

УДК 519.6:504.6(072)

С.Х.Мирзоев, Т.Н.Насридинова

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА ДУШАНБЕ

*Филиал Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова в г. Душанбе**(Представлено академиком АН Республики Таджикистан З.Д.Усмановым 14.04.2020 г.)*

В статье предложена концептуальная модель экологической системы, состоящей из четырех основных блоков: наблюдения, оценки фактического состояния, прогноза и оценки прогнозируемого состояния. Обработка имеющихся данных с помощью метода наименьших квадратов позволила получить линейную зависимость изменения комплексного индекса загрязнения атмосферы от времени. Это изменение также представлено в виде графика.

Ключевые слова: атмосфера, пылевая буря, мониторинг.

Экологический мониторинг – это совокупность наблюдений за геофизическими и биотическими компонентами биосферы с целью выявления, оценки и прогнозирования ответных реакций природных экосистем на антропогенные воздействия [1].

Во многих странах мира уже функционируют мониторинговые системы, выполняя свои разнообразные предназначения. В СССР ещё в 70-х годах двумя известными учёными Ю.А.Израэлем [1] и И.П.Герасимовым [2] были разработаны альтернативные концепции экологического мониторинга (рис.1.), те или иные подсистемы которых ныне претворяются в практику Российской Федерации [1, 2]. В Таджикистане в Физико-техническом институте им. С.Умарова АН РТ с 1980-х годов проводились исследования пылевых бурь, не получившие, однако такого уровня развития, за которым возникла бы объективная потребность перехода к разработке столь актуального для нашей республики экологического мониторинга горных регионов.



Рис.1. Концептуальная модель системы экологического мониторинга.

Адрес для корреспонденции: Мирзоев Сайъло Хабибулоевич. 734002, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бохтар 35/1, филиал МГУ в г. Душанбе. E-mail: saidalo.mirzoev.1967@mail.ru.

Для Душанбе мониторинг атмосферного воздуха является определяющим. Одним из факторов загрязнения городского воздуха являются пылевые бури. За последние 30 лет их количество в Таджикистане, в том числе и в столице, увеличилось как минимум в 10 раз. В начале 90-х годов они происходили всего два-три раза в год, а в последнее время регистрируется до 35 бурь ежегодно. Это природное явление получило название «афганец», поскольку население республики считает, что его источник располагается на территории Афганистана. Однако, как показано в исследованиях, таких источников оказалось четыре [3].

Афганистан – всего лишь один из регионов, откуда в Таджикистан приходят пылевые бури. Сильные ветра, поднимая пыль и песок с пустынь афганского Кандагара и иранского Кермана, переносят их почти на 1000 км на север. От «афганца» чаще всего страдают жители южных регионов Таджикистана и его столица Душанбе.

Второе направление прихода пылевых бурь – с Арала, чаще всего накрывающих западную часть Узбекистана. Но в последние годы они стали доходить до верховьев реки Зеравшан, преодолевать одноименный хребет и накрывать всю территорию Таджикистана, в том числе и г. Душанбе.

Третьим источником появления пылевых бурь в Таджикистане являются Сирийская пустыня на границе Ирака, Иордании и Сирии и пустыни Аравийского полуострова. Установлено, что пылевые бури, поднимаясь до пяти километров над землей, с сильными потоками ветра достигают территории Таджикистана.

Четвертым источником являются пылевые бури с побережья Ливии и Египта, которые добираются и до Центральной Азии.

Многолетние наблюдения показывают, что наибольший вред пылевые бури наносят нашей столице. Причиной является месторасположение города. С севера и северо-востока он окружен горами, которые удерживают пыль над городом, из-за этого она долго оседает. Ситуация усугубляется тем, что за последние 30 лет пылевые бури перестали сопровождаться дождями.

Источники загрязнения атмосферы Таджикистана

Рост концентрации мелкодисперсных загрязняющих аэрозольных частиц наблюдается в атмосфере практически везде, где находятся объекты по переработке сырья. Из статистических отчетов известно, что в промышленных регионах в окружающую среду в большом количестве выбрасываются окислы азота, сернистый и угарный газы, серная кислота, фенолы и другие аэрозольные вещества в зависимости от специфики производств и используемых в них видов топлива (табл.1). Вредные частицы, взаимодействуют между собой, увеличивая концентрацию, распространяются на высоту до 180-200 м и более [4].

