

М.А. Мукашева<sup>1</sup>, В.Д. Суржиков<sup>2</sup>, Д.В. Суржиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан;

<sup>2</sup>Новокузнецкий институт-филиал Кемеровского государственного университета, Россия;

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, Россия  
(E-mail: manara07@mail.ru)

## Оценка экологического риска для населения промышленного центра выбросов в воздушный бассейн предприятия по переработке мрамора

Состояние здоровья популяции существенно меняется под воздействием природных и антропогенных факторов окружающей среды. Основным источником загрязнения окружающей среды являются крупные предприятия металлургии, теплоэнергетики, угольной промышленности, но в ряде случаев локальное воздействие на загрязнение атмосферного воздуха и воды оказывают предприятия местной промышленности. В статье проведена оценка экологического риска, связанного с выбросами в воздушный бассейн загрязняющих веществ предприятием по переработке мрамора, расположенным вблизи жилых кварталов г. Новокузнецка — промышленного центра Западной Сибири. Определен удельный вес каждого компонента эмиссии в атмосферный воздух в индексах опасности. Выявлены риски для здоровья населения, связанные с ингредиентами выбросов предприятия по переработке мрамора: риск хронической интоксикации, канцерогенный риск. Установлен вклад каждого загрязняющего вещества как в риск канцерогенной опасности, так и в неканцерогенном риске. Таким образом, наличие сконцентрированных на ограниченной территории стационарных источников, выбрасывающих взвешенные и токсичные вещества в атмосферу, является фактором загрязнения воздушного бассейна эмиссиями мраморперерабатывающей фабрики, которые оказывают локальное воздействие на формирование общего аэрогенного риска для здоровья населения г. Новокузнецка.

*Ключевые слова:* индекс опасности, риск хронической интоксикации, канцерогенный риск, взвешенные и токсичные вещества.

Состояние здоровья популяции существенно меняется под воздействием природных и антропогенных факторов окружающей среды и биологических особенностей популяции [1]. Среди основных направлений практического использования оценки риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, особое значение имеет ранжирование территорий по уровням загрязнения и опасности для здоровья населения на любом уровне административного деления [2]. Основным источником загрязнения окружающей среды являются крупные предприятия металлургии, теплоэнергетики, угольной промышленности, но в ряде случаев локальное воздействие на загрязнение атмосферного воздуха и воды оказывают предприятия местной (строительной, легкой, пищевой) промышленности. Целью нашего исследования является оценка экологического риска, связанного с выбросами в воздушный бассейн загрязняющих веществ мраморперерабатывающей фабрики, расположенной в Орджоникидзевском районе г. Новокузнецка — центра черной металлургии Западной Сибири. Основной вид деятельности данного предприятия — изготовление изделий из натурального камня для наружной облицовки фасадов, внутренней отделки помещений.

### Материалы и методы

В работе по оценке экологического риска от предприятия по переработке мрамора нами использовался том предельно допустимых выбросов этого промышленного объекта (том ПДВ). Том ПДВ содержит следующие характеристики промышленного предприятия: количество и наименование источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, высота и диаметр этих источников, скорость выхода газозвушной смеси из устья источника, температура отходящих газов, а также масса выбросов каждого из токсичных веществ, выраженная как в тоннах в год, так и в граммах в секунду. Устанавливался удельный вес отдельных источников предприятия в выбросах основных взвешенных и токсичных веществ, а также индекс сравнительной опасности выбросов [3]. Эти показатели позволяют провести идентификацию основных источников опасности и выделить наиболее опасные (приоритетные) вещества для оценки риска.

Оценка риска, связанного с расчетными концентрациями атмосферных примесей, проводилась на основе расчетов максимальных и среднегодовых концентраций с использованием унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог» (вариант «Базовый», версия 3.0). Модель

«Эколог» позволяет рассчитать приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосфере в соответствии с «Методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86)».

