

УДК 551.506.21:502.3(575.2-25)

### 3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА БИШКЕКА В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН 2018 г.

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

Проанализирован характер и интенсивность загрязнения атмосферы города в весенний сезон 2018 г. на основе данных мониторинга загрязнения воздушного бассейна г. Бишкек. Мониторинг проводился кафедрой метеорологии, экологии и охраны окружающей среды КРСУ с декабря 2017 г. с помощью современной автоматической станции контроля атмосферы СКАТ. Установлено, что весной загрязнение мелкими фракциями пыли понизилось в 5–10 раз по сравнению с зимой. Однако еще в течение марта–апреля эти фракции пыли оставались в числе основных загрязнителей, и только в мае их содержание снизилось ниже предельно допустимых концентраций. Одновременно в апреле–мае свои предельно допустимые концентрации превысили двуокись азота и озон, перейдя в ранг основных загрязнителей атмосферы города для середины и конца весеннего сезона.

*Ключевые слова:* Бишкек; весенний сезон 2018 г.; результаты мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

---

### 3. БИШКЕКТЕ 2018-ЖЫЛДЫН ЖАЗ АЙЛАРЫНДА АТМОСФЕРАНЫН БУЛГАНУУСУ

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

Бул макалада Бишкек шаарынын аба бассейнинин булгануусуна жүргүзүлгөн мониторингдин маалыматтарынын негизинде 2018-жылдын жаз мезгилинде шаардын атмосферасынын булгануу мүнөзү жана интенсивдүүлүгү талдоого алынды. Мониторинг КРСУнун метеорология, экология жана айлана-чөйрөнү коргоо кафедрасы тарабынан атмосфераны контролдоонун заманбап автоматтык станциясы СКАТтын жардамы менен 2017-жылдын декабрь айынан тартып жүргүзүлдү. Жазында абанын чаңдын майда бүртүкчөлөрү менен булгануусу кыш мезгилине караганда 5–10 эсе төмөндөгөндүгү белгиленди. Бирок март-апрель айларында чаңдын майда бүртүкчөлөрү абанын негизги булгоочусу катары кала берди, май айында гана алардын көрсөткүчү төмөндөдү. Ошол эле мезгилде апрель-май айларында кош кычкыл азоттун жана озондун концентрациясы жол берилген ченемден ашып түшүп, жаз мезгилинин орто ченинде жана акырында атмосферанын негизги булгоочусу болуп калды.

*Түйүндүү сөздөр:* Бишкек; 2018-жылдын жаз мезгили; абанын булгануусуна жүргүзүлгөн мониторингдин жыйынтыктары.

---

### 3. BISHKEK CITY ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE SPRING SEASON OF 2018

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

According to the monitoring of air pollution in Bishkek by the Meteorology, Ecology and Environmental Protection Department of the KRSU from December 2017, the nature and intensity of air pollution in the city in the spring season of 2018 were analyzed using the automatic atmospheric monitoring station. Dust fractions dropped 5–10 times compared to winter. However, even during March–April these dust fractions remained among the main pollutants, and only in May their content decreased below the maximum permissible concentrations. At the same time, in April–May, their maximum allowable concentrations exceeded nitrogen dioxide and ozone, moving to the rank of the main pollutants of the city's atmosphere for the middle and end of the spring season.

*Keywords:* Bishkek; spring season 2018; results of air pollution monitoring.

**Введение.** Настоящая статья является третьей в серии из 5 работ, посвященных оценке загрязнения воздушного бассейна Бишкека по данным первого года мониторинга, проводимого на базе современной автоматической станции

контроля атмосферы СКАТ (приступила к работе в декабре 2017 г.) кафедрой метеорологии, экологии и охраны окружающей среды КРСУ. В работах [1, 2] рассмотрены вопросы научно-технических возможностей такого мониторинга

и проведен анализ полученных результатов оценки загрязнения атмосферы города в зимний сезон 2017–2018 гг.

Оказалось, что зимой [2] главными загрязнителями атмосферы являются пыль общая и 4 ее мелкие фракции (ПМ1, ПМ2,5 ПМ4 и ПМ10 – цифры означают размеры пыли, равные соответственно менее 1, 2,5, 4 и 10 мкм), входящие в состав вредных дымов, выбрасываемых ТЭЦ и отопительными печами частного сектора. При этом содержание этих фракций в воздухе превышало в среднем по зимнему сезону предельно допустимые средние суточные концентрации (ПДК<sub>сс</sub>) до 5–10 раз, а в наиболее загрязненном месяце – январе до 7–12 раз. Из других загрязнителей в зимний период опасных концентраций достигали окись и двуокись азота, но их было намного меньше, чем мелких фракций пыли. При этом 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>.

