

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ*****Надежда Никифоровна КРУПИНА**

доктор экономических наук, профессор кафедры государственного и муниципального управления
Института сервиса, дизайна и туризма (филиал Северо-Кавказского федерального университета),
Пятигорск, Российская Федерация
krupina_n17@mail.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

История статьи:

Получена 23.01.2018
Получена в доработанном
виде 19.02.2018
Одобрена 07.03.2018
Доступна онлайн 13.04.2018

УДК 656.7.08.574

JEL: Q52, Q53

Ключевые слова: источник выброса, неоднородное рассеивание, наложение облаков загрязнения, зона активного загрязнения, ущерб, пространственный критерий $b_{ЗАЗ}$

Аннотация

Предмет. Корректная оценка пространственного фактора формирования ущерба от загрязнения воздуха промышленных городов сохраняет актуальность и значимость для обеспечения национальных интересов и экологической безопасности.

Цели. Обоснование авторского видения роли пространственного фактора в формировании ущерба, основанного на учете факта неоднородности рассеивания примесей и эффекта взаимного наложения облаков загрязнения от группы независимых источников выбросов.

Методология. В работе использованы системный подход, методы сравнительного и логического анализа причинно-следственных связей в цепочке «источник выброса → рассеивание примесей → зона загрязнения → ущерб».

Результаты. Изучены сущность и особенности проявления пространственного фактора формирования эколого-экономического ущерба от негативного аэротехногенного воздействия источников выбросов. Для уточнения понятия и признаков зоны активного загрязнения (ЗАЗ) при сильной неоднородности рассеивания примесей в атмосфере выполнен анализ известных точек зрения и методик расчета ущерба, обоснована необходимость корректировки критерия $b_{ЗАЗ}$, предложены показатели «коэффициент наложения» и «показатель плотности ЗАЗ». Новый подход ориентирован на поиск локальных областей максимально возможного загрязнения атмосферного воздуха, определяемых по соотношению расчетной среднегодовой площади ЗАЗ и площади промплощадки для каждого сочетания «источник – вещество» с учетом приоритетных метеохарактеристик.

Выводы. В крупных промышленных городах мощные источники выбросов резко усиливают совокупное загрязнение из-за сильной пространственной неоднородности распределения примесей и кумулятивного эффекта, что должно учитываться при оценке ущерба. Оптимизация критерия $b_{ЗАЗ}$ основывается на выявлении областей воздушного пространства с наибольшей вероятностью недопустимого риска для здоровья и жизнедеятельности людей, т.е. участков максимально возможного длительного загрязнения атмосферного воздуха, выявленных по соотношению расчетной среднегодовой площади ЗАЗ и площади промплощадки, а также учитывает основные требования в части сочетания «источник – вещество» и метеоусловий. Практическое значение предлагаемого алгоритма определяется возможностью расширения практического инструментария управления техногенными рисками.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

Для цитирования: Крупина Н.Н. Пространственный фактор формирования ущерба от загрязнения атмосферного воздуха городов // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2018. – Т. 14, № 4. – С. 640 – 657.
<https://doi.org/10.24891/ni.14.4.640>

Гипотеза исследования

Повышение безопасности производства является важнейшим приоритетом при переходе от техногенной концепции

экономического роста к устойчивому развитию. В практике экспертизы инвестиционных проектов, страхования, оценки недвижимости, аудита используют категорию «эколого-экономический ущерб» (далее – ущерб). Ущерб есть фактические или возможные убытки, связанные с утратой, истощением природных ресурсов, разрушением экосистем и загрязнением окружающей среды, что создает реальную угрозу здоровью человека, растительному и животному миру, материальным ценностям, вызывает дополнительные затраты на ликвидацию последствий.

Ущерб экономике Китая, обусловленный смертностью только из-за опасного загрязнения воздуха, оценивается в 11% ВВП, России – 8%, Индии – 6,5%. Накопленный ущерб в экономике превышает 3 трлн руб. и продолжает увеличиваться, а его сокращение рассматривается как стратегический приоритет развития. Актуальность задачи определяется тем, что доступ к информации об ущербе составляет конституционное право граждан и одно из международных обязательств России (постановление от 03.12.2009 № 33-10 Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ). Ее решение зависит от возможности оптимизации соотношения между общественными и частными издержками на компенсацию ущерба и превентивные ресурсосберегающие технологии¹.

