



Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр гигиены»

*Лаборатория технологий анализа рисков здоровью*

**Об уровнях риска здоровью населения  
загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с  
учетом эффектов вредного действия**

**Ганькин А.Н., к.м.н., Соколов С.М., д.м.н., п-р, Просвирякова И.А., к.м.н.,  
Пшегорода А.Е.**

**Научная сессия учреждения образования  
«Белорусский государственный медицинский университет»  
Минск, 2021**

Расчет риска здоровью населения проводился по следующим критериям:

- потенциальный риск немедленного (рефлекторного) действия;
- потенциальный риск длительного (хронического) воздействия;
- коэффициент опасности развития неблагоприятных эффектов при кратковременном ингаляционном воздействии;
- коэффициент опасности развития неблагоприятных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии;
- индекс опасности влияния развития неблагоприятных эффектов при кратковременном ингаляционном воздействии;
- индекс опасности развития влияния неблагоприятных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии;
- индивидуальный канцерогенный риск.

*Расчет проведен и использованием Инструкции по применению «Оценка риска для жизни и здоровья населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе», утвержденная Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 31.08.2017 регистрационный номер 004-0617.*

Величина поступления загрязняющего вещества рассчитана с учетом воздействующей концентрации, величины контакта, частоты и продолжительности воздействия, массы тела и времени осреднения экспозиции по формуле:

$$I = C \times IR \times ED \times EF / BW \times AT \times 365,$$

где I – поступление (количество загрязняющего вещества на границе обмена), мг/(кг × сут);

C – среднесуточная концентрация загрязняющего вещества, (мг/м<sup>3</sup>);

IR – скорость поступления воздействующей среды (среднесуточный объем вдыхаемого воздуха м<sup>3</sup>/сут);

ED – продолжительность воздействия, число лет;

EF – частота воздействия, число дней/год;

BW – средняя масса тела в период экспозиции, кг;

AT – время осреднения; период осреднения экспозиции, число лет;

365 – дней в году.

Для веществ, обладающих неканцерогенными эффектами предполагался расчет следующих параметров: *расчет коэффициента опасности; расчет индекса опасности; расчет потенциального риска немедленного (рефлекторного) действия; расчет потенциального риска длительного (хронического) воздействия.*

Коэффициент опасности отражает потенциальный риск развития неканцерогенных эффектов, формулы:

$$HQ=AD / RfD,$$

$$HQ=AC / RfC,$$

где HQ – коэффициент опасности;

AD – доза, мг/кг;

AC – концентрация, мг/м<sup>3</sup>;

RfC – референтная концентрация, мг/м<sup>3</sup>;

RfD – референтная доза, мг/кг.

При оценке риска комбинированного воздействия загрязняющих веществ проводится расчет индекса опасности. Индекс опасности при условии одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем рассчитывается по формуле:

$$HI= \sum HQ_i$$

где HI – индекс опасности;

HQ<sub>i</sub> – коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих загрязняющих веществ.

Коэффициент опасности был рассчитан отдельно при условиях кратковременного (острого) и длительного (хронического) воздействий загрязняющих веществ. При установлении величины коэффициента опасности, в качестве референтной концентрации и для определения референтной дозы были использованы значения предельно допустимых концентраций изучаемых поллютантов в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения.

Следует отметить, что при коэффициенте опасности, равном или меньше 1,0, риск вредных эффектов можно рассматривать как пренебрежимо малый, с увеличением  $HQ$  вероятность развития вредных эффектов возрастает. Расчет коэффициента опасности проведен с учетом критических органов/систем, поражаемых исследуемыми загрязняющими веществами.

Эффекты немедленного действия чаще всего проявляются в виде рефлекторных реакций у наиболее чувствительных лиц. Люди наиболее подверженные воздействию одних примесей также оказываются более чувствительными и к другим. В связи с этим, потенциальный риск немедленного действия при комбинированном воздействии чаще всего определяется максимальным риском отдельного загрязняющего вещества среди всех воздействующих загрязняющих веществ, хотя в ряде отдельных случаев необходим учет эффекта суммации.

Хроническое воздействие загрязняющих веществ общетоксического характера действия на уровне малых концентраций характеризуется однотипными неспецифическими эффектами, при этом необходимо обязательное использование уравнения расчета суммарного риска для всех примесей, являющихся потенциальными токсикантами хронического действия.

При установлении величины потенциального риска немедленного действия в качестве эффекта оценивается вероятность появления рефлекторных реакций.

