

УДК 551.506: 502.3(575.2-25)

## **1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА БИШКЕКА С ПОМОЩЬЮ СТАНЦИИ КОНТРОЛЯ АТМОСФЕРЫ СКАТ**

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

Проблема загрязнения воздушного бассейна г. Бишкек стоит чрезвычайно остро и настоятельно требует своего решения. Однако до сих пор отсутствовали необходимые данные наблюдений за загрязнением воздуха, основанные на соответствующем высокотехнологическом мониторинге. С декабря 2017 г. к такому мониторингу приступила кафедра метеорологии, экологии и охраны атмосферы КРСУ на базе современной автоматической станции контроля атмосферы – СКАТ. В работе рассматриваются научно-технические вопросы по организации мониторинга загрязнения атмосферного воздуха с помощью СКАТ, статистической обработки получаемых данных и возможностях их экологического анализа.

*Ключевые слова:* Бишкек; загрязнение атмосферы; станция контроля атмосферы; мониторинг; экологический анализ.

---

## **1. АТМОСФЕРАНЫ ТЕКШЕРҮҮ СТАНЦИЯСЫ СКАТТЫН ЖАРДАМЫ МЕНЕН БИШКЕК ШААРЫНЫН АБА БАСЕЙНИНИН БУЛГАНЫШЫНА МОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮНҮН ИЛИМИЙ-ТЕХНИКАЛЫК МҮМКҮНЧҮЛҮКТӨРҮ**

Бишкек шаарынын аба бассейнинин булгануу маселеси бүгүнкү күндө өтө кур маселе болуп калууда жана токтоосуз чечүүнү талап кылат. Бирок бүгүнкү күнгө чейин жогорку технологиядагы мониторингге негизделген абанын булганышына байкоо жүргүзүүнүн зарыл болгон маалыматтары жок. 2017-жылдын декабрь айынан тартып КРСУнун Метеорология, экология жана атмосфераны коргоо кафедрасы атмосфераны текшерүүнүн заманбап автоматтык станциясы – СКАТтын базасында ушундай мониторинг жүргүзүүгө киришти. Бул эмгекте СКАТтын жардамы менен атмосферадагы абанын булганышына мониторинг жүргүзүүнү уюштуруу боюнча илимий-техникалык маселелер, алынган маалыматтарды статистикалык жактан иштеп чыгуу жана аларга экологиялык талдоо жүргүзүү мүмкүнчүлүктөрү каралган.

*Түйүндүү сөздөр:* Бишкек; атмосферанын булганышы; атмосфераны текшерүү станциясы; мониторинг; экологиялык талдоо жүргүзүү.

---

## **1. SCIENTIFIC AND TECHNICAL OPPORTUNITIES OF BISHKEK CITY AIR POOL POLLUTION MONITORING WITH ATMOSPHERE CONTROL STATION ACS**

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

The problem of air pollution in Bishkek's is extremely urgent and needs to be resolved. However, up to now, the necessary data for observations of air pollution based on the relevant technological monitoring was not available. Since December 2017, the Department of Meteorology, Ecology and Atmospheric Protection of the KRSU has started such monitoring based on the modern automatic atmosphere control station (ACS). The work deals with scientific and technical issues related to organization of atmospheric air pollution monitoring with the help of ACS, statistical processing of received data and possibilities for their ecological analysis.

*Keywords:* Bishkek; atmosphere pollution; atmosphere control station (ACS); monitoring; ecological analysis .

**Введение.** Загрязнение атмосферного воздуха населенных мест от различного рода антропогенных источников выбросов в настоящее время является одной из основных экологических проблем. Весьма остро она стоит для Бишкека и окружающей его части Чуйской долины. По данным работы [1], в которой обобщены данные специальных постов наблюдений за загрязнением атмосферы Кыргызгидромета за 1988–1992 гг., уровень загрязнения для года в целом и по его сезонам в долях предельно допустимых средних суточных концентраций (ПДК<sub>сс</sub>) можно охарактеризовать как весьма высокий (таблица 1). Видно, что различные загрязнители даже в среднем по сезону могли превышать ПДК<sub>сс</sub> до 7,1 раза, а для года в целом превышения составляют 1,8–4,7 ПДК<sub>сс</sub>.

