
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТИВНОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ Г. УСТЬ-КАМЕНОГОРСКА ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

А.И. Тасмагамбетова¹, О.В. Меньшикова²,
В.В. Меньшиков³

¹Казахский государственный университет им. аль-Фараби (КазГУ)
проспект аль-Фараби, 71, Алма-Ата, Казахстан, 480078

²МГУ им. М.В. Ломоносова
Воробьевы горы, 1, Москва, Россия, 119991

³Академия МНЭПУ
ул. Космонавта Волкова, 20, Москва, Россия, 127299

Представлены разработки наиболее подходящих математических моделей, описывающих химические превращения загрязняющих веществ в атмосфере. Показано применение методологии оценки риска для анализа благополучия территории. В качестве примера рассмотрен промышленный район города Усть-Каменогорск, сосредоточивший множество химических и энергетических производств. Показано применение компьютерных программ анализа и прогноза уровня загрязнения окружающей среды в данном регионе на основе методологии риск-анализа.

Ключевые слова: Усть-Каменогорск, оценка риска, регион, выбросы, моделирование.

Сложившаяся в последнее время напряженная экологическая ситуация во многих регионах России представляет собой серьезную угрозу для здоровья населения. Анализ этой ситуации показывает, что трудности, существующие на пути улучшения качества окружающей среды и создания оптимальных условий проживания людей, возникают не только из-за отсутствия необходимого финансирования, но и вследствие недостаточной обоснованности природоохранных мероприятий, разрабатываемых без четких количественных критериев потенциального и реального ущерба для здоровья человека.

За рубежом решение большинства задач такого рода проводится на основе единой методологии количественной оценки риска [1]. Подход на основе методологии риска как некоторой количественной оценки особенно важен на региональном уровне, в первую очередь для регионов, где сосредоточен значительный потенциал опасных производств и объектов в сочетании со сложной социально-политической обстановкой и недостаточным финансированием.

В большинстве регионов, как правило, известны наиболее опасные объекты или источники опасности для населения и окружающей среды. Однако и в этом случае вопрос о мере той опасности, которую они представляют при прогнозировании последствий для населения и окружающей среды в случае наступления аварий и катастроф даже при нормальном функционировании таких объектов, остается нерешенным. Научные исследования сегодня не дают ответа, до какой степени следует снижать потенциальную опасность (или повышать безопасность) и сколько для этих целей следует израсходовать средств.

Применение методов анализа риска в области защиты окружающей среды имеет целью:

— обеспечить сравнимость уровней и методов защиты населения и природы по отношению к источникам опасности различной природы;

— установить приоритеты и пути решения проблем снижения риска.

В связи с этим могут быть важны такие аспекты, как преднамеренные или случайные воздействия, возможные выгоды, возникающие при потенциально опасной деятельности, понимание природы опасностей.

Помочь сделать риск более пригодным для сравнения и простым для понимания как его величины, так и происхождения может процедура оценки риска.

Методология анализа риска воздействия вредных факторов окружающей среды на здоровье населения является новым, относительно молодым, но интенсивно развиваемым во всем мире междисциплинарным научным направлением. Принципиальные положения этой методологии, заключающиеся, в частности, в выделении в единый процесс принятия решений по оценке риска и управления им, сформулированы в США в начале 1980-х гг.

Процедура анализа риска для региона включает в себя следующие этапы [3]:

1) создание базы данных для изучаемого региона, в которую входит информация о географии региона, метеорологии, топологии, инфраструктуре, распределении населения и демографии, расположении промышленных и иных потенциально опасных производств и объектов, основных транспортных потоках, хранилищах промышленных и бытовых отходов и т.д.;

2) идентификация и инвентаризация опасных видов хозяйственной деятельности, выделение приоритетных объектов для дальнейшего анализа;

3) количественная оценка риска для окружающей среды и здоровья населения, включающая количественный анализ воздействия опасностей в течение всего срока эксплуатации предприятия с учетом риска возникновения аварийных выбросов опасных веществ; анализ воздействия опасных отходов; анализ риска при транспортировке опасных веществ, анализ риска закрытия и ликвидации предприятия;

4) формулировка интегральных стратегий управления и разработка оперативных планов действий, включающая: оптимизацию затрат на обеспечение промышленной безопасности; определение очередности осуществления организационных мероприятий по повышению устойчивости функционирования и снижения экологического риска при нормальной эксплуатации объектов региона, а также в чрезвычайных ситуациях.