Такие, близкие к катастрофическим условия загрязнения пылью зимой, создавались также благодаря типично зимним, крайне неблагоприятным для рассеивания вредных примесей условиям погоды – развитием приземных инверсий температуры, когда она растет с высотой, затишьями и туманами. При таких условиях диффузия примесей по высоте и площади за счет турбулентности, конвекции и горизонтального переноса их ветром крайне мала и они скапливаются в приземном слое толщиной до 300–500 м. При этом образование мощных и интенсивных инверсий играет здесь решающую роль.

Весной, с окончанием отопительного сезона в конце марта, значительно снижаются выбросы пыли, в основном за счет печей частного сектора, так как ТЭЦ продолжает работать в режиме выработки электроэнергии. Одновременно существенно возрастает способность атмосферы к самоочищению: происходит интенсивный солнечный прогрев земной поверхности, а также чаще наблюдаются умеренные и сильные ветры (6 м/с и более), которые не дают возникнуть инверсиям температуры, способствуют развитию турбулентности и конвекции, что обеспечивает интенсивное рассеивание вредных веществ, как по высоте, так и по площади [3–5]. Так, по данным работы [4], многолетние средние значения потенциала самоочищения атмосферы Р для

Бишкека (климатические нормы) в различные месяцы года составляют (*при  $0,8 < P$  создаются условия благоприятные для рассеивания примесей, при  $0,8 < P < 1,2$  – они ограниченно благоприятны и при  $P > 1,2$  – неблагоприятны для рассеивания*):

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

Хорошо видно, что, согласно численным значениям Р, в атмосфере Бишкека для года в целом, а также для зимы, лета и осени условия рассеивания примесей или неблагоприятны или крайне неблагоприятны. Только весной они, хотя и улучшаются, но все же остаются в категории неблагоприятных условий. Однако потенциал Р не учитывает такой мощный фактор рассеивания в южных широтах, как интенсивная термическая конвекция в теплое время года. Для субтропической широты Бишкека, на наш взгляд, он с успехом может применяться только в зимнее время года, возможно, включая раннюю весну и позднюю осень. С термической конвекцией связано развитие мощных конвективных вертикальных движений и интенсивное рассеивание примесей в значительный по толщине слой тропосферы. Как увидим далее, для Бишкека этот фактор надо обязательно учитывать, начиная с апреля–мая и до конца сентября–октября, когда имеет место сильный солнечный прогрев подстилающей поверхности, энергетически питающей развитие конвекции.

Таким образом, начиная с весны, следует ожидать существенного уменьшения загрязнения атмосферы Бишкека за счет снижения выбросов вредных дымов при одновременном повышении интенсивности их рассеивания по высоте вследствие более благоприятных погодных условий. Кроме того, в связи с увеличением продолжительности и интенсивности солнечного сияния, в загрязненной окислами азота городской атмосфере возникают условия для образования такого опасного загрязнителя как озон.

Таблица 1 – Средние значения концентраций (в долях ПДК<sub>сс</sub>) и коэффициенты вариации опасных загрязнителей атмосферы Бишкека в весенний сезон 2018 г.

| Вещество        | Март      |          | Апрель    |          | Май       |          | Весна     |          |
|-----------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                 | ср. знач. | вариаци. | ср. знач. | вариаци. | ср. знач. | вариаци. | ср. знач. | вариаци. |
| NO              | 0,65      | 0,67     | 0,53      | 0,93     | 0,39      | 0,79     | 0,52      | 0,80     |
| NO <sub>2</sub> | 0,79      | 0,88     | 1,28      | 0,35     | 1,17      | 0,36     | 1,08      | 0,53     |
| O <sub>3</sub>  | 0,77      | 1,01     | 1,06      | 0,9      | 1,2       | 0,8      | 1,01      | 0,90     |
| Пыль общ.       | 0,58      | 0,97     | 0,42      | 0,9      | 0,28      | 0,66     | 0,43      | 0,84     |
| ПМ1             | 1,93      | 1,04     | 1,3       | 0,94     | 0,79      | 0,73     | 1,34      | 0,90     |
| ПМ2,5           | 2,1       | 1,01     | 1,43      | 0,91     | 0,89      | 0,7      | 1,47      | 0,87     |
| ПМ4             | 2,18      | 1        | 1,5       | 0,91     | 0,95      | 0,69     | 1,54      | 0,87     |
| ПМ10            | 1,41      | 0,97     | 0,99      | 0,9      | 0,65      | 0,67     | 1,02      | 0,85     |