Степень загрязнения города в настоящее время существенно возросла, особенно в зимний сезон, в связи с многократным ростом числа автомашин и значительным увеличением отопительных печей частого сектора. В то же время объем наблюдений Кыргызгидромета за загрязнением атмосферы по экономическим причинам сильно сократился и недостаточно соответствует современному техническому уровню. Так что при несомненном наличии проблемы загрязнения воздушного бассейна Бишкека отсутствует надежная количественная оценка ее остроты и сложности.

В рамках развития научных исследований в Кыргызско-Российском Славянском университете было решено провести мониторинг загрязнения

атмосферы Бишкека с помощью установки современной высокотехнологичной станции контроля атмосферы – СКАТ. Все вопросы технического характера по выбору комплекта датчиков, введения в эксплуатацию и анализу результатов СКАТ были поручены кафедре метеорологии, экологии и охраны окружающей среды (МЭО). Станция установлена примерно в 100 м восточнее пересечения пр. Чуй и ул. Алма-Атинской (корпус Естественно-технического факультета КРСУ), т. е. вблизи одного из сильно загруженных перекрестков города, который характеризует типичное загрязнение его центральной зоны.

**Техническая характеристика СКАТ как станции мониторинга фоновое загрязнения атмосферы Бишкека.** Станция работает в автоматическом режиме, выдавая в качестве результатов измерений массивы средних 20-минутных концентраций ( $n_{20}$ , мг/м<sup>3</sup>) для 15 загрязнителей атмосферы, показанных в таблице 2. Таким образом, по каждому загрязнителю ежесуточно выдается 72 измерения, а за месяц в 30 дней таких измерений поступает 2160. Дополнительно станцией измеряется концентрация углекислого газа, который является не загрязнителем атмосферы, а основным парниковым газом, о концентрации которого какие-либо данные по Кыргызстану отсутствуют.

Кроме массивов ( $n_{20}$ , мг/м<sup>3</sup>), программный комплекс станции автоматически формирует сводные месячные таблицы загрязнения атмосферы (ТЗА-4), где приводятся различные статистические

Таблица 1 – Средние значения уровней загрязнения вредными примесями для Бишкека

Примеси	Утро					Вечер				
	З	В	Л	О	Год	З	В	Л	О	Год
Пыль	4,81	4,09	3,33	3,21	3,86	7,08	4,08	2,49	5,10	4,69
СО	1,69	1,41	1,36	1,51	1,49	2,19	1,13	1,30	2,37	1,75
NO <sub>2</sub>	1,94	1,61	1,64	1,45	1,66	2,40	1,94	1,80	1,98	2,03
Форм-д	3,70	4,22	4,76	4,73	4,35	3,20	3,58	3,61	4,05	3,61

Таблица 2 – Измеряемые СКАТ концентрации 15 загрязнителей атмосферы и углекислого газа (основной парниковый газ)

Вещество	Формула	Вещество	Формула
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	Все углеводороды (включая CH <sub>4</sub> )	СН
Окись (оксид) азота	NO	Метан	CH <sub>4</sub>
Двуокись (диоксид) азота	NO <sub>2</sub>	Все углеводороды (исключая CH <sub>4</sub> )	НСН
Аммиак	NH <sub>3</sub>	Пыль общая /дымы, менее 15 мкм	Пыль об.
Двуокись (диоксид) серы	SO <sub>2</sub>	Пыль/дымы размером менее 1 мкм	ПМ1
Сероводород	H <sub>2</sub> S	Пыль/дымы размером менее 2,5 мкм	ПМ2,5
Озон	O <sub>3</sub>	Пыль/дымы размером менее 4 мкм	ПМ4
Угарный газ	CO	Пыль/дымы размером менее 10 мкм	ПМ10

характеристики загрязнителей, в том числе с часовым интервалом по каждому дню, а также позволяет в режиме реального времени за любой период месяца отслеживать на специальных графиках динамику хода концентрации каждого загрязнителя. Все это открывает очень большие и совершенно новые возможности для качественного проведения мониторинга загрязнения атмосферы Бишкека, которые будут рассмотрены ниже.

