

УДК 551.506.21:502.3(575.2-25)

## 2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА БИШКЕКА В ЗИМНИЙ СЕЗОН 2017–2018 гг.

*О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, В.Е. Рязанов*

Кафедрой Метеорологии, экологии и охраны окружающей среды КРСУ с декабря 2017 г. организован высокотехнологичный мониторинг загрязнения атмосферы Бишкека на базе автоматической станции контроля атмосферы СКАТ. По полученным за зимний период 2017–2018 гг. данным проанализирован характер и интенсивность загрязнения атмосферы города в эту зиму. Показано, что в зимний сезон года основным загрязнителем воздуха являются мелкие особо опасные фракции пыли, размером менее 10 мкм, которые входят в состав вредных дымов, выбрасываемых в атмосферу ТЭЦ и отопительными печами частного сектора. Сделан вывод о том, что загрязнение такими фракциями пыли зимой имеет исключительную интенсивность, до 5–10 и более раз превышающих их предельно допустимые концентрации.

*Ключевые слова:* мониторинг загрязнения атмосферы; зимний сезон; высокая степень загрязнения.

---

## 2. КЫШ МЕЗГИЛИНДЕ БИШКЕКТЕ АТМОСФЕРАЛЫК АБАНЫН БУЛГАНЫШЫ

(2017–2018-жж.)

КРСУнун Метеорология, экология жана атмосфераны коргоо кафедрасы тарабынан 2017-жылдын декабрь айынан тартып атмосфераны текшерүүнүн заманбап автоматтык станциясы – СКАТтын базасында Бишкек шаарынын атмосферасынын булганышына жогорку технологиядагы мониторинг жүргүзүү уюштурулду. 2017–2018-жж. кыш мезгилинде алынган маалыматтар боюнча ушул кыштагы шаардын атмосферасынын булганышынын мүнөзү жана интенсивдүүлүгү талдоого алынды. Кыш мезгилинде аба негизинен көлөмү 10 мкм дан кичине, майда өзгөчө коркунучтуу чаң менен булганат, атмосферага мындай чаң Жылууулук электр станциясынан жана жеке сектордогу от жагылчу мештерден чыгат. Кышында абанын мындай чаң менен булганышы өзгөчө интенсивдүү, анын концентрациясы нормадан 5-10 эсеге чейин көп.

*Түйүндүү сөздөр:* атмосферанын булганышына мониторинг жүргүзүү; кышкы сезон; булгануунун жогорку деңгээли.

---

## 2. BISHKEK CITY ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE WINTER SEASON OF 2017–2018

*O.A. Podrezov, A.O. Podrezov, V.E. Riazanov*

Since December 2017, the Department of Meteorology, Ecology and Environmental Protection of the KRSU has organized a technological monitoring of atmospheric pollution in Bishkek based on the automatic atmosphere control station. According to the data received for the winter period 2017–2018 this paper analyzes the nature and intensity of atmospheric pollution in the city this winter. It is shown that In the winter season the main air pollutant is small, especially dangerous dust fractions, less than 10 microns in size, which are part of harmful fumes emitted to the atmosphere of combined heat and power plant and private sector heating furnaces. It is concluded that the contamination of such dust fractions in winter has an exceptional intensity, up to 5–10 or more times their maximum permissible concentrations.

*Keywords:* monitoring of atmospheric pollution; winter season; atmospheric air pollution; high degree of air pollution.

**Введение.** В работе [1] подробно рассмотрены технические возможности измерений и статистического анализа получаемых данных при мониторинге загрязнения воздушного бассейна Бишкека с помощью станции контроля атмосферы (СКАТ) кафедры Метеорологии, экологии

и охраны окружающей среды ЕТФ КРСУ (приступила к измерениям в декабре 2017 г.), которых мы здесь касаться не будем. Станция работает в автоматическом режиме, выдавая измеренные концентрации 15 загрязняющих веществ в мг/м<sup>3</sup> с дискретностью 20 минут, т. е. 72 результата в сутки.