Таблица 1

Основные факторы загрязнения атмосферы г. Душанбе

Естественные	Искусственные
Пыльные бури	Промышленные предприятия
Пыльца растений (чинары)	Теплоэнергетика
Выветривание	Транспорт
Разложение живых организмов	Сельское хозяйство
	Отопление жилищ

На рис. 2 представлена структура вычислительной модели, предназначенной для описания процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере города Душанбе.

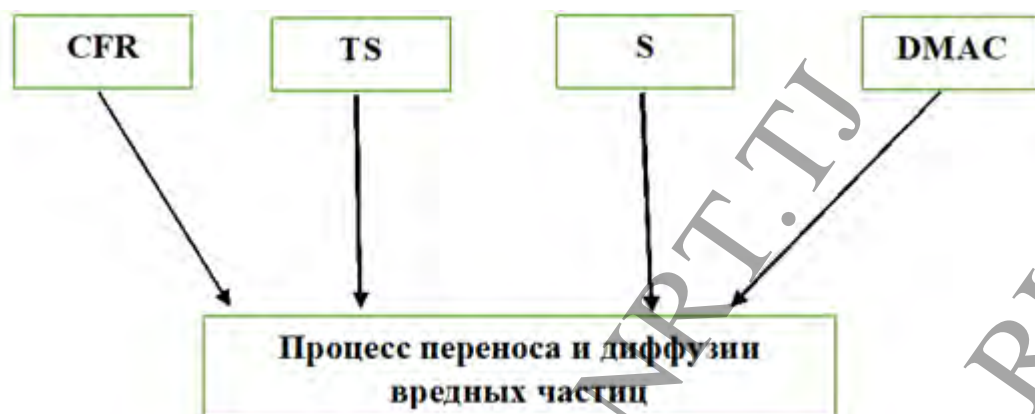


Рис. 2. Агрегированная структура вычислительной модели.

На рис.2 используются обозначения следующих модулей: CFR (климатические факторы региона) – модуль погодных-климатических факторов региона; TS (terrain surface) – модуль характеристики орографической поверхности местности; S (сезоны) – модуль характеристики времени года; DMAC (суточное изменение влажности в атмосфере и коэффициент поглощения вредных частиц в атмосфере) – модуль характеристик суточного изменения влаги и коэффициента размера вредных частиц в атмосфере.

На основе пакета прикладных программ и вычислительных экспериментов установлено, что газообразные выбросы промышленных предприятий образуют в атмосфере г. Душанбе аэродисперсные системы. Их объем в воздухе долгое время не уменьшается. Процесс рассеивания аэрозольных и мелкодисперсных вредных частиц зависит от вышеуказанных параметров (рис.2). Источники, ответственные за загрязнение атмосферы (промышленные предприятия, теплоэнергетика, отопление жилищ и др.), в зависимости от высоты вытяжных труб делятся на классы: высокие источники с $H > 60$ м; средние источники с $H = 15-55$ м; низкие источники с $H = 3-10$ м и наземные с $H < 3$ м.

Загрязнение воздушного бассейна г. Душанбе автотранспортными средствами происходит на небольшой высоте – 20-25 м. Выбрасываемые ими вредные вещества и выхлопные газы (оксиды и диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, сажа, фенол, фтористый водород, неорганическая пыль и формальдегид) рассеиваются в атмосфере и имеют локальный характер. Выбрасываемый в результате сгорания топлива и разнообразных производственных процессов, бесцветный сернистый ангидрид SO_2 особенно вреден для деревьев, раздражающе действует на верхние дыхательные пути человека.

Оксид углерода (или угарный газ) очень ядовит, без цвета и запаха. Примерно 50% угарного газа появляется в результате работы двигателей внутреннего сгорания автомобилей. Под воздействием большого количества этого газа у человека может случиться обморок, кома и даже смерть. Оксид (NO) и диоксид NO_2 азота образуются при сгорании топлива при очень высоких температурах и избытке кислорода. По данным Всемирной организации здравоохранения, 70% населения в городах развивающихся стран дышит сильно загрязненным воздухом, содержащим множество аэрозолей.

Они попадают в легкие, способствуя развитию хронических заболеваний дыхательной системы и рака.

Известно, что предельно допустимые концентрации некоторых загрязняющих веществ в воздухе населённых пунктов (мг/м³) должны соответствовать нижеприведенным данным (табл.2.) [3].