Для прогнозирования риска возникновения рефлекторных эффектов при загрязнении атмосферного воздуха применяют следующие формулы:

$$\text{Prob} = -9,15 + 11,66 \times \lg(C_i/\text{ПДК}),$$

$$\text{Prob} = -5,51 + 7,49 \times \lg(C_i/\text{ПДК}),$$

$$\text{Prob} = -1,41 + 2,33 \times \lg(C_i/\text{ПДК}),$$

$$\text{Prob} = -2,35 + 3,73 \times \lg(C_i/\text{ПДК}),$$

где  $C_i$  – концентрация воздействующего загрязняющего вещества;  
ПДК – максимальная разовая предельно допустимая концентрация;  
Prob – величина, связанная с риском по закону нормального вероятностного распределения.

Пробиты и вероятность связаны интегралом:

$$\text{Risk} = (1/\sqrt{(2\pi)}) \int_{-\infty}^{\text{Prob}} e^{-t^2/2} dt$$

Расчет эффектов, связанных с длительным воздействием веществ, загрязняющих атмосферный воздух, проводился с использованием информации об их осредненных концентрациях.

Оценки риска неспецифических хронических эффектов при загрязнении атмосферного воздуха проводилась с использованием формулы:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(\ln(0,84) \times (C / \text{ПДК}_{\text{с.с.}})^b / k_3),$$

где Risk – вероятность развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в заданных условиях;

C – среднесуточная концентрация загрязняющего вещества;

ПДК – среднесуточная предельно допустимая концентрация;

$k_3$  – коэффициент запаса (1 класс – 7,5; 2 класс – 6,0; 3 класс – 4,5; 4 класс – 3);

b – значения коэффициента в зависимости от класса опасности загрязняющего вещества: 1 класс – 2,35; 2 класс – 1,28; 3 класс – 1,00 и 4 класс – 0,87.

В таблице представлены критерии риска для здоровья и токсиколого-гигиеническая характеристика химических веществ, в отношении которых рассчитывались максимальные приземные концентрации и величины которых свидетельствуют о необходимости проведения расчетов риска здоровью населения:

| Загрязняющее вещество   | Класс опасности | Лимитирующий показатель вредности | Референтная концентрация при кратковременном воздействии (мг/м <sup>3</sup> ) | Референтная концентрация при хроническом воздействии (мг/м <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|-----------------------------------|---|---|
| Твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) | 3               | рез.                              | 0,30  | 0,15  |
| Твердые частицы фракции до 10 мкм (PM <sub>10</sub> )           | 3               | рез.                              | 0,15  | 0,05  |
| Сера диоксид  | 3               | рефл.-рез.                        | 0,50  | 0,20  |
| Углерод оксид (окись углерода, угарный газ)                     | 4               | рез.                              | 5,00  | 3,00  |
| Азот (IV) оксид (азота диоксид)                                 | 2               | рефл.-рез.                        | 0,25  | 0,10  |
| Фенол (гидроксибензол)  | 2               | рефл.-рез.                        | 0,01  | 0,007   |
| Аммиак  | 4               | рефл.-рез.                        | 0,20  | –   |
| Формальдегид (метаналь)   | 2               | рефл.-рез.                        | 0,03  | 0,012   |
| Свинец и его неорганические соединения                          | 1               | рез.                              | 0,001   | 0,0003  |
| Кадмий и его соединения   | 1               | рез.                              | 0,003   | 0,001   |
| Сероводород   | 2               | рефл.                             | 0,008   | –   |
| Бензол  | 2               | рез.                              | 0,1   | 0,04  |



Результаты расчета среднесуточного поступления (твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль), PM<sub>10</sub>, серы диоксид, углерод оксид (окись углерода, угарный газ), азот (IV) оксид (азота диоксид), фенол)