**Мониторинг загрязнения атмосферы Бишкека по данным СКАТ.** В этой части статьи рассматриваются три группы вопросов мониторинга загрязнения атмосферы Бишкека: 1) предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ и их практическое использование в задачах мониторинга, 2) необходимые для мониторинга дополнительные статистические расчеты, 3) содержание и полнота аналитического отчета по результатам мониторинга. Рассмотрим их в названном порядке.

**Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ.** Каждая страна в законодательном порядке устанавливает для себя предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, исходя из общих рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и специфики своих возможностей. Рекомендации ВОЗ [2] для фоновых мониторинга загрязнения воздуха населенных пунктов касаются, прежде всего, таких загрязнителей как твердые частицы или пыль размером менее 10 мкм, озон –  $O_3$ , двуокись азота –  $NO_2$  и двуокись серы –  $SO_2$ .

Пыль – это обобщенный термин, включающий различные по размерам фракции пыли, не дифференцированные по химическому составу – это пыль общая и 4 ее мелких фракции: ПМ1, ПМ<sub>2,5</sub>, ПМ4 и ПМ10, имеющие размеры соответственно менее 1; 2,5; 4 и 10 мкм. По существу, для Кыргызстана пыль – это в холодный период года преимущественно вредные дымы от ТЭЦ и отопительных печей частного сектора, а в теплый период – вредные дымы и пыль, поднимаемая с почвы ветром и автотранспортом с дорожной сети городов. Согласно ВОЗ, основным компонентом пыли населенных пунктов являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлористый натрий, углерод, минеральная пыль и вода. Пыль, таким образом, 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 значений,

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) ПМ10 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 ПМ10.

Озон  $O_3$  образуется в городском воздухе из окисла азота  $NO_2$  (газ-предшественник) под воздействием солнечного света и является одним из основных компонентов фотохимического смога городов. Он может спровоцировать астму, снизить легочную функцию и вызвать болезни легких. ВОЗ рекомендует для него предельный средний уровень концентрации за 8 часов (рабочий день), равный 0,100 мг/м<sup>3</sup>.

Для двуокиси азота  $NO_2$  ВОЗ рекомендует два предельных средних уровня: среднегодовой уровень 0,04 мг/м<sup>3</sup> и среднечасовой уровень 0,20 мг/м<sup>3</sup>. Основными источниками антропогенного образования  $NO_2$  являются процессы сгорания (обогрев, выработка электроэнергии, работа двигателей автомашин и судов). Как загрязнитель воздуха  $NO_2$  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;
- $NO_2$  является основным источником нитратных аэрозолей, образующих одну из опасных фракций ПМ<sub>2,5</sub>, а в присутствии солнечного света является еще и основным источником образования озона.

Согласно последним данным ВОЗ [2], воздействию  $SO_2$  при уровне его концентрации в воздухе, равном 0,50 мг/м<sup>3</sup>, нельзя подвергаться более 10 минут. У определенного числа людей, больных астмой, в течение такого кратковременного периода, в результате воздействия  $SO_2$  происходят изменения легочной функции, в результате чего развиваются респираторные симптомы. Поэтому для двуокиси серы ВОЗ рекомендует два предельных уровня: среднесуточный уровень 0,02 мг/м<sup>3</sup> и средний уровень за 10 минут 0,50 мг/м<sup>3</sup>.

