дни аварии на ТЭЦ.

Число (дата)	27	28	29	30	31	за январь
$n_{cc}$ , мг/м <sup>3</sup>	0,211	0,436	0,619	0,344	0,550	0,411
$n_{20}$ макс., мг/м <sup>3</sup>	0,527	0,933	1,553	1,355	1,257	3,325

### Статистические свойства эмпирических распределений ингредиентов.

В таблице 2 приведены основные характеристики (статистики) эмпирических распределений  $n_{20}$  для всех ингредиентов, основанные на вычислении первых 4 статистических моментов. Они позволяют сделать выводы об основных статистических свойствах этих распределений  $n_{20}$ : положении их центра тяжести (среднее  $-x_{cp}$ , медиана  $-x_{мед}$  и мода  $-x_{мод}$ ), разбросе текущих значений  $n_{20}$  относительно среднего (среднее квадратическое отклонение (СКО) и коэффициент вариации  $k_B$ ), степени симметричности распределений  $n_{20}$  (коэффициент асимметрии  $-k_a$ ) и их остро или плосковершинности (коэффициент эксцесса  $-k_3$ ). Например, для нормального закона распределений коэффициенты асимметрии и эксцесса равны нулю, что значительно упрощает его практическое использование. Для всех симметричных распределений ( $k_a = 0$ ) справедливо:  $x_{cp} = x_{мед} = x_{мод}$ .

СКО позволяет судить о предельных вероятных отклонениях отдельных измеренных концентраций  $n_{20}$  от своего среднего значения. Так, для любого распределения с вероятностями, равными 0,75 и 0,90, отклонение измеренной разовой концентрации  $n_{20}$  от своего  $x_{cp}$  не превысит соответственно 2\*СКО и 3\*СКО (для нормального закона этим соотношениям соответствуют более высокие вероятности 0,95 и 0,99). Это правило позволяет быстро оценивать возможные значения предельных (макс. и мин.) концентраций  $n_{20}$ , используя готовые, вычисляемые по СКАТ для каждого ингредиента суточные и месячные значения  $x_{cp}$  и СКО. Например, для ПМ<sub>2,5</sub>  $x_{cp} = 0,411$



мг/м<sup>3</sup>, СКО = 0,315 мг/м<sup>3</sup> и тогда с вероятностью 0,90 максимальное значение  $p_{20} = 0,411 + 3 * 0,315 = 1,356$  мг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент вариации  $k_v = \text{СКО}/x_{\text{ср}}$  (принимает только положительные значения и вычисляется в долях единицы или %) - есть относительная мера изменчивости и обладает тем замечательным свойством, что позволяет сравнивать между собой изменчивость различных ингредиентов, имеющих разные значения и СКО. Например, для NO  $x_{\text{ср}} = 0,071$  мг/м<sup>3</sup>, СКО = 0,078 мг/м<sup>3</sup> и  $k_v = 1,09$ , а для ПМ<sub>2,5</sub>  $x_{\text{ср}} = 0,411$  мг/м<sup>3</sup>, СКО = 0,315 мг/м<sup>3</sup> и  $k_v = 0,77$ , и следовательно, относительная изменчивость для пыли ПМ<sub>2,5</sub> ( $k_v = 0,77$ ) значительно меньше, чем для NO ( $k_v = 1,09$ ). Физически это означает, что стабильность мощности источников выбросов для пыли более высокая по сравнению с NO, и их текущие концентрации  $p_{20}$  менее изменяются во времени.

Просмотр значений статистик эмпирических распределений всех ингредиентов показывает следующее.

Коэффициенты вариации -  $k_v$  (если исключить CO<sub>2</sub>) для всех ингредиентов меняются от 0,33 (NO<sub>2</sub>), что соответствует малой относительной изменчивости и стабильности колебаний во времени концентраций NO<sub>2</sub>, до 1,26 (O<sub>3</sub>), что соответствует большой относительной изменчивости и, следовательно, большой временной не стабильности концентраций озона в атмосфере Бишкека.