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ на территории Республики Таджикистан

№	Вещество	Класс опасности	ПДК _{ср.м.р.*} (мг/м ³)	ПДК _{ср.с.**} (мг/м ³)
1	Оксид углерода	4	5	3
2	Диоксид азота	3	0.2	0.04
3	Оксид азота	3	0.4	0.06
4	Сумма углеводородных соединений	-	-	-
5	Метан	-	50	-
6	Диоксид серы	3	0.5	0.05
7	Аммиак	4	0.2	0.04
8	Сероводород	2	0.008	-
9	Озон	1	0.16	0.03
10	Формальдегид	2	0.05	0.01
11	Фенол	2	0.01	0.006
12	Бензол	2	0.3	0.1
13.	Толуол	3	0.6	-
14.	Параксилол	3	0.3	-
15.	Стирол	2	0.04	0.002
16.	Этилбензол	3	0.02	-
17.	Нафталин	4	0.007	-
18.	Взвешенные частицы PM ₁₀	-	0.3	0.06
19.	Взвешенные частицы PM _{2.5}	-	0.16	0.035

Примечание: *ср. м. р. - среднемесячные разовые; **ср. с.- среднесуточные

Качество атмосферного воздуха над г. Душанбе

Как свидетельствуют данные табл. 3, уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Душанбе за последние десять лет изменился с «низкого» до более «высокого» [4-9].

Таблица 3

Уровень загрязнения атмосферного воздуха за период 2009-2018 гг.

Годы	Душанбе		Уровень загрязнения
	КИЗА	СИ	
2008	4.66	8.2 (Оксид углерода)	низкий
2009	5.00	5.4 (Оксид углерода)	повышенный
2010	5.30	4.2 (Оксид углерода)	повышенный
2011	8.92	19.4 (Фенол)	высокий
2012	12.75	13.0 (Оксид углерода)	очень высокий
2013	9.43	8.4 (Оксид углерода)	высокий
2014	11.84	9.2 (Диоксид азота)	высокий
2015	13.66	87.1(ЭВЗ) (Формальдегид)	очень высокий
2016	10.75	8.5 (Формальдегид)	высокий
2017	10.92	5.0 (Оксид углерода)	высокий
2018	16	14.0 (Оксид углерода)	очень высокий

В период 2008-2010 гг. комплексный индекс загрязнения атмосферы (КИЗА) оценивался как «низкий», однако уже с 2012 г. начался рост и в последующие семь лет он характеризовался в основном как «высокий».

График изменения комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) показан на рис. 3.

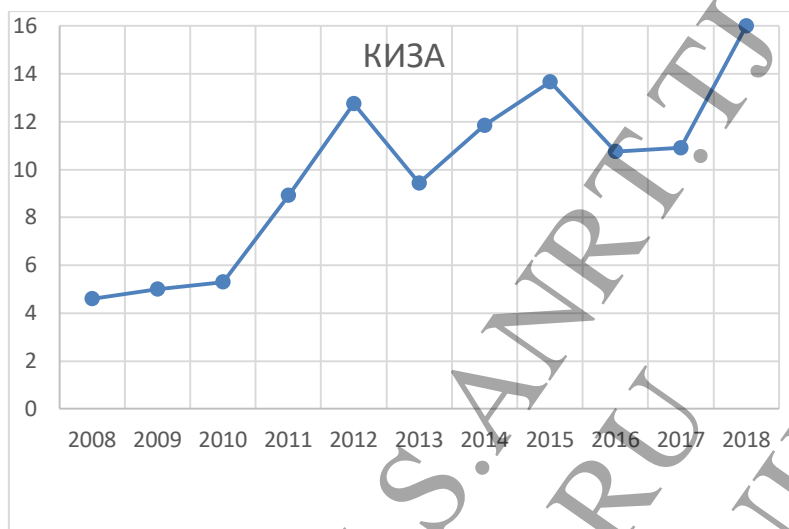


Рис.3. Динамика уровня загрязнения атмосферы в период 2008-2018 гг.

Обработка табличных данных (табл.3) с помощью метода наименьших квадратов позволила нам предложить линейную зависимость изменения комплексного индекса у загрязнения атмосферы (КИЗА) от времени t следующего вида:

$$y = 0.9717 t - 1947.05,$$

где t – время (в годах).

Использование этой зависимости для прогнозирования уровня загрязнения, например на $t=2030$ год предел $y = 0.9717 \cdot 2030 - 1947.05 = 25.501$. Это значит, что в 2030 году КИЗА приблизительно равняется 25.501.

Следует отметить, что уровень загрязнения воздуха может быть зависим от климата и скорости ветра. Ввиду этого является целесообразным приведение краткой информации о климате и скорости ветра в г. Душанбе.

