Лабораторная работа № 2

Оценка качества атмосферного воздуха в городах. Классификация состояния загрязнения атмосферного воздуха

Теория по теме лабораторной работы:

Экология: учебник и практикум для вузов / под редакцией О.Е. Кондратьевой. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 283 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00769-5. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://www.urait.ru/viewer/ekologiya-560577#page/1

Изучите главы 3.3 и 4, пройдите тест в конце главы.

Ход работы:

1. Изучите теоретический материал, составьте краткий конспект.
2. Произведите расчёты в соответствии с заданием 2.1 и 2.2.
3. Пройдите тест, при прохождении теста допускается использование тетради с лабораторными работами и лекциями.

Оформление работы:

Лабораторная работа № 2
Оценка качества атмосферного воздуха в городах. Классификация состояния загрязнения атмосферного воздуха

Бригада №___ Дата _____,
ФИО _____,

Цель работы: (*что планируется изучить, рассчитать, определить, оценить*)

Ответы на вопросы:
1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

ЗАДАНИЕ
Исходные данные:
_____
_____
_____

Решение:
_____
_____
_____
_____

Выводы:
_____
_____

1. Теоретический материал и методика выполнения работы

Основным критерием качества атмосферного воздуха являются нормативы предельно допустимых концентраций (*ПДК*).

ПДК – максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия.

В нашей стране действуют:

$ПДК_{м.р.}$ – максимально разовая *ПДК* 20-30-минутного осреднения,

$ПДК_{с.с.}$ – среднесуточная *ПДК* длительного осреднения.

При одновременном присутствии нескольких загрязняющих веществ (*ЗВ*), обладающих эффектом суммации (аддитивным действием), их безразмерная концентрация X не должна превышать 1:

$$X = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \qquad (2.1)$$

Оценка качества атмосферного воздуха основана на сравнении фактически измеренной концентрации с *ПДК*.

Чем больше кратность превышения *ПДК*, тем хуже качество воздуха.

Чем выше безразмерный показатель *X* для веществ с аддитивным действием, тем хуже качество воздуха.

На практике в воздухе имеется, как правило, несколько загрязняющих веществ, поэтому для оценки качества воздуха применяется комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (*ИЗА*), который равен сумме нормированных по *ПДК* и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний *ЗВ*.

Для одного вещества:

$$I = \left(\frac{\bar{c}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}}\right)^{K}, \qquad (2.2)$$

где $\bar{c}$ – средняя за год концентрация, мг/м^3; $ПДК_{с.с.}$ – среднесуточная *ПДК ЗВ* (загрлязняющего вещества), мг/м^3, в случае отсутствия $ПДК_{с.с.}$ вместо неё принимается $ПДК_{м.р.}$ или *ОБУВ* (ориентировочно безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества) (см. ПРИЛОЖЕНИЕ).

Значение параметра *K* равно:

1,7 – 1 класс опасности
1,3 – 2 класс опасности
1,0 – 3 класс опасности
0,9 – 4 класс опасности

Для нескольких веществ:

$$I = \sum_{i}^{n} I_i = \sum_{i}^{n} \left(\frac{\bar{c}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}}\right)^{K_i}, \qquad (2.3)$$

На практике для сравнения качества атмосферного воздуха разных городов используются данные по первым пяти веществам в ряду по степени убывания показателя I_i.

Классы экологического состояния атмосферы определяют по 4-балльной шкале, где класс нормы соответствует уровню загрязнения ниже среднего по стране, класс риска – равен среднему уровню, класс кризиса – выше среднего уровня, класс бедствия – значительно выше среднего уровня. Ранжирование экологического состояния атмосферы по классам осуществляется через расчет комплексного индекса загрязнения атмосферы.

Класс экологического состояния атмосферы	***I***
Норма	< 5
Риск	5-8
Кризис	8-15
Бедствие	> 15

Формула для расчёта индекса загрязнения атмосферы:

$$I = \left(\frac{\bar{c}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}}\right)^K, \qquad (2.4)$$

где $\bar{c}$ – средняя за год концентрация, мг/м^3; ПДК$_{\text{с.с.}}$ – среднесуточная ПДК ЗВ (загрлязняющего вещества), мг/м^3, в случае отсутствия ПДК$_{\text{с.с.}}$ вместо неё принимается ПДК$_{\text{м.р.}}$ или ОБУВ (ориентировочно безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества) (табл.3.2).