**Средние месячные и сезонные концентрации опасных загрязнителей весной**

В таблице 1 из всех 15 измеряемых СКАТ загрязнителей атмосферы (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH, CH<sub>4</sub>, HCN, пыль общая и 4 ее мелкие фракции: ПМ1, ПМ2,5, ПМ4 и ПМ10), приведены рассчитанные значения средних месячных и сезонных концентраций и коэффициентов вариации для тех из них, которые хотя бы в один из месяцев весны 2018 г. превысили среднюю месячную концентрацию в 0,5 ПДК<sub>сс</sub>. Как видно, таких загрязнителей было 8: два окисла азота, озон и все 5 фракций пыли. При этом, как и следовало ожидать, средняя концентрация как пыли общей, так и 4 ее мелких фракций снизилась по сравнению с зимой в 5–10 и более раз. Весной, в среднем за сезон, пыль общая дает концентрацию только около 0,4 ПДК<sub>сс</sub>, а фракции ПМ2,5 и ПМ4 – концентрации, близкие к 1,5 ПДК<sub>сс</sub>. При этом средние месячные концентрации всех фракций пыли закономерно снижались от марта к маю. Так, одна из самых опасных фракций ПМ2,5 в марте, апреле и мае имела следующую динамику снижения: март – 2,1, апрель – 1,43 и май – 0,89 ПДК<sub>сс</sub>.

Что касается окиси азота NO, то его средняя месячная концентрация в течение весны только «подбиралась» к предельно допустимой средней суточной, равной 0,06 мг/м<sup>3</sup>, но не переходила за нее, и поэтому он был еще не опасен, как загрязнитель.

Напротив, двуокись азота, которая выбрасывается в атмосферу при высокотемпературном сжигании топлива преимущественно двигателями внутреннего сгорания и ТЭЦ, во вторую по-

ловину весны заметно повысила свою концентрацию, от 0,8 ПДК<sub>сс</sub> в марте до 1,3 и 1,2 ПДК<sub>сс</sub> в апреле и мае, так что ее средняя за весну концентрация составила 1,1 ПДК<sub>сс</sub>.

Заметим, что для двуокиси азота NO<sub>2</sub> Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует два предельных средних уровня концентрации: среднегодовой уровень 0,04 мг/м<sup>3</sup> и среднечасовой уровень 0,20 мг/м<sup>3</sup>. Как загрязнитель воздуха NO<sub>2</sub> воздействует несколькими взаимосвязанными путями:

- при кратковременном превышении уровня концентрации до 0,20 мг/м<sup>3</sup> двуокись азота является токсичным газом, вызывающим сильное воспаление дыхательных путей;
- NO<sub>2</sub> служит основным источником нитратных аэрозолей, образующих одну из опасных фракций пыли ПМ<sub>2,5</sub>, а в присутствии прямого солнечного света достаточной интенсивности является еще и местным источником образования другого загрязнителя – озона.

В Кыргызстане для NO<sub>2</sub> приняты следующие значения предельных допустимых концентраций: среднее суточное значение ПДК<sub>сс</sub> = 0,04 мг/м<sup>3</sup> и максимальное разовое ПДК<sub>мр</sub> – 0,085 мг/м<sup>3</sup>.

Озон в приземной атмосфере городов возникает двумя путями: 1) основной – это его вертикальный перенос вниз из стратосферы (слой 15–55 км), где при фотохимических реакциях, происходящих при поглощении ультрафиолетовой радиации Солнца молекулами кислорода, образуется его основная масса в атмосфере Земли, 2) дополнительно озон образуется в загрязненной атмосфере городов, как уже отмечалось,

из двуокиси азота  $\text{NO}_2$  (газ-предшественник озона) под действием прямого солнечного света. Считается, что максимальной величиной стратосферного переноса озона может быть значение около  $0,12 \text{ мг/м}^3$ . При этом предельно допустимой максимальной разовой концентрацией приземного озона является  $0,16 \text{ мг/м}^3$ , а средней суточной –  $0,03 \text{ мг/м}^3$ . ВОЗ рекомендует для него предельный средний уровень концентрации за 8 часов (рабочий день), равный  $0,10 \text{ мг/м}^3$ .

