

УДК 614.71; 551.588

УЧЕТ РЯДА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЙ ПРИ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА ЗДОРОВЬЮ

М.А. Креймер, В.В. Турбинский

ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» Роспотребнадзора,
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7

Изучены закономерности влияния климата на изменение концентраций в приземном слое атмосферного воздуха. Показано, что для оценки результатов социально-гигиенического мониторинга важно учитывать факторы, влияющие на санитарные показатели качества воздуха и «поведение» ингредиентов в нем: растворимость, изменение физико-химических свойств, химические реакции, поглощение биосферой. Для моделирования риска здоровью необходимо знать постоянную циркулирующую часть, метеорологические и орографические условия нарушения баланса между поступлением и удалением (стоком) ингредиентов из атмосферы. Риск возникает при комбинации метеопараметров, приводящих к превышению критических пороговых уровней опасности ингредиента. В расчетах норм предельно допустимых выбросов необходимо учитывать коэффициенты циркуляции для каждого ингредиента в отдельности, выбрасываемого в атмосферу.

Ключевые слова: вредные вещества в атмосферном воздухе, гигиеническая оценка, климатические показатели, социально-гигиенический мониторинг.

Для регулирования качества атмосферного воздуха посредством инженерных, градостроительных и экономических решений применяются гигиенические нормативы – максимально разовые и среднесуточные предельно допустимые концентрации вредных веществ (СанПиН 2.1.6.1032-01, п. 2.1). Для предотвращения влияния на здоровье при кратковременном подъеме и длительном поступлении в организм человека (СанПиН 2.1.6.1032-01, п. 2.3), а также для возмещения ущерба, причиненного здоровью (СанПиН 2.1.6.1032-01, п. 4.2.8), необходим мониторинг атмосферных процессов рассеивания, накопления критических доз и оценки возникновения обстоятельств риска [1, 2].

Для совершенствования санитарно-гигиенических заключений по результатам мониторинга, оценки риска здоровью в таблице приведены расчеты по типичным ингредиентам: взвешенные вещества (пыль), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), диоксид азота (NO_2), оксид азота (NO), фе-

нол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), сажа, фтористый водород (HF), аммиак (NH_3), формальдегид (CH_2O), контролируемым в атмосферном воздухе города Новосибирска на 11 метеорологических постах в 2008 г.

Наличие уровней примесей ниже порога определения («нулевых значений») делает необъективной среднее арифметическое значение всей выборки. Показатели качества атмосферного воздуха населенных мест для пыли, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, сажи, SO_2 , HF и NH_3 могут рассматриваться как асимметричное распределение, то есть до 40 % проб занижают значение действующей величины. Только для CO, NO_2 , NO и CH_2O статистическая оценка распределения характеризует гигиенические эффекты.

Средняя арифметическая, установленная в санитарно-гигиенических целях, может быть типичной только для однородной выборки. В гигиене атмосферного воздуха представительная средняя может быть установлена только для значений, не превы-

© Креймер М.А., Турбинский В.В., 2013

Креймер Михаил Абрамович – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: ngi@cn.ru, тел.: 8 (383) 343-34-01).

Турбинский Виктор Владиславович – кандидат медицинских наук, директор (e-mail: ngi@cn.ru, тел.: 8 (383) 343-34-01).

Характеристика метеорологических показателей и гигиенических закономерностей в оценке загрязнения атмосферного воздуха города и прогнозирования риска