Система управления риском должна содержать технические, оперативные, организационные и топографические элементы.

Оценка риска в общем виде подразумевает процесс идентификации, оценки и прогнозирования негативного воздействия на окружающую среду и/или здоровье и благосостояние людей в результате функционирования промышленных и иных производств и объектов, которые могут представлять опасность для населения и окружающей среды. Так, согласно определению Национальной академии наук США [1], оценка риска для здоровья — это использование доступной

научной информации и научно обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека. При этом подчеркивается, что риск для здоровья человека, связанный с загрязнением окружающей среды, возникает при следующих необходимых и достаточных условиях, которые образуют в совокупности реальную угрозу или опасность для здоровья человека:

— существование самого источника риска (токсичного вещества в объектах окружающей среды или продуктах питания);

— наличие технологического процесса, предусматривающего использование вредных веществ и т.п.);

— присутствие данного источника риска в определенной, вредной для человека дозе;

— подверженность населения воздействию упомянутой дозы токсичного вещества.

Исходя из такой структуризации самого риска, выделяются основные элементы процедуры его оценки, которые подразделяются на четыре стадии (фазы):

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка воздействующих доз (экспозиции);
- 3) оценка зависимости «доза — эффект (ответ)»;
- 4) характеристика риска.

Так как в настоящее время не существует возможности проведения достаточно полной оценки рисков для всех загрязняющих веществ, присутствующих в исследуемом регионе вследствие огромного объема необходимых аналитических исследований и отсутствия адекватных данных о количественных уровнях риска для многих токсичных веществ, вполне оправданным являлось снижение числа учитываемых факторов путем отбора ограниченного числа веществ, которые в наибольшей степени определяют существующие риски для здоровья населения в данной местности.

Для оптимизации этого процесса предварительно были разработаны критерийные основы и подготовлена компьютеризованная база данных, позволяющая не только отбирать из всего многообразия химического загрязнения приоритетные в гигиеническом отношении факторы, но и обосновывать принципы исключения химических веществ из числа приоритетных. С учетом этого составлялся перечень приоритетных веществ с указанием приоритетных сред и путей поступления. Такой подход на конечном этапе характеристики риска позволял быть достаточно уверенными, что не упущен любой фактор с высокой степенью опасности для здоровья, выявленный на исследуемой территории.

Сложности оценки риска были обусловлены также имеющейся качественной и количественной информацией о выбросах и сбросах вредных веществ в окружающую среду. Оценивая надежность данных о величинах эмиссий химических веществ, необходимо отметить, что источниками информации о выбросах вредных факторов являются сами предприятия, которые в силу объективных причин имеют тенденцию занижать объемы своих выбросов. Это обстоятельство, также как и несовершенство методов моделирования, позволяет получать приблизительные величины расчетных концентраций, воздействующих на население в точках,

представляющих интерес, и, следовательно, ограничивать качество устанавливаемых характеристик риска. Недостаточность (по качеству и количеству) имеющихся результатов исследований качества разных объектов среды также ограничивает возможности оценки риска.

Рационализация этой информации достигается за счет дополнительных данных аналитических исследований проб воздуха независимых контролирующих организаций на исследуемой территории, использования моделей, позволяющих учесть межсредовые переходы и в целом идентифицировать маршруты воздействия с учетом распространения и судьбы химических веществ в окружающей среде, с окончательным формированием сценариев воздействия, включая определение точек воздействия и населения, подверженного воздействию.

При расчете количественных величин риска особое внимание уделялось оценке канцерогенного риска, так как наиболее практичные и часто используемые процедуры оценки риска разработаны в настоящее время применительно к канцерогенезу и, вследствие того, что любое воздействие канцерогенов, которые считаются беспороговыми агентами, увеличивает риск заболевания раком в течение всей жизни.