Суть теории образования озона в загрязненной окислами азота атмосфере городов состоит в следующем [2]. При высокотемпературном сгорании топлива в смеси с воздухом в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, ТЭЦ и др. в результате окисления азота  $\text{N}_2$ , образуются окислы азота:

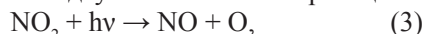
а) бесцветный окисел NO по реакции:



б) красно-коричневая двуокись  $\text{NO}_2$  при дальнейшем окислении NO:

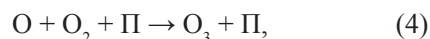


Оба эти окисла выбрасываются в атмосферу. При облучении солнечной радиацией окислы NO и  $\text{NO}_2$  реагируют на нее по-разному. В видимой части спектра солнечная радиация поглощается преимущественно двуокисью азота  $\text{NO}_2$ , а в УФ части – окисью азота NO. Так как ультрафиолета у земной поверхности мало, то солнечное излучение в приземном слое атмосферы в азотном цикле поглощается в видимом свете преимущественно двуокисью азота по реакции:



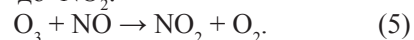
где  $h\nu$  – гамма-квант солнечной радиации в видимой части спектра.

Выделяющийся атомарный кислород O быстро находит партнера – молекулярный кислород  $\text{O}_2$ . Они объединяются и порождают озон. Если в этой реакции участвует третий партнер (это может быть молекула любого газа), который берет на себя роль поглотителя выделяющейся энергии, то реакция происходит с громадной скоростью. Такие третьи партнеры в воздухе есть всегда, и поэтому атомарный кислород существует самостоятельно лишь ничтожно короткое время (порядка  $10^{-6} \text{ с}$ ). Соответствующая реакция имеет вид:



где П – партнер-катализатор.

Образовавшийся озон – очень сильный окислитель, в результате чего возникает реакция окисления NO до  $\text{NO}_2$ :



Возникшая в атмосфере по (5) двуокись азота  $\text{NO}_2$  так же, как и возникшая изначально в двигателях по (2), фотолитически диссоциирует по реакции (3). В результате, между NO и  $\text{NO}_2$  устанавливается некоторое динамическое равновесие, сдвиг которого в ту или иную сторону определяется главным образом интенсивностью радиации в интервале длин волн солнечного излучения  $0,30\text{--}0,43 \text{ мкм}$ , что можно записать как



Сдвиг выхода реакции, направленный в правую сторону, символизирует нарушение равновесия в пользу правой части уравнения под влиянием фото облучения и наоборот. Днем в реакции (6) преобладает направление слева направо, т. е. наблюдается увеличение количества окиси азота NO и озона  $\text{O}_3$ , а ночью, напротив, озона мало, а двуокись азота  $\text{NO}_2$  преобладает над окисью азота NO. Кроме того, двигатели внутреннего сгорания и ТЭЦ выбрасывают в атмосферу окись углерода CO и сернистый газ  $\text{SO}_2$ .

#### **Динамика средних суточных концентраций опасных загрязнителей атмосферы в весенний сезон**

Весьма важно знать динамику изменений концентраций опасных средних суточных загрязнителей в течение каждого из трех месяцев весеннего сезона, которая в климатологии носит название месячного хода величины. В качестве примера такие графики для трех опасных загрязнителей атмосферы пыли – ПМ<sub>2,5</sub>, двуокиси азота и озона для центрального месяца весны – апреля представлены на рисунке 1 (графики для всех фракций пыли повторяют друг друга, поэтому достаточно ограничиться одним из них). Хорошо видно, что кривая ПМ<sub>2,5</sub> в апреле имела гораздо более резкий колебательный характер по сравнению с кривыми  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$ . Однако ее размах в апреле, в пределах от  $0,53 (18.04)$  до  $3,19 (04.04)$ , не идет ни в какое сравнение с размахом в январе, когда он составлял диапазон  $2,7\text{--}21,7 \text{ ПДК}_{\text{сс}}$ . В марте минимальные и максимальные средние суточные значения концентраций ПМ<sub>2,5</sub> были в пределах диапазона  $0,6\text{--}4,6 \text{ ПДК}_{\text{сс}}$ , а в мае

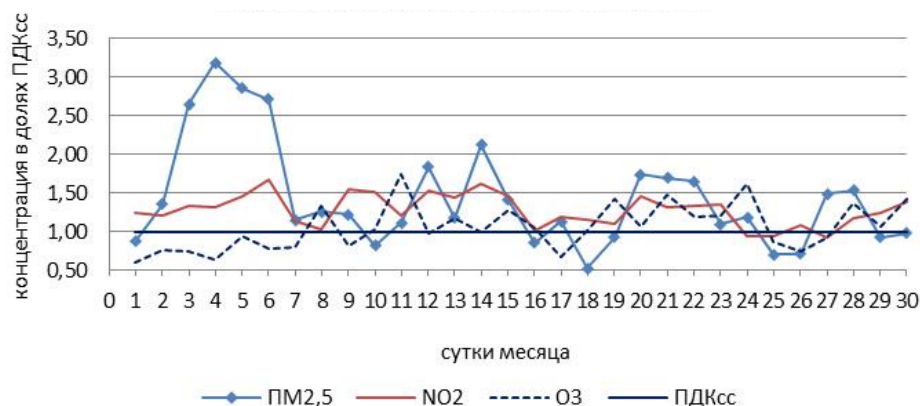


Рисунок 1 – Динамика средних суточных концентраций пыли ПМ<sub>2,5</sub>, диоксида азота NO<sub>2</sub> и озона O<sub>3</sub> (в долих ПДК<sub>сс</sub>) в апреле 2018 г.