При характеристике уровня загрязнения атмосферы используются два вида предельно допустимых концентраций: 1) предельно допустимые средние суточные концентрации ПДК<sub>сс</sub>, устанавливаемые как предельные нормы для средних суточных концентраций загрязняющих веществ;

Таблица 3 – Принятые в Кыргызстане и России предельно допустимые концентрации

Вещество	ПДК, (мг/м <sup>3</sup> )		Вещество	ПДК, (мг/м <sup>3</sup> )	
	Средние суточные ПДК <sub>сс</sub>	Максимальные разовые ПДК <sub>мр</sub>		Средние суточные ПДК <sub>сс</sub>	Максимальные разовые ПДК <sub>мр</sub>
СО	3,0	5,0	НСН	0 (0)	(50)
NO	0,06	0,4	Пыль об.	0,15 (0,06)	0,5 (0,3)
NO <sub>2</sub>	0,04	0,085 (0,2)	ПМ1	0 (0,035)	0 (0,16)
NH <sub>3</sub>	0,04	0,2	ПМ2,5	0,035	0,16
SO <sub>2</sub>	0,05	0,5	ПМ4	0 (0)	0 (0)
H <sub>2</sub> S	0 (0)	0,008	ПМ10	0,06	0,3
O <sub>3</sub>	0,03	0,16	НСН	0 (0)	(50)
СН	0 (0)	0 (50)			

Примечания. 1) числа без скобок – значение ПДК, принятые в КР (а также совпадающие с ними ПДК России), которые используются в настоящей работе; 2) числа в скобках – ПДК России, в случае их отличия от ПДК КР; 3) 0 (0) означают соответственно, что в КР и России для этих веществ ПДК пока не установлены.

2) предельно допустимые максимальные разовые концентрации ПДК<sub>мр</sub>, устанавливаемые как аналогичные нормы для значений концентраций, полученных с осреднением в 20 минут. В общедоступной формулировке ПДК это такие концентрации загрязняющих веществ в атмосфере населенных мест, которые не приносят вреда здоровью человека, а также его будущему потомству. Концентрации выше уровня в 1 ПДК уже оказывают вредное воздействие и тем сильнее, чем они выше. Однако совершенно четких количественных показателей здесь нет. Ориентировочно считается, что уровень загрязнения в 3 ПДК является опасным, а в 5 ПДК – особо опасным. В соответствии с этим, при экологическом анализе средние месячные и средние суточные измеренные значения концентраций загрязнителей сравниваются с ПДК<sub>сс</sub>, а средние 20-минутные значения (непосредственные данные измерений СКАТ) и получаемые из них среднее часовые – с ПДК<sub>мр</sub>. Таким образом, необходимость практического использования двух ПДК вполне очевидна.

Численные значения ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub>, принятые в Кыргызстане с 2016 г. для веществ, измеряемых СКАТ, приведены в таблице 3 [3]. Там же в скобках даются ПДК, принятые в России, когда они отличаются по значению от принятых в КР. Как видно, суточные значения ПДК<sub>сс</sub> в 3–5 и более раз меньше значений максимальных разовых ПДК<sub>мр</sub>.

**Дополнительные статистические расчеты, необходимые для мониторинга.** Объем статистических расчетов, который необходимо выполнить для полноценного экологического анализа загрязнения воздуха, определяется характером данных измерений и собственно задачами такого анализа. Как уже отмечалось, первичные результаты измерений СКАТ представлены в двух

форматах: 1) исходный массив 20-минутных непрерывных значений концентраций  $n_{20}$  всех загрязняющих веществ; 2) итоговые месячные таблицы загрязнения атмосферы ТЗА-4, содержащие следующие данные: средние часовые концентрации  $n_{60}$  за каждый час суток, средние суточные значения концентраций и их средние квадратические отклонения (СКО) и максимальные суточные значения. Для мониторинга загрязнения атмосферы Бишкека, в предлагаем нами объеме, необходимо выполнить дополнительные статистические расчеты, объем которых в качестве примера показан в таблице 4 для января 2018 г. Для удобства последующего анализа в этой таблице приведены также значения ПДК<sub>сс</sub> и ПДК<sub>мр</sub> по всем загрязнителям. Такие расчеты, прежде всего, включают в себя определение всех статистик распределений исходных 20-минутных концентраций  $n_{20}$ , основанных на первых 4 статистических моментах (приведены в верхней части таблицы): среднее значение, СКО (или дисперсия), коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса, мода, медиана, а также максимальные и минимальные значения  $n_{20}$ . В нижней части таблицы приведены сгруппированные исходные распределения  $n_{20}$ , т. е. даны значения частот (числа случаев) и их повторяемостей или вероятностей (в %), попавших в задаваемые классы концентраций, выраженных в долях ПДК<sub>мр</sub>. Все эти расчеты могут быть выполнены по соответствующим статистическим программам Excel.