В оценку риска обязательно включались вещества, для которых существовала возможность получения количественных характеристик риска развития определенных заболеваний или поражения разных систем организма. При отсутствии таких характеристик анализировалась вся имеющаяся токсикологическая информация, и была создана совокупная база данных, лежащих в основе обоснования референтных уровней (включая критические эффекты для максимальных недействующих и пороговых уровней экспозиции, факторы неопределенности и модифицирующие факторы). С учетом этого рассчитывались индексы опасности превышения референтных доз с характеристикой тех приоритетных эффектов у населения по степени выраженности, которые могут возникать при этом.

Таким образом, границы оценок риска для здоровья включали:

- канцерогенные риски для индивидуальных веществ (индивидуальный риск в течение всей жизни и популяционный в течение года);
- расчет индекса хронической опасности для отдельных веществ;
- суммарный канцерогенный риск для комплекса веществ;
- индекс хронической опасности для совокупности веществ.

В данной работе подробно рассматривается второй этап оценки риска, а именно оценка воздействия.

В целом оценка воздействия включает три основных этапа:

- характеристика окружающей обстановки;
- идентификация маршрутов воздействия и потенциальных путей распространения;
- количественная характеристика экспозиции (оценка воздействующих концентраций и расчет поступления).

Воздействующие концентрации оцениваются с использованием данных мониторинга и/или путем моделирования распространения и поведения химических веществ в окружающей среде. Моделирование поведения и распространения вред-

ных веществ в среде — это процесс количественного определения концентраций химических соединений в среде путем эмпирических или теоретических вычислений. Моделирование может быть использовано как для прогнозирования возможных концентраций веществ в исследуемом объекте окружающей среды в будущем, так и для расчетного определения концентраций в текущий момент времени. Наиболее целесообразно проведение моделирования поведения и распространения химического вещества в окружающей среде при невозможности прямого определения концентрации в среде, при невозможности прямого определения среды в точке потенциального загрязнения для прогнозирования будущих концентраций.

Моделирование чаще всего используют при прогнозировании распространения веществ от различных источников, а также в том случае, если отсутствуют эффективные и приемлемые методы измерения концентраций токсичных веществ, воздействию которых подвергается население и объекты окружающей среды.

В рамках западных подходов к оценке качества окружающей среды исследуется распределение в течение года максимальных часовых концентраций в местах конкретного проживания населения или других важных природных объектов вблизи источника выбросов ЗВ. Этот подход позволяет количественно ответить на вопросы [6]:

- с какой вероятностью может быть превышен предельный уровень концентраций в заданной точке;
- какова будет средняя концентрация в течение года;
- с какой вероятностью можно ожидать превышения предельного уровня концентраций в кратное количество раз.

Моделирование процессов превращения загрязняющих веществ в атмосфере показало, что концентрация их в приземном слое в непосредственной близости (< 1 км) обратно экспоненциально зависит от его высоты. Но на расстоянии более 3 км от источника концентрация уже мало зависит от этого параметра. На положение и на значение максимума концентрации во много влияет устойчивость атмосферы. Для классов А, В, С при вычислении концентрации по оси шлейфа значения максимумов концентраций выше, а положение ближе к источнику, чем для остальных классов устойчивости D, E, F. Концентрация в приземном слое обратно зависит от скорости ветра.

Для нахождения поля среднегодовых концентраций требуется знание метеорологии региона. Вычисление максимума среднегодовой концентрации показало, что он также обратно экспоненциально зависит от высоты источника. Среднее значение среднегодовой концентрации зависит от высоты уже линейно: чем выше труба, тем меньше концентрация [6; 4].