они снизились до 0,6–1,7 ПДК<sub>сс</sub>. Все эти данные еще раз наглядно говорят о том, что пыль, как исключительно интенсивный загрязнитель зимы, не имеющий в этом плане конкурентов среди других загрязнителей, в течение весны очень сильно, в 5–10 раз, понизила свою концентрацию. Тем не менее, ее мелкие фракции продолжают в течение всей весны оставаться одним из опасных загрязнителей воздушного бассейна Бишкека.

Что касается диоксида азота, то его суточные изменения в апреле колеблются в более узких пределах 0,9–1,7 ПДК<sub>сс</sub>, при этом почти вся кривая лежит выше уровня в 1 ПДК<sub>сс</sub>, обнаруживая слабую тенденцию снижения концентрации от начала к концу месяца. Напротив, кривая озона имеет противоположную слабую тенденцию роста концентрации от начала к концу месяца, колеблясь в апреле в пределах от 0,60 (01.04) до 1,74 ПДК<sub>сс</sub> (11.04). В марте и мае кривая NO<sub>2</sub> менялась соответственно в диапазоне 0,2–2,2 ПДК<sub>сс</sub> и 0,8–1,6 ПДК<sub>сс</sub>, а кривая O<sub>3</sub> в диапазоне 0,1–2,3 и 0,8–1,9 ПДК<sub>сс</sub>. Важно отметить, что обе кривые во все месяцы весны изменялись в противофазах, когда рост одной из них сопровождается понижением другой. Все это объясняется уже указанным фактом образования озона из диоксида азота под действием прямого солнечного света, когда при росте концентрации O<sub>3</sub>, концентрация NO<sub>2</sub> должна снижаться.

**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 весенний сезон 2018 г., можно используя все измеренные текущие 20-минутные концентрации n<sub>20</sub> 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 позволяет судить о том, насколько вредным для здоровья являлось даже кратковременное, в пределах до 0,5 ч, пребывание его в атмосфере Бишкека в различные дни весны 2018 г. Такие данные о числе случаев превышений и их повторяемости (%) приведены в таблице 2.

Из таблицы 2, прежде всего, следует, что, в отличие от зимы, весной только в марте месяце текущие концентрации всех фракций пыли могли сравнительно часто превышать лишь уровни в 1 ПДК<sub>мр</sub>. Так, для фракции ПМ<sub>2,5</sub> повторяемость превышения 1 ПДК<sub>мр</sub> в марте составляла около 10,5 %, но в апреле она упала до 4 %, а в мае – до 0,2 %. Напомним, что в январе такие превышения составляли 82 %, и даже в феврале – 67 % (при этом особо опасный уровень в 5 ПДК<sub>мр</sub> этой фракцией пыли превышал в декабре и январе в 7,3 и 10,2 % случаев). Превышение уровня в 3 ПДК<sub>мр</sub> для ПМ<sub>2,5</sub> представляло



Таблица 2 – Число случаев и повторяемости (в скобках, %) превышений текущими концентрациями  $n_{20}$  различных уровней максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub> весной 2018 г.

| кПДК <sub>мр</sub> | СО      | NO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> S | Пыль об. | ПМ1      | ПМ2,5     | ПМ10     |
|--------------------|---------|-----------------|-----------------|------------------|----------|----------|-----------|----------|
| Март               |         |                 |                 |                  |          |          |           |          |
| k>1                | 54(4,2) | 107(5,1)        | 5(0,24)         | 3(0,15)          | 10(0,45) | 211(9,5) | 234(10,5) | 62(2,8)  |
| k>3                |         |                 |                 |                  |          | 7(0,31)  | 8(0,36)   |          |
| Апрель             |         |                 |                 |                  |          |          |           |          |
| k>1                |         | 16(0,76)        |                 |                  | 1(0,05)  | 67(3,1)  | 87(4,0)   | 15(0,70) |
| k>3                |         |                 |                 |                  |          |          |           |          |
| k>5                |         |                 |                 | 1(0,05)          |          |          |           |          |
| Май                |         |                 |                 |                  |          |          |           |          |
| k>1                |         | 6(0,28)         |                 | 2(0,20)          |          | 3(0,13)  | 5(0,22)   | 13(0,58) |
| k>3                |         |                 |                 | 2(0,20)          |          |          |           |          |
| Весна              |         |                 |                 |                  |          |          |           |          |
| k>1                | 54(1,4) | 22(0,35)        | 5(0,05)         | 3(0,08)          | 11(0,03) | 281(4,2) | 326(4,9)  | 90(1,4)  |
| k>3                |         |                 |                 | 2(0,07)          |          | 3(0,10)  | 8(0,12)   |          |
| k>5                |         |                 |                 | 1(0,02)          |          |          |           |          |