Климат г. Душанбе является субтропическим внутриконтинентальным, несколько смягчается горным расположением города. Лето в Душанбе длительное и жаркое, осадки очень редки. Зима сравнительно короткая вследствие стока влажного воздуха в зимний период, зима сопровождается обильными осадками, чем отдалённо напоминает средиземноморский климат. Весна дождливая и относительно затяжная, с частыми грозами. Начало осени относительно сухое, однако затем осень становится дождливой и сырой.

В г. Душанбе в целом средняя годовая скорость ветра изменяется мало (табл. 4) [10].

Таблица 4

Изменение скорости ветра (м/с) в течение года в г. Душанбе
(высота флюгера 11-13 м).

Месяцы												Среднее за год
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
2.6	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	1.9	1.8	1.6	1.6	1.5	2.9	1.95

Как видно из этой таблицы, в июле и августе скорость ветра не превышает 1.9 м/с, а в декабре и январе составляет 2.9 м/с и 2.6м/с соответственно.

Поступило 15.04.2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А. Концепция мониторинга состояния биосферы – Мониторинг состояния окружающей среды. – Л., 1977, 1025 с.
2. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды – Известия АН СССР. Сер. Геогр., 1975, №5, с. 5-11.
3. Назаров Б.И., Ивлев Л.С., Абдуллаев С.Ф. Исследования структуры и свойств пылевых и аэрозольобразующих примесей в аридной зоне юго-восточных районов Центральной Азии и их влияния на региональный климат. – Душанбе: Ирфон, 2015, 482 с.
4. Hofer J., Althausen D., Abdullaev S.F. et al: Long-term profiling of mineral dust and pollution aerosol with multiwavelength polarization Raman lidar at the Central Asian site of Dushanbe, Tajikistan: case studies. – Atmos. Chem. Phys., v.17, pp.14559-14577, <https://doi.org/10.5194/acp-17-14559-145772017>, 2017.
5. Абдуллаев С.Ф., Самиев С., Маслов В.А., и др. Вариации малых газовых примесей в приземном слое атмосферы города Душанбе. – Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации, 2018, №3 (43), с. 26-34.
6. Абдуллаев С.Ф., Самиев С., Маслов В.А. и др. Сезонная и межгодовая вариации TSP в атмосфере г. Душанбе. – ДАН РТ, 2018, т.61, №9-10, с.752-758.
7. Интернет ресурс: <https://aqicn.org/map/tajikistan/ru/>.
8. Равшанов Н. Математическое моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в атмосфере. – Ташкент, 2017, 212 с.
9. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Валиев В.С., Исмаилова Е.С. Технология расчетного экологического мониторинга. – Казань, 2010, 247 с.
10. Интернет ресурс: <https://www.meteoblue.com/ru/climatemodelled//> Душанбе _Таджикистан_ 1221874

С.Х.Мирзоев, Т.Н.Насридинова

**МОДЕЛИ ИТТИЛООТӢ БАРОИ МОНИТОРИНГ ВА ПЕШБИНИИ ҲОЛАТИ
ЭКОЛОГИИ АТМОСФЕРАИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ***Филиали Донишгоҳи давлатии Москва ба номи М.В.Ломоносов дар шаҳри Душанбе*

Мақола ба масъалаи модели иттилоотӣ барои мониторинг ва пешбиниҳои ҳолати экологии атмосфераи шаҳри Душанбе бахшида шудааст. Модели концептуалии системаи экологӣ чор омилро асосиро дар бар мегирад: назорат, арзёбии ҳолати воқеӣ, пешгӯӣ ва арзёбии ҳолати пешгӯишаванда. Коркарди маълумоти ҷадвалӣ бо истифодаи усули квадратҳои хурдтарин имкон дод, ки вобастагии ҳамаҷонибаи барои тағйирёбии индекси комплекси ифлосшавии атмосфера ба даст оварда шавад. Ин тағйирёбӣ дар шакли графикӣ низ тасвир карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: атмосфера, тӯфонҳои ҷанг, мониторинг.

S.Kh.Mirzoev, T.N.Nasridinova

**INFORMATION MODEL FOR MONITORING AND FORECASTING THE
ECOLOGICAL STATE OF THE ATMOSPHERE IN DUSHANBE CITY***Lomonosov Moscow State University in Dushanbe*

The article is devoted to the issue of an information model for monitoring and forecasting the ecological state of the atmosphere in Dushanbe. It is compiled a conceptual model of the ecological system, consisting of four main factors: observation, assessment of the actual state, forecast and assessment of the predicted state. An analytical dependence is obtained for changing the level of atmospheric pollution. This change is also plotted in a graph.

Key words: atmosphere, harmful particles, monitoring.