Таким образом, для полноценного мониторинга загрязнения атмосферы Бишкека предлагается в дополнение к типовым таблицам ТЗА-4, в которых содержатся расчеты средних часовых, средних суточных и средних месячных концентраций, выполнить расчет всех основных статистик исходных распределений  $n_{20}$  по форме таблицы 4, а также

Таблица 4 – Рекомендуемые статистические расчеты по исходным массивам  $n_{20}$  (январь 2018 г.): 1) статистика концентраций ( $мг/м^3$ ) загрязняющих веществ (верхняя часть таблицы), 2) группировка распределений  $n_{20}$ , выраженных в долях ПДК<sub>мр</sub> (нижняя часть таблицы)

Статистика	CO	CO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NH3	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>3</sub>	CH	CH <sub>4</sub>	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>кв</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
Кэф. 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
Кэф. 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
Кэф. 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 стабilen; в наблюдаемых концентрациях не относится к вредным при-  
 месям и поэтому не имеет ПДК. 2. В нижней половине таблицы в классах 0-1ПДК<sub>мр</sub>, 1-2ПДК<sub>мр</sub> и т. д. приведены частоты (число случаев) попадания концен-  
 траций  $n_{20}$  в каждый класс, а в скобках они выражены в процентах относительно общего числа измерений, показанного в последней строке таблицы.

представить полученные месячные массивы измерений в виде сгруппированных статистических распределений. В результате этого становится удобно выполнять анализ за любой период – пентаду, декаду, месяц, сезон и т. д. – в объеме, который предлагается ниже.

**Содержание и полнота аналитического по результатам мониторинга.** Полный аналитический отчет за месяц или сезон, выполняемый в рамках мониторинга, должен включать следующее позиции и разделы: титульный лист, оглавление, список используемых сокращений:

1. Измеряемые СКАТ загрязнители атмосферы и их предельные допустимые концентрации.

2. Средняя месячная концентрация загрязняющих веществ и превышения ими уровня в 1 ПДК<sub>сс</sub> (средняя характеристика «суточно опасных» загрязнителей).

3. Динамика изменения в течение месяца средних суточных концентраций опасных загрязняющих веществ (месячная динамика «суточно опасных» загрязнителей).

4. Повторяемость и суммарная за месяц продолжительность максимальных 20-минутных концентраций опасных загрязняющих веществ (интегральная за месяц характеристика «разово опасных» загрязнителей).

5. Динамика изменений в течение суток средних часовых концентраций опасных загрязняющих веществ (суточный ход «разово опасных» загрязнителей).

6. Статистические свойства эмпирических распределений загрязняющих веществ.

7. Резюме.

Кратко прокомментируем содержание каждого из разделов, приняв для определенности, что анализ выполняется для месяца.

*Раздел 1* носит характер вводного, в нем приводится перечень загрязнителей атмосферы, по которым проведены измерения, число измерений за месяц (объемы выборок) и значения предельно допустимых концентраций. Приводится таблица 4, как статистическая основа значительной части последующего экологического анализа. Некоторые части раздела 1 будут повторяться из месяца в месяц, однако это необходимо, так как каждый отчет должен представлять собой полностью законченную работу.

*В разделе 2* по имеющимся в таблице 4 средним месячным данным анализируются концентрации тех веществ (в долях ПДК<sub>сс</sub>), средние месячные значения которых превысили уровень в 1 ПДК<sub>сс</sub>. Они представляют собой «суточно опасные» загрязнители, так как их средние месячные концентрации превысили уровень 1 ПДК<sub>сс</sub>.