Она установлена примерно в 100 м к востоку от пересечения пр. Чуй и ул. Алма-Атинской, т. е. рядом с городским перекрестком с интенсивным движением автотранспорта и поэтому характеризует типичные условия загрязнения центральной зоны Бишкека.

Загрязнение атмосферы города в любой сезон года определяется выбросами загрязняющих веществ и режимами погодных условий, которые либо способствуют их накоплению в атмосфере, либо благоприятны для рассеивания. Накоплению примесей в приземном слое и плохое их рассеивание по высоте способствуют развитие приземных инверсий температуры, когда она растет с высотой, заишьа и туманы. При таких условиях диффузия примесей по высоте и площади за счет турбулентности, конвекции и горизонтального переноса их ветром крайне мала. При этом образование мощных и интенсивных инверсий играет решающую роль. Инверсии можно образно уподобить крышке, плотно закрывающей сверху приземные слои воздуха толщиной в среднем до 300–500 м. Напротив, интенсивный солнечный прогрев земной поверхности, умеренные и сильные ветры (6 м/с и более) не дают возникнуть инверсиям температуры, способствуют развитию турбулентности и конвекции, что обеспечивает интенсивное рассеивание вредных веществ, как по высоте, так и по площади. Осадки достаточной интенсивности и продолжительности (более 0,5 мм) вымывают примеси из атмосферы. Сведения о погодно-климатических условиях Чуйской долины, влияющих на рассеивание примесей, можно найти в работах [2–12].

Способность атмосферы к самоочищению обычно характеризуют безразмерным индексом – параметром самоочищения атмосферы  $P$  [4, 8], который интегрально учитывает благоприятные и неблагоприятные для рассеивания погодные условия. Считается, что при  $0,8 < P < 1,2$  – они ограничено благоприятны и при  $P > 1,2$  – неблагоприятны для рассеивания. По данным работы [8], многолетние средние значения индекса  $P$  (климатические нормы) для Бишкека по месяцам и года в целом равны

Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	
5,5	3,0	2,3	2,3	2,7	3,6	
Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
5,0	7,6	6,8	4,5	4,1	4,5	4,2

Хорошо видно, что в атмосфере Бишкека для года в целом, а также зимы, лета и осени условия рассеивания примесей или неблагоприятны или

весьма неблагоприятны. Только весной они хотя и улучшаются за счет прогрева земной поверхности (разрушение инверсий, усиление турбулентности и конвекции), ветрового оживления атмосферы и увеличения осадков, но все же остаются в категории неблагоприятных условий.

В зимний период 2017–2018 гг., по данным О.М. Стрижанцевой, параметр самоочищения атмосферы  $P$  имел следующие значения: декабрь – 5,7; январь – 13,8; февраль – 5,9; зимний сезон в целом – 8,5. Видно, что в среднем за зиму значение  $P$  было выше многолетней для нее нормы ( $P = 4,3$ ) в два раза, а значения в январе превышало его норму в 2,5 раза. Следовательно, метеорологические условия минувшей зимы, и, прежде всего, января 2018 г. были очень неблагоприятны для рассеивания примесей в атмосфере. В зимний период преобладали антициклональные погоды с высокой повторяемостью дней с инверсиями (48 %), штилями (40 %) и туманами (32 %). Ветер 6 м/с и более наблюдался всего для 2 % дней, а осадки более 0,5 мм для 21,1 %.

Основным источником выбросов вредных дымов в атмосферу города являются: ТЭЦ, автомобильный транспорт, отопительные печи частного сектора в холодный сезон, а также все предприятия города, которые работают в его черте и пригородах. Кроме того, так как Бишкек представляет, по существу, большой кластер с городами спутниками, то возможен перенос выбросов и с относительно удаленных предприятий, таких, например, как Кантский цементно-шиферный комбинат. При этом надо отметить, что около 44 % всех выбросов Кыргызстана приходится на Бишкек (Национальный доклад о состоянии окружающей среды КР за 2011–2014 гг.), который поэтому является одним из самых загрязненных городов страны. Летом и осенью, когда солнечный прогрев оголенной почвы интенсивен, а осадки малы или практически отсутствуют, очень большую роль играет поднимаемая ветром и автотранспортом земная и дорожная пыль.