Параметр	Пыль	SO ₂	CO	NO ₂	NO	Фенол	Сажа	HF	NH ₃	CH ₂ O
Доля определений на уровне концентраций ниже порога определения («нулевые значения»), %	81	44	9	3	4	55	64	59	39	6
Доля определений концентраций на уровне 1 ПДК _{ср.} и ниже, %	85	98	95	10	35	65	96	79	76	6
Доля определений концентраций выше 1 ПДК _{ср.} но ниже 10 ПДК _{ср.} , %	15	2	5	90	65	34	4	21	24	70
Доля определений концентраций на уровне 10 и более ПДК _{ср.} , %	0	0	0	0,1	0,02	1,3	0,04	0,3	0,4	24
Максимально установленное значение концентрации в ПДК _{ср.}	4	3	3	19	13	26	11	13	17	27
Частота встречаемости в течение 2008 г. максимальных значений 10 и более ПДК _{ср.} в расчете на 1000 или 10000 измерений	не регистрируется									
Вклад в течение года температуры воздуха (°C) в изменение концентрации ингрдиента в атмосферном воздухе. Коэффициент детерминации, %	2,0 прямая	3,7 обратная	0,6 прямая	0,5 прямая	0,1 обратная	0,5 прямая	5,7 обратная	Нет	0,5 прямая	1,9 прямая
Вклад изменения скорости ветра (м/с) в течение года в изменение концентрации ингрдиента в атмосферном воздухе. Коэффициент детерминации, %	Нет	Нет	1,8 обратная	0,2 обратная	0,3 обратная	1,2 обратная	0,5 обратная	Нет	0,4 прямая	0,1 обратная
Уравнение множественной регрессии по данным наблюдения за 2008 г. $C \text{ (мг/м}^3\text{)} = K + A_q T \text{ (}^\circ\text{C)} + B V_q \text{ (м/с)}$ (при $q = 7, 13 \text{ и } 19$ часов)	$K_7 = 0,207$ $A_7 = 0,001$ $B_7 = -0,003$	$K_7 = 0,002$ $A_7 = -0,00006$ $B_7 = 0,00003$	$K_7 = 1,895$ $A_7 = -0,069$ $B_7 = -0,027$	$K_7 = 0,124$ $A_7 = 0,0002$ $B_7 = -0,002$	$K_7 = 0,086$ $B_7 = -0,001$	$K_7 = 0,004$	$K_7 = 0,02$ $A_7 = -0,0007$ $B_7 = -0,001$	$K_7 = 0,003$	$K_7 = 0,03$	$K_7 = 0,02$ $A_7 = 0,0001$
	$K_{13} = 0,189$ $A_{13} = 0,002$ $B_{13} = 0,003$	$K_{13} = 0,002$ $A_{13} = -0,00006$	$K_{13} = 1,747$ $A_{13} = 0,01$ $B_{13} = -0,027$	$K_{13} = 0,116$ $A_{13} = 0,0004$	$K_{13} = 0,082$	$K_{13} = 1,452$ $A_{13} = 0,02$ $B_{13} = -0,1$	$K_{13} = 0,02$ $A_{13} = -0,0004$	$K_{13} = 0,003$	$K_{13} = 0,03$ $A_{13} = 0,0003$ $B_{13} = 0,001$	$K_{13} = 0,02$ $A_{13} = 0,0001$
	$K_{19} = 0,205$ $A_{19} = 0,001$	$K_{19} = 0,002$ $A_{19} = -0,00005$	$K_{19} = 1,911$ $B_{19} = -0,047$	$K_{19} = 0,122$ $A_{19} = 0,0003$ $B_{19} = -0,001$	$K_{19} = 0,087$ $B_{19} = -0,001$	$K_{19} = 0,003$	$K_{19} = 0,02$ $A_{19} = -0,0006$ $B_{19} = -0,001$	$K_{19} = 0,003$	$K_{19} = 0,03$ $A_{19} = 0,0003$ $B_{19} = 0,002$	$K_{19} = 0,02$ $A_{19} = 0,0001$
		-10 и -75	-191,5 -205,02	+21,3 и -11,1	-152 и -163,6	+182 и +43		+19,9 и -87,2	-33,3 и -77,75	-19 и -92
Температура кипения и плавления, °C										

шающих норматив ПДК_{сс}. В данном диапазоне определений находятся значения пыли, сажи, SO₂, CO, HF и NH₃.

Второй однородной выборкой являются измерения, свидетельствующие о превышении ПДК_{сс}, но не выходящие за токсикологический параметр 10 ПДК_{сс}. В данном диапазоне определений находятся значения NO₂, NO и CH₂O.

Третья выборка, основанная на принципах пороговости и на измерениях, превышающих 10 ПДК_{сс}, может свидетельствовать о клинических эффектах неспецифического характера. К данному уровню прогнозирования негативного действия на здоровье человека можно отнести CH₂O (24 % проб более 10 ПДК_{сс}), C₆H₅OH (1,3), NH₃ (0,4), HF (0,3), NO₂ (0,1), сажу (0,04) и NO (0,02).