Значение параметра *K* равно:

1,7 – 1 класс опасности
1,3 – 2 класс опасности
1,0 – 3 класс опасности
0,9 – 4 класс опасности

2.1 ЗАДАНИЕ 2.1

1) Выписать исходные данные.
2) Произвести расчёты, согласно примеру.
3) Сравнить качество атмосферного воздуха в двух городах. Исходные данные по вариантам (таблица 2.1), данные ПДК в таблице 2.2.
4) Сделать выводы.

Пример

В **городе А** концентрации контролируемых *ЗВ* (мг/м^3) равны:
NO_2 – 0,1; *SO_2* – 0,03; *CO* – 3; *ТВЧ* – 0,2;
H_2S – 0,01; *аммиак* – 0,1; *керосин* – 1,0.

В **городе Б** концентрации контролируемых *ЗВ* (мг/м^3) равны:
NO_2 – 0,09; *SO_2* – 0,05; *CO* – 1,0; *ТВЧ* – 0,05;
стирол – 0,01; *полиэтилен* – 0,03; *ксилол* – 0,3.

Сравните качество атмосферного воздуха в городах.

Решение

1. Находим комплексный индекс загрязнения атмосферы для каждого из веществ (значения ПДК для веществ в таблице 3.1):

Город А	$NO_2: \left(\frac{0,1}{0,04}\right)^{1,3} = 3,3$	$SO_2: \left(\frac{0,03}{0,05}\right)^{1} = 0,6$	$CO: \left(\frac{3}{3}\right)^{0,9} = 1$
$ТВЧ: \left(\frac{0,2}{0,15}\right)^{1} = 1,33$	$H_2S: \left(\frac{0,01}{0,008}\right)^{1,3} = 1,3$	$NH_3: \left(\frac{0,1}{0,04}\right)^{0,9} = 2,3$	$керосин: \left(\frac{1,0}{1,2}\right)^{0,9} = 0,85$

Город Б:	$NO_2: \left(\frac{0,09}{0,04}\right)^{1,3} = 2,87$	$SO_2: \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{1} = 1$	$CO: \left(\frac{1}{3}\right)^{0,9} = 0,37$
$ТВЧ: \left(\frac{0,05}{0,15}\right)^{1} = 0,33$	$стирол: \left(\frac{0,01}{0,002}\right)^{1,3} = 8,1$	$полиэтилен: \left(\frac{0,03}{0,01}\right)^{1,3} = 4,2$	$ксилол: \left(\frac{0,3}{0,2}\right)^{1} = 1,5$

2. Находим суммарный индекс загрязнения атмосферы по 5 веществам с самым высоким индексом и определяем класс экологического состояния атмосферы.

$$I = \sum_{i}^{5} I_i = 3,3 + 2 + 2,3 + 1,3 + 1 = 9,9$$

$$I = \sum_{i}^{5} I_i = 2,87 + 8,1 + 4,2 + 1,5 + 1 = 17,67.$$

Вывод: в ходе лабораторной работы были изучены основные понятия (*ПДК*, *ИЗА*, *ЗВ*, *ОБУВ*), рассчитаны комплексные и суммарные индексы загрязнения атмосферы для городов А и Б. Воздух в городе Б загрязнён сильнее, чем в городе А в 17,67 : 9,9 = 1,8 раз.

Таблица 2.1

Экспериментальные данные концентраций загрязняющих веществ в городах

Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м³								
№ вар.	**Город А**				**Город Б**			
	NO_2	**SO_2**	**ТВЧ**	**Другие вещества**	**NO_2**	**SO_2**	**ТВЧ**	**Другие вещества**
1	0,1	0,02	0,1	V_2O_5 0,004; MnO_2 0,001; Пропилен 2,0; FeO 0,02	0,03	0,05	0,3	Оксид Fe 0,1; пыль зерновая 0,5; Стирол 0,005
2	0,15	0,07	0,1	Кислота азот. 0,2; Cr^{6+} 0,007 Сажа 0;06; Толуол 0,3	0,06	0,1	0,15	Пыль абразивная 0,1; Тетраэтилсвинец $2 \cdot 10^{-6}$, CO 5,2
3	0,04	0,07	0,2	Пропилен 3,0; Hg 0,0005; Скипидар 1,6	0,02	0,1	0,32	HNO_3 0,35; фурфурол 0,06; Пыль бум. 0,3
4	0,07	0,08	0,7	Фурфурол 1,3; Скипидар 1,3 Сажа 0,15	0,11	0,03	0,1	Hg 0,0007; Ацетон 0,8; Зола сланц. 0,08
5	0,03	0,12	1,2	Ксилол 0,35; Оксид железа 0,06 Бутилацетат 0,27	0,1	0,1	0,1	Кислота уксусн. 0,1; Стирол 0,003; Пропилен 3,0
6	0,04	0,05	0,15	Толуол 1,8; ТЭС $4 \cdot 10^{-6}$ H_2S 0,01	0,02	0,07	0,1	H_2SO_4 0,17; Фурфурол 0,08; Толуол 1,3
7	0,1	0,15	0,03	Стирол 0,005; Пыль мех. 0,05; Оксид меди 0,003	0,03	0,1	0,12	Аммиак 0,12; Ацетон 0,3; Пыль зерна 0,05