Специальные посты Кыргызгидромета ранее проводили в Бишкеке 4-разовые за сутки наблюдения (01, 07, 13 и 19 ч) за концентрациями пыли и некоторых газовых веществ, сейчас объем этих наблюдений значительно сокращен. По данным постов за 5-летний период 1988–1992 гг. [8], средние годовые значения опасных загрязнений составили (в долях предельно допустимых средних суточных концентраций): пыль – 4,7;  $CO$  – 1,8;  $NO_2$  – 2,0 и формальдегид – 3,6. По сезонам года средние значения загрязнений могли достигать более высоких значений: пыль – 7,1 (зима, вечер);  $CO$  – 2,2 (зима, вечер);  $NO_2$  – 2,4 (зима, вечер) и формальдегид – 4,8 (утро, лето-осень). Еще

Таблица 1 – Средние значения концентраций (доли ПДК<sub>сс</sub>) и коэффициенты вариации опасных загрязнителей атмосферы Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг.

Вещество	Декабрь		Январь		Февраль		Зима	
	ср. знач.	вариаци.	ср. знач.	вариаци.	ср. знач.	вариаци.	ср. знач.	вариаци.
NO	1,53	0,92	1,18	1,10	0,94	1,08	1,16	1,09
NO <sub>2</sub>	1,78	1,53	1,93	0,34	1,68	0,43	1,77	0,46
Пыль общ.	2,25	1,02	2,81	0,76	1,85	0,86	2,34	0,83
ПМ1	8,77	1,02	11,20	0,75	7,31	0,87	9,26	0,83
ПМ2,5	9,20	1,01	11,74	0,77	7,69	0,87	9,72	0,83
ПМ4	9,26	1,01	11,80	0,77	7,73	0,87	9,77	0,83
ПМ10	5,52	1,02	6,97	0,76	4,59	0,86	5,79	0,83

несколько больше средние значения могли быть при слабых ветрах, затишьях и инверсиях температуры, а при осадках 0,5 мм и более, концентрации снижались.

Из этих данных видно, что проблема загрязнения атмосферы Бишкека стоит чрезвычайно остро и для ее решения нужна специальная государственная программа. Первоочередной задачей такой программы должно быть проведение высокотехнологичного мониторинга состояния воздушного бассейна города, на основании которого могли бы приниматься практические решения. Именно решение этой задачи поручено кафедре метеорологии, экологии и охраны окружающей среды ЕТФ КРСУ на базе измерений современной автоматизированной станции контроля атмосферы (СКАТ), данные которой и послужили основой для настоящей работы.

**Средние месячные и сезонные концентрации опасных зимних загрязнителей.** Из 15 измеряемых СКАТ загрязнителей атмосферы (СО, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, HCN, пыль общая и 4 ее мелкие фракции: ПМ1, ПМ2,5, ПМ4 и ПМ10, имеющие соответственно размеры менее 1, 2,5, 4 и 10 мкм) в зимний сезон 2017–2018 гг. в целом и в каждый из его месяцев средние значения концентраций выше уровня предельно допустимых средних суточных концентраций (ПДК<sub>сс</sub>) имели 7 загрязняющих веществ: оба окисла азота, пыль общая и все ее 4 мелкие фракции – ПМ1, ПМ2,5, ПМ4 и ПМ10. Следовательно, по средним данным они были опасными загрязнителями в зимний период. В таблице 1 приведена основная статистика, рассчитанная для этих загрязнителей.