|              |     | Среднесуточное хроническое поступление (мг/кг × сут): |                  |              |               |                 |          |
|--------------|-----|---|------------------|--------------|---------------|-----------------|----------|
|              |     | Твердые частицы                                       | PM <sub>10</sub> | Сера диоксид | Углерод оксид | Азот (IV) оксид | Фенол    |
| Территория 1 | m   | 2,98E-06  | 3,67E-06         | 7,59E-12     | 5,16E-04      | 1,29E-29        | 4,78E-21 |
|              | δ   | 1,85E-10  | 1,37E-13         | 2,03E-20     | 1,86E-06      | 4,01E-43        | 7,83E-52 |
|              | 95% | 4,48E-05  | 4,62E-05         | 2,36E-10     | 1,76E-03      | 1,98E-24        | 1,03E-17 |
|              | ДИ  | 1,69E-08  | 3,68E-08         | 2,91E-14     | 5,79E-05      | 1,47E-38        | 4,56E-26 |
| Территория 2 | m   | 1,84E-06  | 2,60E-06         | 6,99E-12     | 4,81E-04      | 1,02E-31        | 5,94E-22 |
|              | δ   | 4,11E-12  | 5,84E-15         | 2,59E-21     | 6,73E-07      | 3,43E-66        | 4,55E-68 |
|              | 95% | 8,90E-06  | 3,74E-05         | 2,23E-10     | 1,69E-03      | 9,45E-26        | 2,34E-18 |
|              | ДИ  | 2,15E-07  | 1,79E-08         | 2,50E-14     | 5,00E-05      | 7,24E-43        | 1,39E-27 |
| Территория 3 | m   | 6,37E-06  | 5,27E-06         | 8,90E-12     | 4,70E-04      | 1,48E-30        | 2,18E-22 |
|              | δ   | 1,19E-11  | 1,28E-11         | 9,70E-20     | 2,85E-07      | 4,23E-57        | 2,2E-103 |
|              | 95% | 1,82E-05  | 1,50E-05         | 4,34E-11     | 7,99E-04      | 2,65E-28        | 3,85E-20 |
|              | ДИ  | 1,74E-06  | 1,45E-06         | 1,30E-12     | 2,45E-04      | 2,71E-33        | 3,21E-25 |
| Территория 4 | m   | 5,02E-06  | 2,95E-06         | 1,10E-11     | 5,08E-04      | 5,96E-31        | 3,06E-22 |
|              | δ   | 4,65E-13  | 1,28E-11         | 9,70E-20     | 2,85E-07      | 4,23E-57        | 2,2E-103 |
|              | 95% | 1,31E-05  | 8,11E-06         | 4,27E-11     | 8,00E-04      | 6,42E-29        | 2,57E-20 |
|              | ДИ  | 1,58E-06  | 8,65E-07         | 2,21E-12     | 2,96E-04      | 2,28E-33        | 1,19E-24 |
| Территория 5 | m   | 3,30E-06  | 3,62E-06         | 7,87E-12     | 4,82E-04      | 2,11E-29        | 1,54E-22 |
|              | δ   | 8,77E-12  | 2,16E-11         | 5,72E-20     | 2,43E-06      | 1,73E-47        | 2,36E-47 |
|              | 95% | 6,20E-06  | 1,06E-05         | 1,60E-11     | 6,42E-04      | 6,93E-27        | 5,94E-22 |
|              | ДИ  | 1,62E-06  | 9,67E-07         | 3,63E-12     | 3,50E-04      | 1,45E-32        | 3,70E-23 |
| Территория 6 | m   | 2,46E-06  | 9,29E-06         | 3,52E-11     | 1,48E-03      | 3,88E-24        | 1,04E-18 |
|              | δ   | 1,34E-08  | 1,15E-11         | 2,15E-17     | 2,62E-05      | 3,55E-33        | 6,59E-37 |
|              | 95% | 3,23E-06  | 3,18E-05         | 3,80E-11     | 2,10E-03      | 8,69E-23        | 1,67E-17 |
|              | ДИ  | 1,85E-06  | 1,88E-06         | 3,26E-11     | 9,88E-04      | 1,12E-25        | 4,25E-20 |

Результаты расчета среднесуточного поступления (рефлекторного) действия (аммиак, формальдегид, свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец), кадмий и его соединения (в пересчете на кадмий), сероводород, бензол)