Максимальные концентрации ингредиентов свидетельствуют о невычисляемой комбинации метеопараметров, в результате которой в городе возникают условия выраженного и существенного риска здоровью человека. Установлено, что наибольшую опасность формируют: CH₂O с максимальными концентрациями около 27 ПДК_{сс} и частотой встречаемости в течение года в 2 случаях на 10 тыс. измерений; C₆H₅OH с максимальными концентрациями около 26 ПДК_{сс} и частотой встречаемости в течение года 4 значения на 10 тыс. измерений. NO₂ – около 19 ПДК_{сс}, 1 значение на 10 тыс. измерений; NH₃ – около 17 ПДК_{сс}, 4 значения на 10 тыс. измерений; HF – около 13 ПДК_{сс}, 1 значение на 1 тыс.; NO – около 13 ПДК_{сс}, 2 значения на 10 тыс. измерений; сажа – около 11 ПДК_{сс}, 1 значение на 10 тыс. измерений. Для пыли, SO₂ и CO максимально установленная величина в течение 2008 г. не превышала 5 ПДК_{сс}.

По данным измерения ингредиентов в течение 2008 г. вклад температуры атмосферного воздуха и скорости воздушных масс является незначительным и разнонаправленным. Коэффициент детерминации температуры отражает влияние на концентрацию и составляет: для сажи – 5,7 %; для SO₂ – 3,7 %, для пыли – 2,0 % и для CH₂O –

1,9 %. Коэффициент детерминации скорости ветра в воздухе отражает влияние на концентрацию CO – 1,8 % и на C₆H₅OH – 1,2 %.

Метеорологические процессы характеризуются следующей протяженностью: в течение суток – при смене дня и ночи; в виде четырех сезонов года – с выраженными температурными перепадами, видами осадков, направлением ветра и образованием инверсий. В совокупности эти закономерности имеют годовую цикличность с экологической вариабельностью и многолетними солнечно-земными связями. Для оценки суточных колебаний концентраций ингредиентов рассчитывалось уравнение множественной регрессии

$$C \text{ (мг/м}^3\text{)} = K + A_q T \text{ (}^\circ\text{C)} + B V_q \text{ (м/с)}$$

(при $q = 7, 13$ и 19 часов).

Значение K (постоянный член уравнения) при температуре и скорости равной нулю свидетельствует о нахождении в атмосферном воздухе «постоянной» концентрации, поддерживаемой за счет природных и техногенных процессов поступления и метеорологических процессов выведения. K , как показатель среднего уровня загрязнения, не зависит от времени отбора проб в течение суток для пыли, SO₂, NO, сажи, HF, NH₃ и CH₂O. Значения коэффициентов при параметрах температуры и ветра в множественном уравнении регрессии отражают процессы поступления и выноса ингредиентов из атмосферы.

Независимый коэффициент уравнения (K) в утреннее и вечернее время составил 0,2 и равнялся медиане, моде и среднеарифметическому значению статистического распределения содержания пыли в атмосферном воздухе г. Новосибирска в 2008 г. В полдень K снижался за счет влияния температуры (T) и ветра (V) вследствие увеличения солнечной активности. В утренние часы действие ветра на значения концентрации пыли в приземном слое носили обратный характер, а в вечернее время – разнонаправленный. Взвешенные вещества в зимний сезон года находятся на уровне 0,1 мг/м³ (мода), а в остальные сезоны – 0,2.

Поступление и вынос пыли из атмосферы не нарушает установленный баланс загрязнения по *K*. Осень является сезоном риска здоровью за счет резкого повышения концентраций пыли до 4 ПДК_{сс}.

Расчетное время жизни в атмосфере SO₂ [3, 4] составляет 4–5 суток и, по нашим данным, составляет концентрацию 0,002 мг/м³ в атмосфере г. Новосибирска. Окисление до сульфатов озоном или после абсорбции твердыми или жидкими аэрозолями приводит к снижению концентрации, а преимущественно за счет сжигания угля и нефтепродуктов – к ее восстановлению. Помимо экологических процессов при прогнозировании риска необходимо учитывать изменение агрегатного состояния SO₂, которое происходит при температуре воздуха –10 °С. Так SO₂ в газообразном виде образует уровни загрязнения в диапазоне значений от 0,0 до 0,03 мг/м³ и средней арифметической 0,0012. При температуре атмосферного воздуха ниже кипения SO₂ уровни загрязнения повышаются и находятся в пределах от 0,0 до 0,172 мг/м³ и средней арифметической 0,0036.