Из данных этой таблицы видно, что для зимнего сезона в среднем концентрация пыли общей была равна 2,3 ПДК<sub>сс</sub>, а ее мелкие и более вредные для здоровья фракции имели очень высокие концентрации в диапазоне 5,8–9,8 ПДК<sub>сс</sub>. В каждый из зимних месяцев картина была качественно аналогичной. При этом самым загрязненным пылью

был январь, с его типичными зимними погодными условиями, когда концентрация пыли общей была выше средней по сезону и равнялась 2,8 ПДК<sub>сс</sub>, а для мелких фракций диапазон был исключительно высоким и равным 7–11,8 ПДК<sub>сс</sub>. Коэффициенты вариации всех фракций пыли оказались высокими, близкими к 1,0, что говорит о значительных колебаниях концентраций в отдельные дни зимнего сезона. Концентрации окислов азота NO и NO<sub>2</sub> имели средние концентрации в несколько раз ниже, чем мелкие фракции пыли, причем у двуокиси NO<sub>2</sub> она была более высокой: в среднем для зимы 1,8 ПДК<sub>сс</sub>, составляя в отдельные месяцы 1,5–1,9 ПДК<sub>сс</sub>.

Таким образом, в зимний сезон 2017–2018 гг. мелкие фракции пыли были главным и очень опасным загрязнителем атмосферы Бишкека, не имея себе равных среди других веществ. Их средние месячные концентрации в январе превышали исключительно высокий уровень в 10 ПДК<sub>сс</sub>, что говорит об условиях загрязнения, граничащих с катастрофическими.

**Динамика средних суточных концентраций опасных загрязнителей атмосферы в зимний сезон.** Весьма важно проследить динамику изменений средних суточных концентраций в течение каждого из трех месяцев зимнего сезона, которая в климатологии носит название месячного хода величины. Такие графики для двух опасных загрязнителей атмосферы пыли ПМ2,5 и двуокиси азота для самого загрязненного месяца зимы – января представлены на рисунке 1 (графики для всех фракций пыли повторяют друг друга поэтому достаточно ограничиться одним из них). Хорошо видно, что кривая ПМ2,5 имела очень сильный колебательный характер и в долях ПДК<sub>сс</sub> менялась в пределах от 2,7 (11.01) до рекордно большого значения 21,7 (07.01). В декабре и феврале максимальные значения концентраций ПМ2,5 были лишь немногим ниже, но все равно оставались в пределах недопустимо



Рисунок 1 – Динамика средних суточных концентраций пыли ПМ2,5 и двуокиси азота NO<sub>2</sub> (в долях ПДК<sub>сс</sub>) в январе 2018 г.

высоких значений: декабрь – максимальное значение 17,7 (29.12), минимальное значение 1,8 (26.12); февраль – максимальное 15,8 (09.02), минимальное 3,1 (28.02). Ни в одни из суток зимы средняя суточная концентрация ПМ2,5 не опустилась до предельно допустимых суточных значений ПДК<sub>сс</sub>.

Что касается двуокиси азота, то его изменение в январе по сравнению с кривой ПМ2,5 выглядит очень «скромно»: вся кривая за имеющиеся 15 суток наблюдений хотя и лежит выше уровня предельно допустимой средней суточной концентрации, но колеблется в узких пределах 1,5–2,5 ПДК<sub>сс</sub>. Не показанная на рисунке 2 кривая для NO<sub>2</sub> лежит еще ниже, колеблясь в пределах 0,5–2,3 ПДК<sub>сс</sub>. Качественно аналогичными были колебания суточных концентраций для NO<sub>2</sub> и NO в декабре и феврале.