Для более точного определения были изучены несколько схем фотохимических превращений. Из них были выбраны наиболее адекватно и просто описывающие процессы в данном климатическом поясе. Наиболее существенно изменение концентрации за счет химических превращений сказывается при небольших скоростях ветра. Однако вероятность малой скорости ветра в Усть-Каменогорском регионе мала, поэтому для практических целей, к примеру, расчета риска, учет этого фактора не вносит существенных изменений. При вычислении концентра-

ций на расстоянии более 10 км при больших скоростях ветра, вклад фотохимических превращений становится больше, но при этом загрязняющее вещество уже успевает сильно рассеяться в атмосфере. Концентрация на этом расстоянии по сравнению с начальным участком мала, и поэтому различие между результатами подсчета с учетом реакций и без него не заметна. Но для вычисления распределения концентраций продуктов фотохимических превращений использование кинетических схем необходимо. Зависимость значений для оси шлейфа уже иное, и не только значение максимума, но уже и положение его зависит от скорости ветра, чего не было при простом вычислении [3].

Результаты применения алгоритма для сравнительной оценки суммарного риска для здоровья населения г. Усть-Каменогорск. На основании показателей относительного риска при ингаляционном поступлении химических веществ в организм человека (по данным постов мониторинга) одним из ведущих загрязнителей, вносящим максимальный вклад в формирование величины риска от ингаляционного поступления, является сернистый ангидрид и его средний уровень риска, превысит норматив. Суммарный риск кратковременного ингаляционного поступления превышает нормативный уровень на всей территории города и максимальное значение приходится на центральный район.

Районирование города по суммарному риску хронического воздействия можно сделать на основе данных постов мониторинга [5]. Среди веществ вносящих максимальный вклад в формирование данного риска, можно выделить тяжелые металлы Pb, Be, также в районах расположения предприятий 2, 3, 4 высокое значение величины риска определяют мелкодисперсных частиц TSP (P_{10}).

Некоторые результаты моделирования рассеивания и вероятности развития злокачественной патологии у населения рассчитывалось по выбросам ароматических органических соединений на примере бензола.

Уровень дополнительного риска в рассматриваемых районах, находится в допустимых пределах $5 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$, хотя дальнейшие исследования по выбросам сажи с выбранных предприятий может показать довольно значительный уровень риска от содержащегося в ней бенз(а)пирена.

Анализируя влияние выбросов предприятий на общую картину риска региона, получаем следующие значения коллективного риска (табл. 1).

Таблица 1

Коллективный риск от предприятий и веществ города Усть-Каменогорск

Вещество	Предприятие							Σ
	№ 1 — Титано-магниевый комбинат	№ 2 — Свинцово-цинковый комбинат	№ 3 — АО УМЗ	№ 4 — ТЭЦ № 1	№ 5 — ТЭЦ № 2	№ 6 — Конденсаторный завод	№ 7 — Завод минеральной ваты	
NO _x	0	0	0,0438	0,5890	0,0437	0,0029	0,0072	0,6866
SO ₂	0	0,3503	0,0082	0,0882	0,0085	0,0074	0,0117	0,4743
Be	0	0	0,0092	0	0	0	0	0,0092
RH	0	0,0639	0,1132	0	0	0,0854	0	0,2625
Pb	0	0,3621	0,0032	0	0	0,0001	0	0,3654
Пыль	0,0256	0,4976	0,3894	0,9044	0,0693	0,0034	0,0365	1,9262
У	0,0259	1,2818	0,5638	1,5825	0,1215	0,0992	0,0567	3,7314