Расчетное время жизни в атмосфере NO, как и NO₂ [3, 4], составляет 5 суток. Окисление до нитратов после поглощения твердыми и жидкими аэрозолями, фотохимическая реакция с углеводородами способствуют выведению ингредиента из атмосферы. Изменение агрегатного состояния проходит при температуре ниже максимально установленной в 2008 г. (–31 °С).

HF меняет агрегатное состояние с газообразного на жидкое при температуре +19,9 °С и с жидкого на твердое при –87,2 °С. Содержание HF в газообразном состоянии не описывается множественным уравнением регрессии, а в атмосферном воздухе HF в жидком состоянии при температуре менее +19 °С описывается множественным уравнением регрессии, в котором только *K* является значимой величиной, равной 0,0032.

Расчетное время жизни в атмосфере NH₃ [3, 4] составляет 7 суток. Удаление NH₃ происходит в результате реакции с SO₂ с образованием (NH₄)₂SO₄, окисление до

нитратов. Растворимость NH₃ в атмосферной влаге самая высокая среди рассматриваемых ингредиентов (62,9 г на 100 г воды). NH₃ меняет агрегатное состояние с газообразного на жидкое при температуре –33,3 °С и с жидкого на твердое при –77,2 °С, что ниже максимально установленной в 2008 г. (–31 °С).

CH₂O меняет агрегатное состояние с газообразного на жидкое при температуре –19,9 °С и с жидкого на твердое при –92 °С. Содержание CH₂O в газообразном состоянии описывается следующим множественным уравнением регрессии

$$C_{\text{CH}_2\text{O}} = 0,0218 + 0,00009 T.$$

Содержание CH₂O в жидком агрегатном состоянии описывается следующим множественным уравнением регрессии

$$C_{\text{CH}_2\text{O}} = 0,0224 - 0,0012 V.$$

Колебание *K* в течение суток для CO, NO₂ и C₆H₅OH отражает следующие экологические закономерности.

Расчетное время жизни в атмосфере CO [3, 4] составляет 0,3–3 года и обусловлено помимо атмосферных циркуляций почвенными процессами и поглощением растительностью. Осенью больше всего встречается нулевых проб (около половины) при определении концентраций CO. Средние арифметические значения концентрации, медиана и мода не превышают 1,2 мг/м³, а максимально обнаруженные составляют не более 5 мг/м³. Зимой доля нулевых проб снижается до 36,7 %, весной – до 13,2 %, а летом – до 4,5 %. Соответственно растут средние арифметические показатели загрязнения, но максимальные концентрации определялись только в зимний период. Такие закономерности отражают биосферные процессы поглощения окислов углерода при *K* от 1,7 до 1,9. Среди всех контролируемых ингредиентов CO характеризуется самой низкой растворимостью в воде – 0,00284 г на 100 г воды.

Расчетное время жизни в атмосфере NO₂, как и NO [3, 4], составляет 5 суток. Окисление до нитратов после поглощения

твердыми и жидкими аэрозолями, фотохимическая реакция с углеводородами способствует выведению ингредиента из атмосферы. NO₂ до –11,1 °С находится в твердом состоянии. Концентрация в таком агрегатном состоянии описывается множественным уравнением регрессии

$$C_{\text{NO}_2} = 0,194 + 0,0033 T - 0,0044 V.$$

В диапазоне температур от –11,1 °С до +20,7 °С NO₂ находится в жидком состоянии, концентрация которого описывается:

$$C_{\text{NO}_2} = 0,115 + 0,0008 T.$$

В диапазоне температур выше +20,7 °С находится в газообразном состоянии, концентрация описывается:

$$C_{\text{NO}_2} = 0,114 + 0,0018 V.$$

Среди всех контролируемых ингредиентов NO₂ характеризуется низкой растворимостью в воде – 0,00618 г на 100 г воды.

C₆H₅OH меняет агрегатное состояние с газообразного на жидкое при температуре +188,7 °С и с жидкого на твердое при +40,9 °С. Изменение агрегатного состояния проходит при температуре выше максимально установленной в 2008 г. (+36 °С). Колебание концентраций в течение суток может быть обусловлено техногенными факторами.