**Повторяемость и суммарная за сезон и по месяцам продолжительность максимальных 20-минутных концентраций загрязняющих веществ.** Не менее важно, чем по средним суточным и сезонным данным, охарактеризовать уровень загрязнения атмосферы Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг., используя все измеренные текущие 20-минутные концентрации  $n_{20}$  по каждому ингредиенту, и сравнивая их с предельно допустимыми максимальными разовыми концентрациями (ПДК<sub>мр</sub>), которые в 3–10 раз выше, чем средние суточные ПДК<sub>сс</sub>. Это позволит судить о том, насколько вредным для здоровья, являлось даже кратковременное, в пределах до 0,5 ч, пребывание в атмосфере Бишкека в различные дни зимы 2017–2018 гг. Такие данные о числе случаев превышений и их повторяемости (%) приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что в каждом из месяцев зимнего сезона текущие концентрации всех фракций пыли могли многократно превышать уровни своих ПДК<sub>мр</sub>. Так, для ПМ2,5 превышение уровня в 1 ПДК<sub>мр</sub> в декабре составляло около 62 %, в январе увеличилось до

82 %, а в феврале снизилось до 67 %. Для опасного уровня загрязнения в 3 ПДК<sub>мр</sub> эти цифры соответственно составляют 22, 31 и 15 %. Даже особо опасный уровень в 5 ПДК<sub>мр</sub> превышался этой фракцией пыли в декабре и январе в 7,3 и 10,2 % случаев. В целом за сезон повторяемость превышения 1 ПДК<sub>мр</sub> для ПМ2,5 составляла 67,3 %. Рекордно высокое значение концентрации  $n_{20}$  для ПМ2,5 достигло 20,8 ПДК<sub>мр</sub> и наблюдалось 7 января. В декабре и феврале месячные максимальные значения были меньше, но имели тот же порядок – 13,1 и 10,4 ПДК<sub>мр</sub>.

Концентрации  $n_{20}$  оксида азота NO во все месяцы зимнего сезона превышали уровень в 1 ПДК<sub>мр</sub> с малой повторяемостью, соответствующей 0,2–2 %. Гораздо большую повторяемость таких превышений имел диоксид азота NO<sub>2</sub>, для которого она составляла 18,4–28,5 %. Важно, что оба оксида азота практически не превышали уровня в 2 ПДК<sub>мр</sub>.

Концентрации  $n_{20}$  сероводорода H<sub>2</sub>S (для него отсутствует ПДК<sub>сс</sub> и поэтому выше он не был показан как опасный загрязнитель) также часто превышали уровень в 1 ПДК<sub>мр</sub> (10,3–14 % случаев), но не выходили практически за 2 ПДК<sub>мр</sub>.

Число случаев превышений кПДК<sub>мр</sub>, приведенное в таблице 2, можно легко пересчитать в суммарную за каждый месяц продолжительность таких превышений, так как каждое измерение  $n_{20}$  имеет 20-минутное осреднение. Результаты таких расчетов приведены в таблице 3, где суммарные продолжительности даны в сутках.

Эти данные наглядно показывают, что в зимний период по интенсивности и продолжительности загрязнения атмосферы Бишкека текущими 20-минутными концентрациями мелкие фракции пыли не имеют конкурентов среди других загрязнителей. Так, в январе фракция пыли ПМ2,5 в течение 25,3 суток (82 % месяца) превышала уровень

Таблица 2 – Число случаев и повторяемости (в скобках, %) превышений текущими концентрациями  $n_{20}$  различных уровней максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub>