Для полного представления о распространении и воздействии примесей, поступающих от предприятия по переработке мрамора в воздушный бассейн города, выбраны контрольные точки в разных районах города. Перечень точек воздействия концентраций, связанных с выбросами рассматриваемого предприятия, приведен в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Координаты точек воздействия концентраций

№ ТВК	Широта (градус и секунды)	Долгота (градус и секунды)	Район города	Микрорайон города
1	53°44' с. ш.	87°07' в. д.	Куйбышевский	Привокзальная площадь
2	53°47' с. ш.	87°20' в. д.	Орджоникидзевский	Белые дома
3	53°46' с. ш.	87°17' в. д.	Орджоникидзевский	Новобайдаевский
4	53°46' с. ш.	87°12' в. д.	Кузнецкий	Площадь Ленина
5	53°45' с. ш.	87°09' в. д.	Центральный	Цирк
6	53°45' с. ш.	87°07' в. д.	Центральный	Драмтеатр
7	53°45' с. ш.	87°05' в. д.	Куйбышевский	Машзавод
8	53°49' с. ш.	87°10' в. д.	Заводской	Берёзка
9	53°53' с. ш.	87°07' в. д.	Новоильинский	Авиаторов

Переход от максимальных расчетных концентраций атмосферных примесей к среднегодовым концентрациям осуществлялся при помощи расчетного блока «Средние», входящего в состав модели «Эколог». Данный расчетный блок служит для определения осредненных за длительный период концентраций загрязняющих веществ. Результатом явились вычисленные для каждой из 9 точек воздействия максимальные и среднегодовые концентрации атмосферных примесей, имплицитированные с выбросами рассматриваемого предприятия.

Для расчета эффектов, связанных с длительным (хроническим) воздействием веществ, загрязняющих воздух, использовалась информация об их среднегодовых концентрациях. В случае экспериментального обоснования нормативов предельного содержания вредных примесей в атмосферном воздухе по эффекту хронического воздействия математическая обработка результатов строится по принципу определения зависимости «концентрация–время–эффект». При нормировании примесей атмосферного воздуха принимались значения коэффициента запаса ( $K_3$ ) в зависимости от класса опасности: для веществ 1 класса — на уровне 7,5; 2 класса — 6; 3 класса — 4,5 и 4 класса — 3. При хроническом воздействии примеси на уровне пороговой концентрации (дозы) риск проявления неспецифических токсических эффектов составляет 16 % (или 0,16, если его выражать в долях единицы) [4]. Уравнение расчета риска хронической интоксикации имеет вид

$$R = 1 - \exp(\ln(0,84) \times C / (\text{ПДК} \times K_3)),$$

где  $C$  — среднегодовая концентрация вещества, оказывающая воздействие на организм человека.

Для оценки риска комбинированного действия нескольких загрязнителей в соответствии с правилом умножения вероятностей применяется формула, где в качестве множителя выступают не величины риска здоровью, а значения, характеризующие вероятность его отсутствия:

$$R_{\text{сум}} = 1 - (1-R_1) \times (1-R_2) \times (1-R_3) \times \dots \times (1-R_n),$$

где  $R_{\text{сум}}$  — риск комбинированного действия примесей;  $R_1 \dots R_n$  — риск действия каждой отдельной примеси.

Коэффициенты опасности концентраций рассчитывались отдельно по каждому веществу в каждой расчетной точке. Коэффициент опасности представляет собой кратность референтной концентрации для острого или хронического воздействия от максимальной или среднегодовой расчетной концентрации токсичного вещества в приземном слое воздуха. Индекс опасности является суммой коэффициентов опасности от отдельных загрязняющих веществ. Канцерогенный риск устанавливался как дополнительный, по сравнению с фоном, риск для индивидуума заболеть раком в течение жизни при воздействии ингредиентов эмиссий предприятия по переработке мрамора. Расчет индивидуального ингаляционного канцерогенного риска осуществлялся в зависимости от следующих параметров: среднегодовая расчетная концентрация канцерогенного вещества в приземном слое воздуха, суточ-

ный объем дыхания и вес тела среднестатистического индивидуума, фактор-потенциал канцерогенного эффекта.