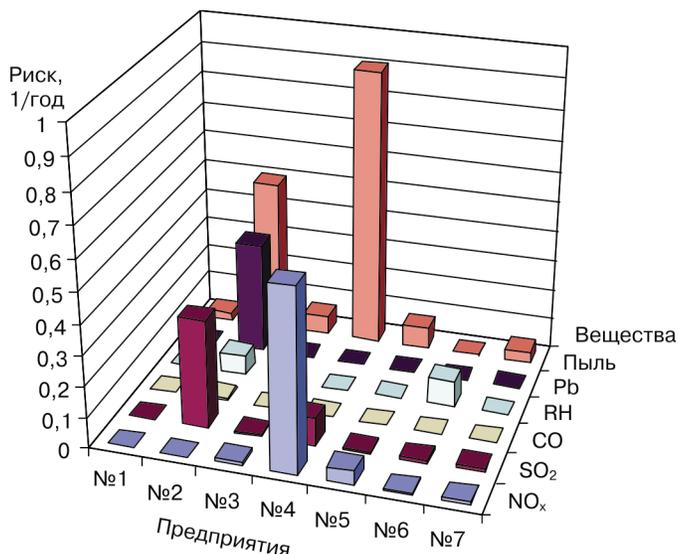


Рис. 1. Распределение вклада в общую картину риска по предприятиям и веществам: 1 — титано-магнийевый комбинат; 2 — свинцово-цинковый комбинат; 3 — АО УМЗ; 4 — ТЭЦ №1; 5 — ТЭЦ №2; 6 — конденсаторный завод; 7 — завод минеральной ваты

Полученные данные на рис. 1 показали, что наибольший вклад ~ 87% вносит ТЭЦ № 1 и Свинцово-цинковый комбинат. Основной вклад из всех компонентов выбросов в коллективный риск для рассматриваемого города вносит пыль, далее NO₂, SO₂, свинец и его соединения. Несмотря на то, что мощность выброса от ТЭЦ № 1 составляет ≈35% от выбросов комбината, вклад его в общий риск на ≈23% больше, что связано с такими параметрами как высота выброса и его местоположением.

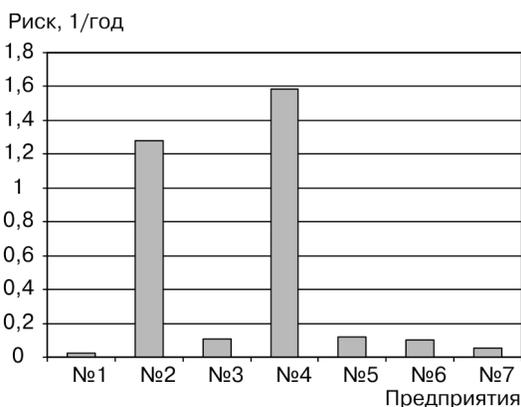


Рис. 2. Распределение коллективного риска по предприятиям

Предприятие № 3 АО «УМЗ» вносит 15% и по вкладу в общее загрязнение. Однако мы должны учитывать, что это предприятие является опасным при аварийных ситуациях из-за участвующих в процессе производства вещества [7]. Наиболее опасным загрязнителем с точки зрения длительного воздействия на человека является мелкодисперсная пыль ~ 49%.

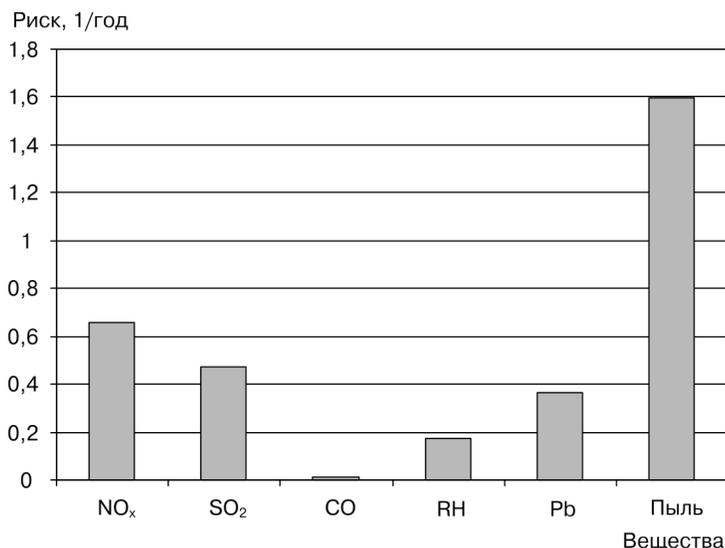


Рис. 3. Распределение коллективного риска по загрязнителям

Существенный вклад в риск для конкретного района на уровне с основными предприятиями города вносят объекты инфраструктуры, находящиеся в непосредственной близости.