кПДК <sub>мр</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Пыль об.	ПМ1	ПМ2,5	ПМ10
Декабрь (измерения проведены за 13 суток, с 19 по 31.12)							
k>1	17 (1,9)	244 (27,3)	125 (14,0)	186(22,3)	512 (61,2)	517 (61,8)	355 (42,5)
k>3		1 (0,11)	9 (1,0)	10 (1,2)	174 (20,8)	185 (22,1)	50 (6,0)
k>5					51 (6,1)	61 (7,3)	10 (1,2)
k>10					7 (0,84)	9 (1,1)	
Январь							
k>1	11 (1,1)	288 (28,5)	126 (10,3)	1252 (56,1)	1804 (80,9)	1823 (81,7)	1243 (55,7)
k>3			1 (0,08)	182 (8,2)	640 (28,7)	681 (30,5)	173 (7,8)
k>5				29 (1,3)	203 (9,1)	228 (10,2)	27 (1,2)
k>10				1 (0,05)	12 (0,54)	20 (0,90)	1 (0,05)
Февраль							
k>1	3 (0,18)	312 (18,4)	230 (11,9)	293 (14,5)	1144 (56,8)	1176 (58,4)	616 (30,6)
k>3				3 (0,15)	272 (13,5)	296 (14,7)	64 (3,2)
k>5					86 (4,3)	99 (4,9)	2 (0,10)
k>10						2 (0,10)	
Зимний сезон в целом							
k>1	31 (1,1)	844 (24,7)	481 (12,1)	1731(30,9)	3460 (66,3)	3516 (67,3)	2214 (42,9)
k>3		1 (0,04)	10 (0,36)	195 (3,2)	1086 (21,0)	1152 (22,4)	287 (5,7)
k>5				29 (0,43)	340 (6,5)	388 (7,5)	39 (0,83)
k>10				1 (0,02)	19 (0,46)	31 (0,70)	1 (0,02)

Таблица 3 – Продолжительность (в сутках) превышений текущими концентрациями  $n_{20}$  различных уровней максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub>

кПДК <sub>мр</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	пыль общая	PM1	PM2.5	PM10
Декабрь (измерения проведены за 13 суток, с 19 по 31.12)							
k>1	0,2	3,4	1,7	2,6	7,1	7,2	4,9
k>3		0,014	0,13	0,14	2,4	2,6	0,69
k>5					0,71	0,85	0,14
Январь							
k>1	0,2	4,0	1,8	17,4	25,1	25,3	17,3
k>3	0	0	0,014	2,5	8,9	9,5	2,4
k>5	0	0	0	0,39	2,8	3,2	0,38
Февраль							
k>1	0,21	4,3	3,2	4,0	15,9	16,3	8,6
k>3				0,04	3,8	4,1	0,89
k>5					1,2	1,4	0,03



Рисунок 2 – Усредненный за январь 2018 г. суточный ход средних часовых концентраций (в долях ПДК<sub>мр</sub>) пыли ПМ<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> и NO

в 1 ПДК<sub>мр</sub>, а в течение 9,5 суток уровень в 3 ПДК<sub>мр</sub> (31 % месяца). В декабре из 13 суток наблюдений уровни в 1 и 3 ПДК<sub>мр</sub> превышались соответственно в течение 7,2 суток (55 % длительности) и 2,6 суток (20% длительности). В феврале эти периоды опасных концентраций были аналогичны декабрю и составляли 16,3 суток (58 % месяца) и 4,1 суток (15 % месяца). Подчеркнем еще раз, что все эти цифры представлены в предельно допустимых максимальных разовых концентрациях, которые не оказывают вреда здоровью лишь при кратковременном воздействии в течение не более 20 минут.

Остальные три опасных загрязнителя таблицы 3 превышали уровень в 1 ПДК<sub>мр</sub> в каждом месяце не более 4,3 суток. Из них наиболее продолжительное загрязнение создавалось диоксидом азота NO<sub>2</sub>, составлявшее 3,4–4,3 суток, а наименьшее оксидом азота NO, равное всего около 0,2 суток.

**Динамика изменений в течение суток средних часовых концентраций пыли и окислов азота.** Характер изменений концентраций мелкой фракции пыли ПМ<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> и NO в течение суток (как опасных загрязнителей) нагляднее всего можно представить по усредненным за каждый месяц зимы кривым суточного хода средних часовых значений  $n_{60}$ , сравнивая их с предельно допустимыми максимальными разовыми ПДК<sub>мр</sub>. График такого суточного хода для наиболее загрязненного месяца зимы января показан на рисунке 2, на котором концентрации представлены в долях ПДК<sub>мр</sub>.