### Результаты исследования

Проведена идентификация опасности выбросов в воздушный бассейн от мраморперерабатывающей фабрики. На территории рассматриваемого предприятия расположено 6 организованных стационарных источников выбросов. Данные источники эмиссий характеризуются следующими параметрами: высота источника — от 3,2 м до 11 м; диаметр источника — от 0,6 м до 3,0 м; скорость выхода газовой смеси из устья — 1,5 м/с; температура отходящей газовой смеси — 25 °С. Опасная скорость ветра по всем источникам выбросов мраморперерабатывающей фабрики составила 2,8 м/с. Суммарная валовая эмиссия в воздушный бассейн города, связанная с функционированием предприятия, составляет 655,0 кг/год (по организованным источникам), в том числе взвешенных веществ с содержанием диоксида кремния менее 20 % — 440,0 кг/год, пыли неорганической (содержание SiO<sub>2</sub> — 20–70 %) — 172,0 кг/год. Показатель удельной эмиссии взвешенных веществ составляет 0,072 г/с; пыли неорганической — 0,255 г/с; оксида углерода — 0,127 г/с; бензина — 0,016 г/с. Суммарный индекс опасности выбросов мраморперерабатывающей фабрики определен как 481,6. Данное безразмерное значение возможно сравнивать с аналогичными индексами, полученными для фабрик аналогичного типа, расположенных на других территориях и оснащенных отличными от рассматриваемого предприятия промышленным оборудованием и системами пыле- и газоочистки. Удельный вес взвешенных веществ в суммарном индексе опасности составляет 43,16 %; марганца — 34,29 %; пыли неорганической — 21,94 %. Удельный вес каждого из оставшихся компонентов эмиссий мраморперерабатывающей фабрики не превышает 1 %.

Установлен риск хронической интоксикации, имплицированный с выбросами в воздушный бассейн г. Новокузнецка стационарными источниками предприятия по переработке мрамора (табл. 2). Оценка риска хронической интоксикации проводится исходя из априорного утверждения о том, что человек в напряженной экологической ситуации под действием химических загрязнений чувствует себя дискомфортно и при этом включается его адаптационно-приспособительный механизм. Длительное напряжение этого механизма ведет к появлению стрессорных реакций, увеличению содержания свободных радикалов в организме и, в итоге, к возникновению того или иного патологического состояния хронического характера.