Солнечная активность изменяет агрегатное состояние ингредиентов и способствует физико-химическим реакциям в атмо-

сфере. Поступление ингредиентов в атмосферу и удаление (сток) приводят к тому, что некоторое время ингредиенты циркулируют в атмосферном воздухе и создают длительное (хроническое) действие на организм человека. Метеорологические измерения не всегда отражают санитарные условия проживания человека. Высокие концентрации ингредиентов в атмосферном воздухе не определяются простыми и доступными метеорологическими параметрами (температура воздуха, скорость ветра).

Для оценки результатов социально-гигиенического мониторинга важно учитывать факторы, влияющие на санитарные показатели качества воздуха и «поведение» ингредиентов в атмосфере: растворимость, изменение физико-химических свойств, химические реакции, поглощение биосферой.

Для моделирования риска здоровью необходимо знать постоянную циркулирующую часть, метеорологические и орографические условия нарушения баланса между поступлением и удалением (стоком) ингредиентов из атмосферы. Риск возникает при комбинации метеопараметров, приводящих к превышению критических пороговых уровней опасности ингредиента.

В расчетах норм предельно допустимых выбросов по методике ОНД-86 необходимо иметь коэффициенты циркуляции для каждого ингредиента, выбрасываемого в атмосферу, в отдельности.

Список литературы

1. МР 2.1.10.0057-12. Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска / Роспотребнадзор. – М., 2012. – 48 с.
2. МУ 2.1.6.792-99. Выбор базовых показателей для социально-гигиенического мониторинга (атмосферный воздух населенных мест): методические указания / утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 19 ноября 1999 г. – URL: http://www.eko-partner.ru/actual_legislation/35/ (дата обращения: 20.02.2013).
3. Химия нижней атмосферы. – М.: Мир, 1976 – С. 156–157.
4. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. – М.: Мир, 1965. – С. 15.

References

1. Ocena riska i ushherba ot klimaticheskikh izmenenij, vlijajushhih na povyshenie urovnja zaboлеваemosti i smertnosti v gruppah naselenija povyshennogo riska. Rospotrebnadzor MR 2.1.10.0057-12 [An assessment of risk

and damage from climatic changes influencing an increase in disease incidence and death in high-risk population groups. Methodical guidelines of the Federal Service on Customers' Rights Protection and Human Well-Being Surveillance 2.1.10.0057-12]. Moscow, 2012. 48 p.

2. Vybor bazovykh pokazatelej dlja social'no-gigienicheskogo monitoringa (atmosfera) (The choice of basic indicators for social and hygiene monitoring (ambient air in populated areas)). Methodical guidelines MU 2.1.6.792-99. Utverzhdeny Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 19 nojabrja 1999 g. Available at: http://www.eko-partner.ru/actual_legislation/35.

3. Himija nizhnej atmosfery [Chemistry of the lower atmosphere]. Moscow: Mir, 1976, pp. 156–157.

4. Junge H. Himicheskiy sostav i radioaktivnost' atmosfery [The chemical content and radioactivity of the atmosphere]. Moscow: Mir, 1965, p. 15.

TAKING INTO ACCOUNT A NUMBER OF CLIMATIC INDICATORS IN ENVIRONMENTAL HEALTH ASSESSMENT OF AMBIENT AIR AND IN HEALTH RISK FORECASTING

M.A. Kreymer, V.V. Turbinskiy

FBSI «Novosibirsk Research Institute of Hygiene» of the Federal Service
on Customers' Rights Protection and Human Well-Being Surveillance,
Russian Federation, Novosibirsk, 7 Parkhomenko St., 630108

The study investigated the mechanisms of climate's influence on changes in concentrations in ground-level ambient air. It was shown that to evaluate the results of social and environmental health monitoring, it is important to take into consideration factors, which influence health indicators of air quality and the behavior of ambient air constituents, i.e. solubility, changes in their physicochemical properties, chemical reactions and absorption by the biosphere. To model a health risk, one needs to know the constantly circulating air masses, meteorological and orographic conditions of balance disturbance between the constituents' entrance to and leave from the atmosphere. A risk emerges at the combination of meteorological parameters leading to an exceedance of critical hazard threshold levels of a constituent. To calculate the standards for maximum permissible emissions, it is necessary to take into account circulation indices separately for each constituent emitted into the atmosphere.

Key words: hazardous substances in ambient air, environmental health assessment, climatic indicators, social and environmental health monitoring.