На рисунке видно, что кривая суточного хода ПМ<sub>2,5</sub> имеет три хорошо выраженных максимума: 1) полуночный со значением 3,8 ПДК<sub>мр</sub>, 2) плоский и двойной дневной в 10 и 12 ч со значениями 2,7 и 2,5 ПДК<sub>мр</sub>; вечерний в 21 ч со значением 3,9 ПДК<sub>мр</sub>. Минимумов также три, которые, однако, не опускаются до прямой ПДК<sub>мр</sub>: ранний утренний в 6 ч, дневной в 15–16 ч и пред-полуночный в 23 ч. Заметим сразу, что в декабре и феврале

кривые суточного хода ПМ<sub>2,5</sub> качественно имели аналогичный вид. Показательно также, что все эти максимумы и минимумы усредненного суточного хода четко видны и на индивидуальных кривых, например, для дней с максимальным и минимальным загрязнением. Все это позволяет считать, что особенности суточного хода пыли на рисунке 2 есть отражение устойчивых причин, формирующих закономерности зимнего суточного режима концентраций.

Полученные данные прежде всего экологически означают, что в Бишкеке в январе 2018 г. (и в зимний период в целом) было весьма вредным для здоровья не только пребывание в течение суточного интервала времени, но даже кратковременное нахождение в городе в течение более получаса в любую часть суток. То же самое можно сказать о декабре и феврале.

Сам характер зимнего суточного хода часовых концентраций ПМ<sub>2,5</sub>, показанный на рисунке 2, несомненно, объясняется суточным ходом погодных условий месяца и одновременным наложением трех основных антропогенных факторов: 1) суточным режимом выбросов ТЭЦ, 2) суточными режимами работы автотранспорта и 3) суточным режимом 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 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 пылеулавливания и, вследствие массовости этих источников, их вклад должен быть большим. К сожалению, точных данных по этому вопросу пока нет. В режиме отопления частного сектора должны иметь 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 максимум в 21 ч на кривой рисунка 2. 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 гораздо 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 здесь возможно влияние пока еще не выявленных других факторов и погодных условий.

О влиянии зимних погодных условий на рассеивание примесей было сказано во введении. Следует еще раз подчеркнуть, что более высокие ночные концентрации, прежде всего, возникают в результате образования и усиления ночных приземных инверсий температуры, препятствующих распространению выбросов вверх и способствующих их накоплению в нижних слоях примерно до 500 м.

Что касается суточного хода окислов азота, то кривая  $\text{NO}_2$  слабо колеблется вблизи прямой в 1 ПДК<sub>мр</sub>, а кривая NO лежит заметно ниже этой прямой, причем обе они идут примерно параллельно друг другу. При суточном пребывании в городе эти вещества представляют опасность, так как их концентрации превышают ПДК<sub>сс</sub>. Однако в отличие от пыли, они допускают кратковременное нахождение в городе в течение не более 20–30 минут по той причине, что их разовые 20-минутные концентрации не превышают (или мало превышают) предельно допустимые максимальные разовые концентрации ПДК<sub>мр</sub>.

#### Выводы

1. Проблема загрязнения атмосферы Бишкека, особенно в зимний сезон года, которое отрицательно влияет на здоровье всех слоев населения, стоит чрезвычайно остро, и ее решение требует

специальной государственной программы. Главным загрязнителем зимой является аэрозоль (пыль и вредные дымы) – это мелкие, твердые и жидкие частицы различного происхождения и химического состава размером менее 10 мкм (ПМ10) и, особенно, менее 2,5 мкм (ПМ2,5) и 1 мкм (ПМ1), которые проникая в легкие, осаждаются в них, увеличивая риск развития сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний и рака легких. Остальные загрязнители пока не представляют большой опасности или она даже отсутствует.