Таблица 2

#### Риск хронической интоксикации по точкам воздействия (доли единицы)

Примесь	Точки воздействия концентраций								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дижелеза триоксид	4,90× 10 <sup>-7</sup>	2,14× 10 <sup>-6</sup>	2,84× 10 <sup>-6</sup>	8,59× 10 <sup>-7</sup>	5,8× 10 <sup>-7</sup>	5,06× 10 <sup>-7</sup>	4,39× 10 <sup>-7</sup>	5,72× 10 <sup>-7</sup>	3,35× 10 <sup>-7</sup>
Марганец	2,94× 10 <sup>-7</sup>	1,28× 10 <sup>-6</sup>	1,71× 10 <sup>-6</sup>	5,15× 10 <sup>-7</sup>	3,48× 10 <sup>-7</sup>	3,03× 10 <sup>-7</sup>	2,63× 10 <sup>-7</sup>	3,43× 10 <sup>-7</sup>	2,01× 10 <sup>-7</sup>
Фтористый водород	2,94× 10 <sup>-8</sup>	1,28× 10 <sup>-7</sup>	1,71× 10 <sup>-7</sup>	5,15× 10 <sup>-8</sup>	3,48× 10 <sup>-8</sup>	3,03× 10 <sup>-8</sup>	2,63× 10 <sup>-8</sup>	3,43× 10 <sup>-8</sup>	2,01× 10 <sup>-8</sup>
Оксид азота	5,10× 10 <sup>-6</sup>	2,44× 10 <sup>-5</sup>	3,37× 10 <sup>-5</sup>	9,14× 10 <sup>-6</sup>	5,86× 10 <sup>-6</sup>	5,28× 10 <sup>-6</sup>	4,56× 10 <sup>-6</sup>	5,99× 10 <sup>-6</sup>	3,46× 10 <sup>-6</sup>
Диоксид серы	1,12× 10 <sup>-8</sup>	5,37× 10 <sup>-8</sup>	7,42× 10 <sup>-8</sup>	2,01× 10 <sup>-8</sup>	1,29× 10 <sup>-8</sup>	1,16× 10 <sup>-8</sup>	1,00× 10 <sup>-8</sup>	1,32× 10 <sup>-8</sup>	7,61× 10 <sup>-9</sup>
Оксид углерода	1,07× 10 <sup>-6</sup>	5,12× 10 <sup>-6</sup>	7,07× 10 <sup>-6</sup>	1,92× 10 <sup>-6</sup>	1,23× 10 <sup>-6</sup>	1,11× 10 <sup>-6</sup>	9,56× 10 <sup>-7</sup>	1,26× 10 <sup>-6</sup>	7,25× 10 <sup>-7</sup>
Бензин	1,35× 10 <sup>-7</sup>	6,44× 10 <sup>-7</sup>	8,90× 10 <sup>-7</sup>	2,41× 10 <sup>-7</sup>	1,55× 10 <sup>-7</sup>	1,39× 10 <sup>-7</sup>	1,20× 10 <sup>-7</sup>	1,58× 10 <sup>-7</sup>	9,13× 10 <sup>-8</sup>
Взвешенные вещества	8,22× 10 <sup>-7</sup>	1,23× 10 <sup>-5</sup>	1,64× 10 <sup>-5</sup>	4,95× 10 <sup>-6</sup>	3,34× 10 <sup>-6</sup>	2,91× 10 <sup>-6</sup>	2,53× 10 <sup>-6</sup>	3,29× 10 <sup>-6</sup>	1,93× 10 <sup>-6</sup>
Пыль неорганическая	2,00× 10 <sup>-6</sup>	4,70× 10 <sup>-5</sup>	6,26× 10 <sup>-5</sup>	1,66× 10 <sup>-5</sup>	1,28× 10 <sup>-5</sup>	1,11× 10 <sup>-5</sup>	9,65× 10 <sup>-6</sup>	1,26× 10 <sup>-5</sup>	7,36× 10 <sup>-6</sup>
Суммарно	9,95× 10 <sup>-6</sup>	9,31× 10 <sup>-5</sup>	1,25× 10 <sup>-4</sup>	3,42× 10 <sup>-5</sup>	2,43× 10 <sup>-5</sup>	2,14× 10 <sup>-5</sup>	1,85× 10 <sup>-5</sup>	2,42× 10 <sup>-5</sup>	1,41× 10 <sup>-5</sup>

Суммарное значение риска хронической интоксикации, связанного с эмиссиями от мраморперерабатывающей фабрики, определено в пределах от  $9,95 \times 10^{-6}$  до  $1,25 \times 10^{-4}$  (в зависимости от зоны воздействия на территории города). Максимальные значения риска регистрируются в ТВК № 3 ( $1,25 \times 10^{-4}$ ), расположенной в Новобайдаевском микрорайоне города, и в ТВК № 2 ( $9,31 \times 10^{-5}$ ) — в Орджоникидзевском районе. Минимальные значения отмечаются в ТВК № 1 ( $9,95 \times 10^{-6}$ ) — Куйбышевский район; в ТВК № 9 ( $1,41 \times 10^{-5}$ ) — Новоильинский район. В формировании риска хронической интоксикации для населения г. Новокузнецка от выбросов рассматриваемого предприятия наибольшую опасность представляет пыль неорганическая — с концентрацией от 20,07 % до 62,31 % (в зависимости от зоны воздействия). Показатель оксида азота — от 13,43 % до 51,27 %; взвешенных веществ — 8,27–16,35 %; оксида углерода — 2,82–10,75 %; марганца — 1,36–2,95 %.