Среднегодовая концентрация ЗВ, мг/м^3								
№ вар.	Город А				Город Б			
	NO_2	SO_2	ТВЧ	Другие вещества	NO_2	SO_2	ТВЧ	Другие вещества
8	0,13	0,01	0,1	ТЭС 4,7 ·10^{-6}; Пропилен 1,0; Кислота уксусная 0,05	0,04	0,17	0,4	Фенол 0,1; Сажа 0,07; Пыль зерновая 0,07
9	0,18	0,02	0,18	Бутилацетат 0,22; MnO_2 0,003; Фурфурол 0,03	0,15	0,08	0,05	Скипидар 1,2; Сажа 0,12; Метилмеркаптан 20 · 10^{-6}
10	0,09	0,21	0,1	Стирол 0,005; Сажа 0,04; HNO_3 0,2	0,11	0,06	0,1	Тетраэтилсвинец 3 ·10^{-6}; Свинец 0,0007 Пыль бум. 0,3
11	0,04	0,07	0,22	Hg 0,0005; Кислота уксусн. 0,09; Аммиак 0,25	0,07	0,1	0,3	Фенол 0,009; H_2SO_4 0,08; Бензин малосерн. 1,2
12	0,09	0,03	0,17	Скипидар 2,7; Пропилен 0,9; Метилмеркаптан 7 · 10^{-6}	0,02	0,3	0,12	Зола сланц. 0,23; Фенол 0,01; HNO_3 0,12
13	0,05	0,12	0,11	Стирол 0,007; Hg 0,0004; Зола сланц. 0,15	0,03	0,24	0,27	Окись меди 0,005; Пропилен 6,5; Бутил ацетат 0,12
14	0,1	0,12	0,08	Фурфурол 0,05; CO 5,2; Cr^{6+} 0,002	0,06	0,13	0,1	Фенол 0,006; Сажа 0,03; Ксилол 0,65
15	0,03	0,1	0,32	Окись меди 0,004; NH_3 0,12 Тетраэтилсвинец 5,2 · 10^{-6}	0,07	0,2	0,2	V_2O_5 0,06; Пыль древесн. 0,15; CO 5,2
16	0,06	0,03	0,4	H_2S 0,018; Cr 0,002; Пропилен 2,0	0,04	0,03	0,1	Толуол 0,25; Кислота уксусн. 0,2; Бутилацетат 0,35

Таблица 3.2

Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м^3		ОБУВ	Класс опас-ности
			$ПДК_{м.р.}$	$ПДК_{с.с.}$		
1	Азотная кислота	HNO_3	0,4	0,15	-	2
2	Азота оксид	NO_2	-	0,04	-	2
3	Аммиак	NH_3	0,2	0,04	-	4
4	Бензин		5	1,5	-	4
5	Бенз(а)пирен		-	1	-	1
6	Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	0,1	-	-	4
7	диВанадий пентоксид	V_2O_5	-	0,002	-	1
8	Дигидросульфид (сероводород)	H_2S	0,008	-	-	2
9	Диметилбензол (ксилол)	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,2	-	-	3
10	диЖелезо триоксид, железо оксид	Fe_2O_3, FeO	-	0,04	-	3
11	Зола сланцевая		0,3	0,1	-	3
12	Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)		-	0,002	-	2
13	Марганец и его соединения (в пересчёте на марганец (IV) оксид)	MnO_2	0,01	0,001	-	2
14	Медь оксид (в пересчёте на медь)	CuO	-	0,002	-	2
15	Метантиол (метилмеркаптан)	CH_4S	0,0001	-	-	4
16	Метилбензол (толуол)	$C_6H_5CH_3$	0,6	-	-	3
17	Полиэтилен		-	0,01	-	2
18	Пропан-2-он (ацетон)	C_3H_6O	0,35	-	-	4
19	Пропен (пропилен)	C_3H_6	3	-	-	3
20	Пыль зерновая		0,5	0,15	-	3