Таблица 3 – Продолжительность (в сутках) превышений текущими концентрациями  $n_{20}$  различных уровней максимальных разовых кПДК<sub>мр</sub> весной 2018 г.

| кПДК <sub>мр</sub> | СО   | NO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> S | Пыль общая | PM1  | PM2.5 | PM10 |
|--------------------|------|-----------------|-----------------|------------------|------------|------|-------|------|
| Март               |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                | 0,75 | 1,5             | 0,07            | 0,04             | 0,14       | 2,9  | 4,1   | 0,86 |
| k>3                |      |                 |                 |                  |            | 0,1  | 0,11  |      |
| Апрель             |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                |      | 0,22            |                 |                  | 0,01       | 0,93 | 0,12  | 0,21 |
| Май                |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                |      | 0,08            |                 | 0,03             |            | 0,04 | 0,07  | 0,18 |

в марте лишь в отдельные эпизоды, а в апреле и мае не наблюдалось вообще. Это говорит о том, что в отношении предельных разовых концентраций интенсивность загрязнения пылью весной упала еще больше, чем в отношении средних суточных концентраций.

Что касается всех остальных загрязнителей (таблицы 2), то речь идет лишь об отдельных эпизодах превышения ими в течение весенних месяцев уровня в 1ПДК<sub>мр</sub>, чем, видимо, можно пренебречь.

Число случаев превышений уровня в 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. Наглядно видно, что только мелкие фракции пыли, а также NO<sub>2</sub> суммарно в течение марта месяца превышали уровень в 1ПДК<sub>мр</sub> в течение 1–4 суток. Все остальные вещества в течение любого месяца весны, а фракции пыли в течение апреля и мая, этот уровень превышали только в очень коротких эпизодах, чем на практике можно пренебречь.

#### **Динамика изменений в течение суток средних часовых концентраций пыли и окислов азота**

Характер изменений концентраций мелкой фракции пыли ПМ2,5, а также NO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> течение суток (как опасных средних суточных загрязнителей весны) нагляднее всего можно представить по усредненным за сезон кривым суточного хода средних часовых значений  $n_{60}$ , сравнивая их с предельно допустимыми максимальными

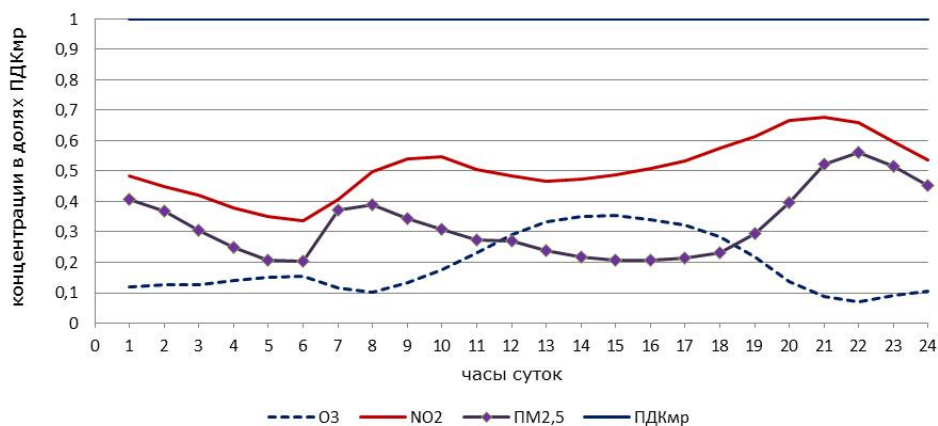


Рисунок 2 – Усредненный за весну 2018 г. суточный ход средних часовых концентраций (в долях ПДК<sub>мр</sub>) пыли PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>

разовыми ПДК<sub>мр</sub>. График такого усредненного для весны суточного хода показан на рисунке 2, на котором концентрации представлены в долях ПДК<sub>мр</sub>.