Приводятся соответствующие таблицы, графики или гистограммы, характеризующие значения «суточно опасных» загрязнителей, которые служат фактической основой и иллюстративным материалом выполняемого анализа и получаемых из него выводов.

*Раздел 3* выполняется по данным ТЗА-4 и существенно расширяет результаты предыдущего раздела. Он показывает весьма важную для практики внутримесячную динамику изменений средних суточных значений концентраций для «суточно опасных» загрязнителей атмосферы. Здесь, прежде всего, надо обязательно привести графики месячного хода «суточно опасных» загрязнителей, которые наглядно представляют картину их изменений по дням месяца. Такие графики позволят сделать вывод о наличии (или отсутствии) в течение месяца таких периодов, когда средние суточные концентрации опускались ниже ПДК<sub>сс</sub>, которая на графике дается в виде прямой  $y = 1$ . В такие периоды экологически было безопасным для здоровья суточное нахождение в атмосфере города. Возможно, что таких периодов не будет, тогда любые сутки месяца были опасны для пребывания в городе в суточном интервале времени. Разумеется, все эти выводы делаются по каждому «суточно опасному» загрязнителю отдельно.

*В разделе 4* анализ выполняется по таблице 4 по данным о сгруппированных распределениях  $n_{20}$  загрязняющих веществ. Вначале надо выделить те загрязнители, которые превышали уровень предельно допустимых разовых концентраций – 1 ПДК<sub>мр</sub> и, следовательно, были «разово опасными», когда было вредным для здоровья даже кратковременное пребывание в атмосфере города в течение более 20 минут. Для таких «разово опасных» загрязнителей по данным таблицы 4 надо дополнительно рассчитать (см. пример ниже) значения обеспеченностей превышений текущими концентрациями  $n_{20}$  уровней в 1 ПДК<sub>мр</sub>, 3 ПДК<sub>мр</sub>, 5 ПЖК<sub>мр</sub>, 10 ПДК<sub>мр</sub> или любых других, которые задаются Вами, кроме уровня 1 ПДК<sub>мр</sub>, который используется обязательно. Полученные накопленные частоты и повторяемости (в %) превышений представляют собой суммарное за месяц число измерений (или вероятности, %), когда концентрации  $n_{20}$  превышали заданные уровни в кПДК<sub>мр</sub>. Для их численного анализа и иллюстрации текста будет полезным составление сводной таблицы превышений или построения гистограммы для таких «разово опасных» веществ, повторяемости которых превысили различные уровни в кПДК<sub>мр</sub>.

Используя полученные накопленные частоты превышений, легко рассчитать суммарную или интегральную за месяц длительность превышений

значениями  $n_{20}$  различных уровней в  $kПДК_{мр}$ . Так как одно значение  $n_{20}$  соответствует 20 минутам, то суммарная за месяц длительность превышений  $\Delta t$  (в сутках) будет равна

$$\Delta t = m_k * 20 / (24 * 60),$$

где  $m_k$  – накопленное значение частоты для уровня превышения  $k$ ; 24 – число часов в сутках; 60 – число минут в одном часе.

Например, для пыли ПМ 2,5 для уровня  $> 3 ПДК_{мр}$  по таблице 4, суммируя частоты снизу вверх, находим, что значение  $m_{k=3} = (1+0+19+57+151+453) = 681$ . Тогда,  $\Delta t$  (сутки) =  $681 * 20 / 1440 = 9,46$ , т. е. суммарно за январь текущие измеряемые СКАТ значения  $n_{20}$  уровень в 3  $ПДК_{мр}$  превышали в течение 9,5 суток (надо только помнить, что это не 9,5 суток подряд, а период за месяц в целом, полученный в разные дни и часы).

Для анализа и иллюстрации этих результатов также желательно по найденным значениям  $\Delta t$  получить сводные таблицы и построить наглядные гистограммы. Экологические выводы по этим расчетам очень наглядны и однозначны – они позволяют судить о том, какой суммарно период времени в течение месяца (легко переводится также в % от длительности месяца) был опасным для здоровья даже при кратковременном пребывании в городе, если оно длилось более 20 минут.