Таким образом, в данном исследовании при использовании неполных данных по степени выбросов наиболее активных источников загрязнения территории города выявлены наиболее опасные токсикологические компоненты промышленных выбросов в атмосферный воздух города Усть-Каменогорск, установлен вклад конкретных веществ в суммарную токсикологическую нагрузку атмосферных загрязнителей на население города, проведена сравнительная оценка суммарного риска на здоровье населения всех шести районов. Сопоставление выявленных величин рисков хорошо согласуются с показателями здоровья населения по данным городского центра Госсанэпиднадзора: первое место занимают заболевания органов дыхания, второе — заболевания нервной системы [5]. На основании полученных результатов в дальнейшем будет проведен экономический анализ эффективности программных природоохранных мероприятий на предприятиях по снижению риска для здоровья населения от выбросов пыли на исследуемой территории. Наиболее действенными в данном случае будут технологические решения, за счет которых достигаются преимущественное снижение загрязнения в источнике его возникновения.

Общий итог научно-методического совершенствования и практического внедрения международно признанной методологии оценки риска состоит в том, что данная методология по праву стала системообразующим элементом социально-гигиенического мониторинга и предлагаемый подход оценки позволяет получить корректные результаты, которые понятны как населению, так и лицам, принимающим решения [3].

Понимая, что конкретные численные значения риска, установленные в результате настоящей работы, имеют относительный характер и могут рассматриваться только с учетом всех факторов неопределенности, выявленных при выпол-

нении исследования, а также многих неучтенных факторов, влияющих на качество окончательных оценок, тем не менее отметим, что полученные значения риска отражают количественные характеристики потенциального ущерба здоровью от воздействия различных химических веществ на исследуемой территории и тенденции его формирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Авилиани С.Л. и др.* Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). — М.: ЦОП RCI, 1997.
- [2] *Меньшиков В.В., Швыряев А.А.* Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2004.
- [3] *Онищенко Г.Г. и др.* Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Под ред. Ю.А. Рахманина. — М.: НИИИЭЧ и ГОЧС, 2002.
- [4] *Самакова А.Б., Белоног А.А., Якупов В.С., Беркинбаев Г.Д., Федоров Г.В., Алыбаева Р.А., Корчевский А.А., Яковлева Н.А.* Комплексная оценка экологии и здоровья населения промышленного города. — Астана, 2005.
- [5] *Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А.* Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. — М.: Олита, 1996.
- [6] *Швыряев И.А., Меньшиков В.В.* Алгоритм сравнительной оценки риска от выбросов промышленных предприятий // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». — 2006. — № 2. — С. 5—14.
- [7] *Шестаков В.П., Меньшиков В.В., Швыряев А.А.* Идентификация опасностей и анализ риска производства плавиковой кислоты на Ульбинском металлургическом заводе // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». — 2007. — № 1. — С. 76—86.
- [8] *Derwent R.G.* Atmospheric Environment. — 1987. — Vol. 21. — No 6. — P. 1445—1454.

COMPARATIVE METHOD OF RISK ANALYSIS FROM INDUSTRIAL OBJECTS POLLUTION WASTE FOR POPULATION HEALTH

A.I. Tasmagambetova¹, O.V. Menshikova²,
V.V. Menshikov²

The Kazakh state university of al-Farabi
The prospectus al-Farabi, 71, Alma-Ata, Kazakhstan, 480078

²Faculty of Geography
Lomonosov Moscow State University
Vorobyevy Gory, 1, Moscow, Russia, 119991

³Academy MNEPU
Cosmonaut Volkova str., 20, Moscow, Russia, 127299

For making the decision on the problem it was necessary to choose the most suitable mathematical models describing chemical transformations of polluting substances in an atmosphere, the diffusion, physical-chemical processes of dry and wet deposition and reaction with a spreading surface. It was also necessary to work out the computer programs of the analysis and forecast of environment pollution level in this region on the basis of methodology risk analysis adapted for a researched case.

Key words: Ust-Kamenogrska risk estimation, region, emissions, modeling.