Для всех ингредиентов абсолютные значения коэффициентов асимметрии являются «значительными или большими» (модули равны 0,82 - 18,6), причем скошенность распределений может быть как левой ( $k_a$  со знаком «-»: CO<sub>2</sub>, CH, CH<sub>4</sub>), так и правой ( $k_a$  со знаком «+», остальные ингредиенты). Соответственно этому меняется и положение моды и медианы относительно арифметического среднего значения, они могут быть меньше или больше среднего. Коэффициенты эксцесса  $k_v$  распределений ингредиентов только положительны и меняются в широких пределах - от 0,74 (O<sub>3</sub>) до 9,0 (NO), что говорит о том, что все распределения более островершинны по сравнению с нормальным законом. Из оценки  $k_a$  и  $k_v$ , к сожалению, следует, что статистические распределения всех ингредиентов существенно уклоняются от нормального закона, и для их аппроксимации, т.е. более детального статистического описания, надо использовать иные, более сложные по применению и использованию, статистические законы.

## Резюме

1. Проблема загрязнения атмосферы Бишкека, которая одинаково влияет на здоровье всех слоев его населения, стоит чрезвычайно остро. Главным загрязнителем является аэрозоль (пыль и вредные дымы) - это мелкие, твердые и жидкие частицы различного происхождения и химического состава размером менее 10 мкм (ПМ<sub>10</sub>) и, особенно, менее 2,5 мкм (ПМ<sub>2,5</sub>) и 1 мкм (ПМ<sub>1</sub>), которые проникая в легкие, осаждаются в них, увеличивая риск развития сердечно-сосудистых, респираторных



заболеваний и рака легких. Остальные загрязнители пока не представляют заметной опасности или она даже отсутствует.

2. Так, по средним за январь 2018 г. данным пыль ПМ10 превышала предельно допустимые средние суточные концентрации ( $\text{ПДК}_{\text{сс}} = 0,035 \text{ мг/м}^3$ ) в 7 раз, а пыль ПМ2,5 в - 11,7 раза (из остальных загрязнителей – двуокись азота  $\text{NO}_2$  в 1,9 раза, а окись азота  $\text{NO}$  в 1,2 раза). В день с худшими условиями загрязнения (07.01) пыль ПМ2,5 дала максимальное превышение  $\text{ПДК}_{\text{сс}}$  в 21,8 раза, а в день с наилучшими условиями загрязнения (11.01) – самое низкое превышение было в 2,7 раза. Даже выпадение снега, вымывающего пыль из атмосферы, ни в один из дней не снизило загрязнение ниже предельно допустимого.

3. Суммарное за январь время (число суток) с различным уровнем превышения предельных допустимых максимальных разовых концентраций –  $\text{ПДК}_{\text{мр}} = 0,16 \text{ мг/м}^3$  составило (допускаются как безопасные в течение 20-30 минут).

**Таблица 6.** Суммарное превышение (в сутках) различных уровней  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$  в январе.

$k\text{ПДК}_{\text{мр}}$	NO	NO2	H <sub>2</sub> S	PM1	PM2.5	PM10
$k>1$	0,15	4,00	1,75	25,06	25,32	17,26
$k>2$	0	0,042	0,15	15,54	16,01	6,60
$k>3$	0	0	0,014	8,89	9,46	2,40

Видно, что по интенсивности и продолжительности загрязнения атмосферы Бишкека в январе 2018 г. пыль не имеет конкурентов среди других загрязнителей.

4. В усредненном суточном ходе загрязнений атмосферы пылью ПМ 2,5 в январе 2018 г. имели место следующие особенности: 1) два основных постоянных максимума - вечерний в 21 ч. (3,9  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ ) и полуночный в 0 ч. (3,8  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ ); 2) общий ночной высокий фон загрязнений не ниже 3,2  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ ; 3) более низкий по сравнению с ночью колеблющийся дневной фон загрязнения (1,6 - 2,7  $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ ). Качественно такой ход имел место во все сутки месяца. Полученное распределение уровней загрязнения в течение суток объясняется режимами выбросов ТЭЦ, автотранспорта, отопления частного сектора и погодными условиями января.