№ п/п	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м^3		ОБУВ	Класс опас-ности
			ПДК$_{м.р.}$	ПДК$_{с.с.}$		
21	Пыль древесная		-	-	0,1	3
22	Пыль меховая (шерстяная, пуховая)		-	-	0,03	3
23	Пыль бумажная		6	-	-	3
24	Пыль абразивная		-	0,05	-	3
25	Ртуть	Hg	-	0,0003	-	1
26	Свинец и его неорганические соединения (в пересчёте на свинец)		0,001	0,0003	-	1
27	Серная кимлота	H_2SO_4	0,3	0,1	-	2
28	Серы диоксид	SO_2	-	0,05	-	3
29	Скипидар (в пересчёте на углерод)		2	1	-	4
30	Тэтраэтилсвинец (ТЭС)	$C_8H_{20}Pb$	0,0001	0,00004	-	1
31	Твёрдые взвешенные частицы (ТВЧ)		-	0,15	-	3
32	Углерод (сажа)	C	0,15	0,05	-	3
33	Углерода монооксид	CO	5	3	-	4
34	Фенолы сланцевые		0,007	-	-	3
35	Формальдегид		-	0,003	-	2
36	Фуран-2-альдегид (фурфурол)	$C_5H_4O_2$	0,08	0,04	-	3
37	Хром (в пересчёте на хрома (VI) оксид)		-	0,0015	-	1
38	Этановая кислота (кислота уксусная)	$C_2H_4O_2$	0,2	0,06	-	3
39	Этенилбензол (стирол)	$C_6H_5C_2H_5$	0,04	0,002	-	2

2.2 ЗАДАНИЕ 2.2

1) Выписать исходные данные.

2) Произвести расчёты, согласно примеру.

3) Найти класс экологического состояния атмосферы в городе. Исходные данные по вариантам в таблице 2.3, данные ПДК в таблице 2.2.

4) Сделать выводы.

Пример

К какому классу относится экологическое состояние атмосферы в населённом пункте, если по данным мониторинга среднегодовые концентрации ЗВ за 2023 г. равны (мг/м^3):

- бенз(а)пирен - 2,9;
- NO_2 - 0,03;
- CO - 1,0;
- ТВЧ - 0,1;
- формальдегид - 0,005?

Решение

1. Находим комплексный индекс загрязнения атмосферы для каждого из веществ (значения ПДК для веществ в таблице 2.3):

$I_{\text{бенз(а)пирен}} = \left(\frac{2,9}{1}\right)^{1,7} = 6,11$		$I_{NO_2} = \left(\frac{0,03}{0,04}\right)^{1,3} = 0,7$
$I_{CO} = \left(\frac{1}{3}\right)^{0,9} = 0,37$	$I_{\text{ТВЧ}} = \left(\frac{0,1}{0,15}\right)^{1} = 0,67$	$I_{\text{формальдегид}} = \left(\frac{0,005}{0,003}\right)^{1} = 1,94$

2. Находим суммарный индекс загрязнения атмосферы по 5 веществам с самым высоким индексом и определяем класс экологического состояния атмосферы.

$$I = 6{,}11 + 0{,}7 + 0{,}37 + 0{,}67 + 1{,}94 = 9{,}79$$

Вывод: в ходе лабораторной работы были рассчитаны комплексные и суммарные индексы загрязнения атмосферы для города. Суммарный индекс загрязнения находится в пределах $8 < I < 15$, значит, в городе кризис.

Таблица 2.3

Экспериментальные данные концентраций загрязняющих веществ в населённых пунктах

№ вар.	Среднегодовая концентрация С, мг/м^3											
	SO_2	NO_2	ТВЧ	Hg	Фенол	H_2S	Фурфурол	Cr^{6+}	H_2SO_4	HNO_3	MnO_2	Ацетон
1	0,08	0,2	0,15	0,0005					0,2		0,003	0,45
2	0,1	0,19	0,16		0,008			0,0025		0,15		
3	0,03	0,08	0,17			0,008			0,13			0,4
4	0,04	0,17	0,18	0,0007				0,0035		0,2		
5	0,05	0,16	0,19				0,14		0,08		0,002	
6	0,06	0,15	0,20			0,015				0,25		
7	0,09	0,14	0,21		0,011				0,1			0,35
8	0,1	0,13	0,22			0,021		0,005		0,12		
9	0,11	0,12	0,13	0,001					0,3		0,004	
10	0,12	0,11	0,11				0,09			0,3		0,2
11	0,13	0,1	0,09		0,01			0,003				0,3
12	0,14	0,09	0,1			0,13		0,004				
13	0,05	0,08	0,08	0,0002			0,08			0,25		
14	0,06	0,07	0,22		0,023				0,15			0,25
15	0,17	0,06	0,25			0,005				0,5		
16	0,08	0,05	0,21				0,1	0,001			0,001	

3. Тест по лабораторной работе: https://onlinetestpad.com/vl57f7hyjvcig