|              |     | Среднесуточное хроническое поступление (мг/кг × сут): |              |  |                         |             |          |
|--------------|-----|---|--------------|--|-------------------------|-------------|----------|
|              |     | Аммиак  | Формальдегид | Свинец и его неорганические соединения | Кадмий и его соединения | Сероводород | Бензол   |
| Территория 1 | m   | 3,39E-03  | 8,24E-13     | 9,15E-160                              | 0,00E+00                | 5,62E-19    | 5,29E-56 |
|              | δ   | 1,10E-07  | 2,20E-45     | 6,92E-138                              | 0,00E+00                | 2,08E-125   | 1,51E-73 |
|              | 95% | 7,06E-03  | 3,54E-10     | 7,32E-119                              | 1,05E-278               | 1,46E-15    | 5,24E-45 |
|              | ДИ  | 1,16E-03  | 4,95E-17     | –                                      | 0,00E+00                | 2,21E-24    | 1,28E-84 |
| Территория 2 | m   | 3,33E-03  | 3,12E-13     | 9,15E-160                              | 0,00E+00                | 6,21E-19    | 1,18E-58 |
|              | δ   | 1,20E-07  | 3,87E-46     | 9,40E-171                              | 0,00E+00                | 4,81E-144   | 8,10E-96 |
|              | 95% | 6,97E-03  | 1,87E-10     | 7,32E-119                              | 8,59E-284               | 1,52E-15    | 2,22E-46 |
|              | ДИ  | 1,13E-03  | 9,25E-18     | –                                      | 0,00E+00                | 2,45E-24    | 5,96E-97 |
| Территория 3 | m   | 3,22E-03  | 2,96E-13     | 9,15E-160                              | 0,00E+00                | 5,62E-19    | 3,83E-54 |
|              | δ   | 2,06E-06  | 5,16E-58     | 9,20E-151                              | 0,00E+00                | 3,70E-119   | 4,72E-69 |
|              | 95% | 5,44E-03  | 1,40E-11     | 2,33E-168                              | 2,78E-289               | 6,01E-17    | 4,80E-51 |
|              | ДИ  | 1,64E-03  | 1,97E-15     | 9,40E-171                              | 0,00E+00                | 1,29E-21    | 7,76E-58 |
| Территория 4 | m   | 3,26E-03  | 3,04E-13     | 3,53E-143                              | 0,00E+00                | 6,21E-19    | 1,51E-51 |
|              | δ   | 2,06E-06  | 5,16E-58     | 9,20E-151                              | 0,00E+00                | 3,70E-119   | 4,72E-69 |
|              | 95% | 5,16E-03  | 8,88E-12     | 1,86E-140                              | 3,08E-295               | 3,79E-17    | 3,34E-49 |
|              | ДИ  | 1,84E-03  | 4,28E-15     | 9,20E-151                              | 0,00E+00                | 3,82E-21    | 2,80E-54 |
| Территория 5 | m   | 2,49E-03  | 2,00E-13     | 2,31E-121                              | 0,00E+00                | 6,21E-19    | 1,55E-58 |
|              | δ   | 1,56E-06  | 1,79E-53     | 3,74E-139                              | 0,00E+00                | 1,13E-11    | 4,48E-70 |
|              | 95% | 3,07E-03  | 1,10E-12     | 1,50E-113                              | 0,00E+00                | –           | –        |
|              | ДИ  | 1,98E-03  | 2,99E-14     | 6,02E-131                              | 0,00E+00                | –           | –        |
| Территория 6 | m   | 3,13E-03  | 9,11E-13     | 6,02E-131                              | 0,00E+00                | 3,19E-18    | 2,75E-49 |
|              | δ   | 1,69E-06  | 1,65E-51     | 9,20E-151                              | 0,00E+00                | 8,60E-52    | 2,19E-65 |
|              | 95% | 5,05E-03  | 6,40E-12     | –                                      | –                       | –           | –        |
|              | ДИ  | 1,71E-03  | 9,92E-14     | –                                      | –                       | –           | –        |

В результате выполнения этапа задания «Обосновать метод количественной оценки неканцерогенного риска здоровью населения в условиях многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха населенных мест» можно сделать следующие выводы:

в результате расчета, оценки и анализа показателей риска здоровью населения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (фоновые концентрации):

твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль),

PM<sub>10</sub>,

серы диоксид,

углерод оксид (окись углерода, угарный газ),

азот (IV) оксид (азота диоксид),

фенол,

аммиак,

формальдегид,

свинец и его неорганические соединения,

кадмий и его соединения, сероводород,

бензол

при остром и хроническом воздействии значения риска здоровью находятся на уровне «приемлемый» (значение риска до 0,05 долей единицы).

The image features a green background with two large, stylized leaf-like shapes on the left and right sides. These shapes are filled with a gradient from light green to brown and have white outlines. The left shape has several small circles along its left edge, while the right shape has a few small circles along its right edge. In the center of the page, the text "Спасибо за внимание!" is written in a bold, black, sans-serif font.

**Спасибо за внимание!**

*[www.rspch.by](http://www.rspch.by)  
[www.certificate.by](http://www.certificate.by)*