На рисунке 2 прежде всего видно, что все три кривые в течение суток лежат значительно ниже уровня в 1ПДК<sub>мр</sub>. Экологически это означает, что средние часовые концентрации этих загрязнителей для условных средних суток весны были ниже предельно допустимых разовых значений, т. е. короткие пребывания в городе, длительностью менее 0,5 часа, весной в среднем были не опасны. Заметим, что это, ни коим образом не отменяет возможность повышенных средних суточных концентраций (о чем говорилось в п. 3) и, следовательно, вредность для здоровья более длительного пребывания в городе.

Также на рисунке 2 видно, что, как и зимой, кривая суточного хода PM<sub>2,5</sub> имеет три хорошо выраженных максимума, хотя их абсолютные значения много меньше зимних: 1) около полуночный со значением 0,41ПДК<sub>мр</sub>, 2) утренний в 08 ч со значениями 0,39ПДК<sub>мр</sub> и основной вечерний в 22 ч со значением 0,56ПДК<sub>мр</sub>. Минимумов также три: ранний утренний в 06 ч, равный 0,2 ПДК<sub>мр</sub>, широкий дневной в 13–18 ч со значением до 0,2ПДК<sub>мр</sub> и пред-полуночный в 23 ч. Точно так же, как и зимой, дневные концентрации пыли с 11 до 18 ч заметно ниже вечерних и ночных концентраций с 20 ч вечера до 2–3 но-

чи. Все это позволяет считать, что в течение весны причины, вызывающие эти максимумы и минимумы, характерные для зимы, сохраняются, хотя их интенсивность значительно ослабевает по сравнению с зимним периодом. Сами причины и их следствия подробно рассмотрены в нашей работе [2].

На усредненном за месяц графике суточного хода средних часовых концентраций кривая озона имеет хорошо выраженный дневной максимум в 12–17 ч, когда наиболее интенсивна прямая солнечная радиация, под действием которой он образуется днем путем фотохимических реакций из выбрасываемого ТЭЦ и автомобильными двигателями NO<sub>2</sub>. На кривой хода диоксида азота четко видны два максимума и два минимума: а) максимумы NO<sub>2</sub> соответствуют 9–10 ч утра (время накопления NO<sub>2</sub> в воздухе до начала образования озона) и около 21 ч вечера (время прекращения образования озона); б) минимумы NO<sub>2</sub> наблюдаются в конце ночи и рано утром в 5–6 ч (малые выбросы NO<sub>2</sub> от автотранспорта) и в 12–16 ч дня, когда расход NO<sub>2</sub> на образование озона максимален. Следовательно, обе кривые идут в противофазе, что соответствует приведенной выше фотохимической теории дневного образования озона в атмосфере городов. При этом при возможных значительных переносах его вниз из стратосферы, что происходит при процессах интенсивного вертикального переме-

шивания атмосферы, могут возникать случайные по характеру вспышки повышенного содержания у земной поверхности, значительно превышающие его предельно допустимые концентрации.

**Выводы.** 1. Анализ загрязнения атмосферы Бишкека за март–май 2018 г., говорит о том, что в течение этих месяцев, особенно в апреле–мае, произошла характерная для весны резкая перестройка режима погод с зимнего типа синоптических процессов на весенний. Одновременно в конце марта закончился зимний отопительный сезон. В результате, за счет прогрева земной поверхности Солнцем, и усиления термической конвекции, которая разрушает инверсии температуры и благоприятствует рассеиванию примесей по высоте, а также за счет, казалось бы, не очень большого оживления атмосферы (средняя месячная скорость ветра увеличилась от января–февраля с 1,7–1,8 м/с до 2–2,2 м/с в марте–мае), частым весенним дождям (действие этого фактора эффективно только на период выпадения дождя), имело место сначала очень резкое снижение в марте концентраций всех фракций пыли, а затем в мае их уменьшение ниже уровня предельно допустимых средних суточных концентраций. Это произошло впервые после зимы, когда они достигали 7–12 ПДК<sub>сс</sub>.

2. По средним месячным данным основным загрязнителем атмосферы Бишкека в марте и апреле, хотя и оставались мелкие фракции пыли, но их концентрации скачкообразно снизились в марте до уровня около 2 ПДК<sub>мр</sub> и далее закономерно понижались от марта к маю, где стали менее 1 ПДК<sub>мр</sub>. Так, например, для фракции ПМ<sub>2,5</sub> средние месячные концентрации уменьшались следующим образом: март – 2,1, апрель – 1,43 и май – 0,89 ПДК<sub>мр</sub>. В результате, в мае все фракции пыли имели концентрации ниже 1 ПДК<sub>мр</sub> и, следовательно, стали в месячном осреднении неопасными загрязнителями атмосферы. Но такая опасность сохранялась в отдельные дни. Например, в день мая с наиболее высоким загрязнением пыли (04.05) 4 ее мелкие фракции дали диапазон 1,2–1,8 ПДК<sub>сс</sub>. Но еще в апреле для аналогичных условий средняя суточная концентрация ПМ<sub>2,5</sub> составила 3,2 ПДК<sub>сс</sub>, и было всего три дня в месяце, когда она была меньше 1 ПДК<sub>сс</sub>.