Индекс опасности концентраций, индуцируемых выбросами предприятия по переработке мрамора, по точкам воздействия установлен в пределах от  $2,68 \times 10^{-4}$  до  $2,6 \times 10^{-3}$ ; значения индекса не превышают приемлемого уровня, равного 1. Наиболее критическими органами и системами организма человека, подверженными воздействию взвешенных и токсичных компонентов выбросов, являются органы дыхания (индекс опасности  $2,68 \times 10^{-4}$ – $2,6 \times 10^{-3}$ ), иммунная система (индекс опасности  $1,52 \times 10^{-4}$ – $1,91 \times 10^{-3}$ ), центральная нервная система ( $9,77 \times 10^{-5}$ – $5,69 \times 10^{-4}$ ), кровеносная система ( $1,88 \times 10^{-5}$ – $1,24 \times 10^{-4}$ ).

В отличие от химических веществ, оказывающих общетоксическое действие, оценка риска воздействия канцерогенов не может базироваться на величинах пороговых доз и концентраций. Считается, что даже небольшое число молекул химического соединения способно вызвать изменения в единичной клетке с последующей неконтролируемой клеточной пролиферацией и развитием в отдельный период после воздействия клинических признаков злокачественных новообразований. Значения индивидуального ингаляционного канцерогенного риска, имплицированного с выбросами бензина стационарными источниками мраморперерабатывающей фабрики, для населения г. Новокузнецка приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Пожизненный канцерогенный риск (доли единицы)

Примесь	Точки воздействия концентраций								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бензин	$9,19 \times 10^{-10}$	$4,40 \times 10^{-9}$	$6,07 \times 10^{-9}$	$1,65 \times 10^{-9}$	$1,06 \times 10^{-9}$	$9,51 \times 10^{-10}$	$8,21 \times 10^{-10}$	$1,08 \times 10^{-9}$	$6,23 \times 10^{-10}$

Канцерогенный риск в контрольных точках составил значения в пределах от  $6,23 \times 10^{-10}$  до  $6,07 \times 10^{-9}$ . Максимальный уровень риска отмечается в ТВК № 3 (Новобайдаевский микрорайон) и ТВК № 2 (Орджоникидзевский район); минимальный уровень — в ТВК № 9 (Новоильинский район).

Таким образом, наличие сконцентрированных на ограниченной территории стационарных источников, выбрасывающих взвешенные и токсичные вещества в атмосферу, является фактором загрязнения воздушного бассейна эмиссиями мраморперерабатывающей фабрики, которые оказывают локальное воздействие на формирование общего аэрогенного риска для здоровья населения г. Новокузнецка. С учетом загрязненности г. Новокузнецка складывается ситуация, когда существующие риски для здоровья высоки, а выгоды от начального сокращения риска превышают затраты на их достижение.

### Список литературы

- 1 Прусакова А.В., Прусаков В.М. Оценка региональных особенностей популяционного здоровья с применением показателя риска // Приоритеты профилактического здравоохранения в устойчивом развитии общества: состояние и пути решения проблем: Материалы Пленума Научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РФ. — М., 2013. — С. 296–298.
- 2 Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С. и др. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многосредовом воздействии химических веществ // Гигиена и санитария. — 2015. — № 2. — С. 88–92.
- 3 Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. — М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. — 408 с.
- 4 Щербо А.П., Киселев А.В., Негриенко К.В. и др. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска. — СПб.: СПбМАПО, 2002. — 376 с.