2. Самым загрязненным месяцем зимы 2017–2018 гг. был январь. Так, по средним за этот месяц данным пыль ПМ10 превышала предельно допустимые средние суточные концентрации в 7 раз, а пыль ПМ2,5 – 11,7 раза (из остальных загрязнителей – двуокись азота  $\text{NO}_2$  в 1,9 раза, а окись азота NO – в 1,2 раза). В день с худшими условиями загрязнения (07.01) пыль ПМ2,5 дала максимальное превышение ПДК<sub>сс</sub> в 21,8 раза, а в день с самым низким загрязнением (11.01) – 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 –  $k\text{ПДК}_{\text{мр}}$  соответствует следующим значениям:

$k\text{ПДК}_{\text{мр}}$	NO	$\text{NO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$
$k>1$	0,2	4,0	1,8
$k>3$	0	0	0,014
$k>5$	0	0	0
пыль об.	PM1	PM2.5	PM10
17,4	25,1	25,3	17,3
2,5	8,9	9,5	2,4
0,39	2,8	3,2	0,38

Видно, что по интенсивности и продолжительности загрязнения атмосферы Бишкека в зимний период года пыль не имеет конкурентов среди других загрязнителей.

4. В усредненном суточном ходе загрязнений атмосферы пылью 2017–2018 гг. имели место следующие особенности: 1) два основных постоянных максимума – вечерний в 21 ч (до 3,9 ПДК<sub>мр</sub>) и полуночный в 0 ч (до 3,8 ПДК<sub>мр</sub>); 2) общий ночной высокий фон загрязнений (в январе не ниже 3,2 ПДК<sub>мр</sub>; 3) более низкий по сравнению с ночью колеблющийся дневной фон загрязнения (в январе 1,6–2,7 ПДК<sub>мр</sub>). Качественно такой ход имел место во все сутки зимнего сезона. Полученное распределение уровней загрязнения в течение суток объясняется режимами выбросов ТЭЦ, автотранспорта,

отопления частного сектора и, что не менее важно, погодными условиями зимы. Главную роль здесь играют образующиеся у земной поверхности инверсии температуры, которые препятствуют рассеиванию выбросов в более высокие слои атмосферы, что обуславливает их накопление и высокие концентрации в приземном слое.

#### *Литература*

1. *Подрезов О.А.* Научно-технические возможности мониторинга загрязнения воздушного бассейна Бишкека с помощью станции контроля атмосферы СКАТ / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, В.Е. Рязанов // Вестник КРСУ. 2018. Том 18. № 12.
2. *Аэроклиматические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии.* Кн. 1. Статистические характеристики метеорологических элементов в различные часы суток. Ташкент: САНИИ им. В.А. Бугаева, 1986. 318 с.
3. *Брусенская И.С.* Режим ветра на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана / И.С. Брусенская, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 143 с.
4. *Владимиров А.М.* Охрана окружающей среды / А.М. Владимиров, Ю.И. Ляхин, Л.Т. Матвеев, В.Г. Орлов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 424 с.
5. *Гельмгольц Н.Ф.* Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня / Н.Ф. Гельмгольц. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 329 с.
6. *Климат Киргизской ССР* / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 279 с.
7. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.
8. *Павлова И.А.* Климатическая характеристика режима температуры зимы в г. Бишкек / И.А. Павлова // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. Бишкек, 2017. Вып. 12. С. 97–109.
9. *Павлова И.А.* Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана. Кн. 2. Режим циркуляции атмосферы и загрязнение городов Чуйской долины / И.А. Павлова, А.О. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. 138 с.
10. *Перова М.В.* Режим температуры воздуха в холодное полугодие и климатические параметры отопительного периода на территории Северного, Северо-Западного Кыргызстана / М.В. Перова, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 157 с.
11. *Подрезов О.А.* Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 169 с.
12. *Подрезов О.А.* Современный климат Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 202 с.
13. *Подрезова Ю.А.* Климатическая характеристика гроз на территории Кыргызстана / Ю.А. Подрезова, О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. 136 с.