3. Напротив, от марта к апрелю–маю произошло заметное увеличение средней месячной

концентрации двуокси азота NO<sub>2</sub>: март – 0,77, апрель – 1,28, май – 1,17 ПДК<sub>мр</sub>. В результате, в апреле–мае возник этот новый «суточно опасный» загрязнитель атмосферы. Причем более низкое значение NO<sub>2</sub> в мае по сравнению с апрелем объясняется расходом на возрастающее образование озона. В день мая с наиболее высоким загрязнением диоксидом азота (08.05) его средняя суточная концентрация была невысокой и составляла 1,6 ПДК<sub>сс</sub>.

4. Точно так же, от марта к маю происходило закономерное нарастание средней месячной концентрации озона – март 0,77, апрель – 1,06 и май – 1,2 ПДК<sub>мр</sub> за счет его образования из окисла азота NO<sub>2</sub> под действием прямого солнечного света. В результате, в апреле–мае возник еще один, кроме NO<sub>2</sub>, «суточно опасный» загрязнитель атмосферы. В день мая с максимально высоким загрязнением озоном (27.05) его концентрация также была не очень высока и составила 1,9 ПДК<sub>сс</sub>.

5. Текущие значения средних 20-минутных концентраций n<sub>20</sub> в течение весны превышали уровень предельно допустимых максимальных разовых концентраций ПДК<sub>мр</sub> для 8 загрязняющих веществ. Однако их суммарные месячные продолжительности, кроме фракций пыли в марте месяце, носили характер кратковременных эпизодов и ими можно пренебречь, как это видно из таблицы 4 (длительности даны в сутках):

6. В усредненном за весну суточном ходе средних часовых концентраций трех загрязнителей ПМ<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> наблюдается следующая картина:

- максимумы и минимумы пыли ПМ<sub>2,5</sub> имеют низкие, характерные для весны значения, но их число и положение на кривой суточного хода остается таким же как и зимой (следовательно, сохранились основные причины их формирования, т. е. источники и суточные режимы выбросов);
- на графике суточного хода озона он имеет хорошо выраженный дневной максимум в 12–17 ч, когда наиболее интенсивна прямая солнечная радиация, а на кривой хода NO<sub>2</sub> четко видны два максимума: в 9–10 ч утра и около 21 ч вечера, и два минимума: в 5–6 ч и в 12–16 ч (следовательно, кривые O<sub>3</sub> и NO<sub>2</sub> идут в противофазах, что соответствует теории образования O<sub>3</sub>).



| кПДК <sub>мр</sub> | CO   | NO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> S | Пыль общая | PM1  | PM2.5 | PM10 |
|--------------------|------|-----------------|-----------------|------------------|------------|------|-------|------|
| Март               |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                | 0,75 | 1,5             | 0,07            | 0,04             | 0,14       | 2,9  | 4,1   | 0,86 |
| k>3                |      |                 |                 |                  |            | 0,1  | 0,11  |      |
| Апрель             |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                |      | 0,22            |                 |                  | 0,01       | 0,93 | 0,12  | 0,21 |
| Май                |      |                 |                 |                  |            |      |       |      |
| k>1                |      | 0,08            |                 | 0,03             |            | 0,04 | 0,07  | 0,18 |

#### Литература

1. *Подрезов О.А.* 2. Загрязнение атмосферного воздуха Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг. / О.А. Подрезов, А.О. Подрезов, В.Е. Рязанов // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 12. С. 126–133.
2. *Подрезов О.А.* 1. 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. Т. 18. № 12. С. 118–125.
3. Климат Киргизской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965. 279 с.
4. *Павлова И.А.* Опасные метеорологические явления на территории Кыргызстана. Книга 2. Режим циркуляции атмосферы и загрязнение городов Чуйской долины / И.А. Павлова, А.О. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2003. 138 с.
5. *Подрезов О.А.* Современный климат Бишкека, Чуйской долины и северного склона Киргизского хребта / О.А. Подрезов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 202 с.
6. *Качурин Л.Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л.Г. Качурин. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 463 с.