М.А. Мукашева, В.Д. Суржигов, Д.В. Суржигов

## Мәрмәр өңдеу кәсіпорының ауа бассейніне шығарындыларын өнеркәсіптік орталық тұрғындары үшін тәуекел дәрежесін бағалау

Қоршаған ортаның табиғи және антропогенді факторлары әсерінен адам денсаулығына нұқсан келеді. Қоршаған орта ластанудың негізгі көзі металлургия, жылу энергетика, көмір кәсіпорындары болып табылады. Сонымен қатар жергілікті өндіріс мекемелері де атмосфералық ауа мен ауды ластауға ықпал етеді. Мақалада Новокузнецк қаласында Батыс Сібірдің тұрғын аудандары индустриялық орталығына жақын орналасқан мәрмәр өңдеу кәсіпорындары ластаушы заттардың ауаға шығарындыларына байланысты экологиялық тәуекел дәрежесі бағаланды. Қауіп көрсеткіштерінің ауаға шығарындылар әрбір компонентінің нақты салмағын анықтау арқылы орнатылған шығарындылары қауіп индекстері белгілі болды. Созылмалы уыттылық және канцерогенді қауіпін: өңдеу мәрмәр кәсіпорын шығарындыларын құраушыларға байланысты Новокузнецк тұрғындары денсаулығына зияны зерттелді. Канцерогенді қауіп тәуекелінде әрбір ластауыштың үлесі есептеліп, канцерогенді емес тәуекелі де анықталған. Сонымен, мәрмәр өңдеу фабрикасының әрекеті нәтижесіндегі ауа бассейніне улы заттарды шығару, сондай-ақ белгілі бір аумақта шоғырланған стационарлы ластану көздері Новокузнецк қаласы тұрғындары денсаулығына жалпы аэрогенді қауіп қалыптастырып, төндіруші локальді әсер етеді.

*Кілт сөздер:* қауіптілік индексі, созылмалы улану тәуекелі, онкологиялық тәуекел, сараланған және улы заттар.

M.A. Mukasheva, V.D. Surzhikov, D.V. Surzhikov

## Environmental risk assessment for the population of the industrial of center emissions in the of air pool of the enterprise for processing marble

The health status of the population changes significantly under the influence of natural and anthropogenic factors of the environment. The main source of environmental pollution are large enterprises of metallurgy, heat and power engineering, coal industry, but in some cases local industry has a local impact on air and water pollution. In article spent an assessment of environmental risk associated with emissions into the air of pollutants now processing marble, located close to residential areas in Novokuznetsk — industrial center of Western Siberia. Installed emissions danger indices with the definition of the specific weight of each component of the emissions into the air in the indices of danger. Determined the risk to public health, associated with the ingredients of the enterprise emissions on processing marble: the risk of chronic toxicity, carcinogenic risk. Established the contribution of each pollutant in the risk of carcinogenic danger, and in no carcinogenic risk. Thus, the presence of stationary sources that concentrate suspended matter and toxic substances into the atmosphere concentrated in a limited area is a factor of pollution of the air basin by emissions from the marble processing plant that have a local effect on the formation of a common aerogenic risk to the health of the population of Novokuznetsk.

*Keywords:* the danger index, chronic intoxication risk, cancer risk, weighted and toxic substances.

### References

- 1 Prusakova A.V., Prusakov B.M. *Priorities Preventive Health in the sustainable development of society: state and ways of solving problems: Proceedings of the Plenum of the Scientific Council for Human Ecology and Environmental Health of the RF environment*, Moscow, 2013, p. 296–298.
- 2 Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S. et al. *Hygiene and sanitation*, 2015, 2, p. 88–92.
- 3 Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rahmanin Yu.A. et al. *Based on risk assessment to human health when exposed to chemicals that pollute the environment*, Moscow: Research Institute ECH and CRP, 2002, 408 p.
- 4 Shcherbo A.P., Kiselev A.V., Negrienko K.V. et al. *Environment and health: approaches to risk assessment*, Saint Petersburg: MAPS, 2002, 376 p.