Раздел 5 посвящен решению очень важного вопроса: как происходило изменение средних часовых концентраций  $n_{60}$  в течение условных средних суток месяца для тех загрязняющих веществ, которые ранее были определены как «суточно опасные»? В какой степени эти «суточно опасные» загрязнители были одновременно и «разово опасными» в течение различных часов условных средних суток? При этом часовые значения  $n_{60}$  можно считать близкими по значению к концентрациям  $n_{20}$ , так как они получены путем осреднения трех смежных значений  $n_{20}$ . Кривые такого хода широко используются в климатологии, они очень информативны и носят название «суточного хода метеорологической величины».

Прежде всего следует построить графики суточного хода «суточно опасных» загрязнителей для их осредненных за месяц часовых значений  $n_{60}$ . На таких месячно осредненных графиках в значительной мере взаимно погашаются случайные колебания, и на кривых остаются максимумы и минимумы, обусловленные в значительной мере только действующими в сутках закономерными причинами. Для этого используются средние за месяц значения  $n_{60}$ , приводимые в последней строке каждой ТЗА-4. Надо только для построения

графика выразить их в долях  $ПДК_{мр}$ . Анализ таких графиков позволяет выявить не только особенности внутри суточного режима «суточно опасных» загрязнителей, но и связать его как с суточным ходом погодных условий, так и с суточными режимами источников выбросов загрязняющих веществ. Это позволит установить и в значительной мере объяснить суточный режим загрязнения атмосферы в каждом месяце и сезоне года: определить положение и значения максимумов и минимумов на кривых хода и высказать обоснованные предположения о причинах их появления. Аналогичным образом можно также построить и проанализировать кривые суточного хода  $n_{60}$  для отдельных суток, например, дней с максимальной и минимальной за месяц средней суточной концентрацией. Это даст ценный дополнительный материал по анализу суточного хода «суточно опасных» загрязнителей.

В разделе 6 на основании приведенных в таблице 4 статистик, характеризующих размах распределений  $n_{20}$  относительно своих средних месячных значений (коэффициент вариации и СКО), а также статистик, определяющих форму эмпирических кривых распределений (коэффициенты асимметрии и эксцесса, дополнительно – мода и медиана), можно получить достаточно четкое представление о форме этих эмпирических кривых и степени их близости к нормальному закону. Кроме того, в таблице 4 имеются все данные, необходимые для аппроксимации самих эмпирических распределений (напомним, что они в сгруппированном виде представлены в нижней части таблицы) различными теоретическими законами. Такая аппроксимация позволит дополнительно рассчитать квантильные значения «разово опасных» загрязнителей, например, их максимальные значения  $n_{20}$  с вероятностями 0,80, 90, 0,95, 0, 97 и 0,99 или любыми другими, которые будут заданы. Однако такие расчеты, по нашему мнению, следует выполнять только при их необходимости, так как для этого требуется соответствующая статистическая подготовка и поэтому их следует рассматривать как максимально возможный, в рамках рассматриваемой задачи, завершающий этап статистико-экологического анализа.

*Резюме* – этот раздел не требует особых пояснений. В нем, по результатам, полученным в каждом их предыдущих разделов, делаются, по возможности, предельно четкие выводы качественно и количественного характера об экологическом состоянии атмосферы Бишкека в исследуемый период года.

Конкретный пример такого экологического анализа дан в нашей статье [1], приведенной

в настоящем сборнике, которая посвящена анализу загрязнения Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг.

*Литература*

1. Подрезов О.А. Загрязнение атмосферного воздуха Бишкека в зимний сезон 2017–2018 гг. / О.А. Подрезов // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 12.
2. Качество атмосферного воздуха и здоровье. ВОЗ. Информационный бюллетень. Сентябрь 2016 г. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/ru/>
3. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». Постановление Правительства КР от 11 апреля 2016 года № 201.
4. 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.