Количественная оценка ущерба является весьма сложной методологической и практической задачей, решение которой требует множества исходных данных и конкретности в учете комплекса ущербобразующих факторов, каждый из которых выполняет определенную функцию. Однако многие характеристики либо не поддаются формализации, либо не

^{*} Выражаю благодарность и признательность к.т.н., доценту кафедры инноватики и интегрированных систем качества Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения Е.Н. КИПРИЯНОВОЙ за ценные замечания в ходе работы над этой статьей.

¹ Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования: учебник. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 687 с.

фиксируются². Нам представляется, что одним из ключевых является пространственный фактор, напрямую отражающий масштабы последствий, плотность населения, имущественные объекты и уникальные ландшафты, испытывающие разрушающее воздействие. Сегодня особенно важно осмыслить его роль в формировании ущерба в промышленных узлах крупных городов.

Гипотеза исследования основана на понимании ущерба как результата проявления сложных причинно-следственных связей: «отраслевая технология → источник выделения → загрязняющее вещество (примесь) → система газоочистки → источник выброса → рассеивание → зона загрязнения → ущерб». Для повышения достоверности оценки ущерба, причиняемого группой независимых источников выбросов и последующего корректного расчета компенсационных платежей, требуется более четко определить критерий его пространственного распределения B_{3AZ} с учетом эффекта взаимного многократного наложения «облаков загрязнения». Максимально полный и объективный, по сравнению с существующим подходом, учет масштабной характеристики в условиях сильной неоднородности рассеивания примесей в атмосфере дает более адекватное представление о локализации зоны коллективной ответственности и позволяет оптимизировать проекты оздоровления городской территории.

Схема пространственной локализации ущерба

При непрерывной работе источника в результате процессов эмиссии, рассеивания и ассимиляции примеси накапливаются в приземном слое атмосферы, формируя «облако загрязнения», в котором их концентрация постепенно достигает порогового значения. Примеси распространяются над территорией населенного пункта, перемешиваются с

² Ильичева М.В. Методы оценки экономического ущерба от негативного влияния загрязнения среды // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2005. Вып. 3. С. 112–116.

токсинами от соседних источников, включая автотранспорт, трансформируются в новые соединения, проникают и рассредоточиваются во всех элементах окружающей среды, образуют устойчивый «каркас задымления». Из-за регулярности эмиссии и взаимного наложения «облаков» эффективность самоочищения атмосферы снижается, и происходит ее устойчивое загрязнение, которое усиливается при безветрии, инверсиях и морозящих осадках. В результате кругооборота и миграции загрязнений изменяются состав и параметры воздушной среды, наземных и подземных вод, почвы, продуктов питания. Измененная среда вызывает рост заболеваемости и смертности населения, снижение качества жизни и производительности труда, ускоренный износ имущества; ухудшение и сокращение биоразнообразия и т.п. (рис. 1). Для учета биосферных особенностей ущерб дифференцируется по природным средам эмиссии (атмосфера, водоемы, почва). Согласно СНиП 11-01-95 расчет ущерба предусмотрен в разделе проектной документации «Охрана окружающей среды».

За рубежом укрупненная оценка ущерба основана на категории внешних экологических эффектов, в отечественной практике – на определении зависимости негативных последствий от ключевых факторов. Н.М. Левда и В.П. Постников отождествляют ущерб с общественно необходимыми затратами на лечение болезней и потерями ВРП по причине заболеваний и низкой продолжительности жизни населения [1].

В связи со сложностью учета факторов здоровья более предпочтительны способы, учитывающие действие системы «источник – вещество» и дающие меньше погрешностей. В первом случае ущерб проявляется через показатель зоны токсичности, характеризующий некоторое абстрактное воздушное пространство, где концентрация примеси превышает допустимое ее значение, при втором – через зону активного загрязнения (ЗАЗ) и соотношение площади

территории предприятия и территории ЗАЗ. Взаимная координация пространств характеризуется показателем $B_{ЗАЗ}$ (рис. 2).

Первой задачей настоящего исследования являлось уточнение сути категории «зона активного загрязнения» и ее границ.

Единого понятия пространства загрязненной воздушной среды не существует, в разное время независимо друг от друга сложились различные точки зрения:

- *зона вредности* (Н. Реймерс, 1990) – часть ареала хозяйственно нежелательного вида, характеризующаяся определенной частотой нанесения ущерба. Бывает устойчивой (максимальный ущерб), неустойчивой (периодический ущерб) и слабого вреда;
- *зона экологического риска* (Н. Реймерс) – места на поверхности суши и океана, где человеческая деятельность может создать опасные экологические ситуации;
- *зона поражения растительности* (Е.В. Демидова). Оценивается набором характеристик – уменьшением радиального годичного прироста деревьев, снижением высоты и количества хвои (листьев). По интенсивности делится на подзоны сильного (промышленная пустыня), среднего и слабого аэротехногенного воздействия;
- *зона техногенного воздействия* (А.Ф. Брюхань, 2011). Территория вокруг промышленного объекта, на которую распространяется его воздействие, что выражается в ухудшении состояния воздушной, водной и геологической сред (загрязнение, истощение, нарушение баланса вод и естественного ландшафта);
- *санитарно-защитная зона* (СанПиН 2.2.1/2.1.11200-03) – специальная территория с особым режимом землепользования, устанавливаемая между производственным объектом и нормируемыми участками города (например, селитебной и рекреационной зонами), границы которой обеспечивают уменьшение негативного воздействия на атмосферный

воздух до нормативных значений. Критерием для определения размеров зоны (от 50 до 2 000 м) является соблюдение на ее внешней границе и вне ее предельных уровней физического воздействия и химического загрязнения;

- *зона влияния группы предприятия* (Методическое пособие «НИИАтмосфера, 2012») – территория, в пределах которой выбросами источников предприятий могут формироваться максимальные разовые приземные концентрации, превышающие 5% от установленных нормативов качества воздуха;
- *опасная зона* (Н. Реймерс) – пространство, в пределах которого возможно действие вредного производственного фактора;
- *зона влияния объекта* (СП11-102-97) – территория, в пределах которой концентрация примеси не превышает 5% от величины максимальной разовой ПДК;
- *зона активного загрязнения* (справочник) – неоднородные территории, в пределах которых в результате рассеяния загрязняющих веществ, поступающих от организованных и неорганизованных источников выбросов, наносят вред окружающей среде.

Многообразие определений указывает на сохранение научного интереса к пространственному фактору в оценке рисков и ущерба от хозяйственной деятельности. Их объединяет преимущественно исследовательская направленность, указание траектории и времени (до потери токсичности) движения облака загрязнения, обозначение границ, в пределах которых концентрация примеси может достигать опасных значений. Они позволяют выделить более или менее опасные зоны, отдельные эффекты рассеивания примесей, как правило, в пространстве изолированного одиночного источника, но не объясняют сложное неравномерное пространственное распределение многочисленных облаков загрязнений при одновременном действии многих независимых, разных по типу и

техническим характеристикам источников. Существующие подходы к оценке ущерба не в полной мере отражают реальную ситуацию в крупных индустриальных городах, где воздушное пространство часто представляет собой «лоскутное одеяло» из наслаивающихся друг на друга облаков загрязнений. Они проникают в жилые кварталы, социальные объекты, коллективные садовые участки и даже площадки под новое жилищное строительство.

Так, в Пермском крае на территориях санитарно-защитных зон предприятий проживает более 10 тыс. чел. и расположены детские учреждения [2]; в промзоне Оренбурга 25% территории на расстоянии 75 м от объекта (площадь 0,6 км²) относится к зоне экологического бедствия, а остальные территории на расстоянии 75–600 м (площадь 5,4 км²) – к зоне чрезвычайной экологической ситуации [3]. Километровая территория в районе Ново-Салаватской ТЭЦ отнесена к зоне чрезвычайной экологической ситуации, а на расстоянии 1,5–3 км – критической [4]. На территории Нижнекамского промузла при высокой «скупенности» источников (5,5 тыс.) поражающее действие от годового валового выброса массой 78 тыс. т наблюдается на расстоянии 70 км [5]. Повышенный уровень риска для здоровья человека, обусловленный присутствием в воздухе бензола, бензапирена, асбестосодержащей пыли, формальдегида, наблюдается в промузлах и транспортных центрах Нижнекамска, Набережных Челнов, Казани³. Очевидно, что от правильной оценки ЗАЗ зависит здоровье и жизнедеятельность многих людей.

Руководством для расчета приземных концентраций примесей при наихудших условиях рассеивания на расстояниях более 100 км от источника является ОНД-86 – Общесоюзный нормативный документ «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ,

³ Шлычков А.П., Минакова Е.А., Игонин Е.И. Канцерогенная нагрузка в муниципальных районах республики Татарстан, обусловленная выбросами химических веществ в атмосферный воздух // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 2. С. 26–31.

содержащихся в выбросах предприятий». На основе статистических и эмпирических данных строятся функциональные зависимости между концентрациями примесей и изменениями показателей состояния среды, оцененных в денежном выражении. Громоздкий расчет полей концентраций базируется на величине максимальной концентрации примеси при неблагоприятных метеоусловиях, скорости ветра и расстоянии от источника, на котором наблюдается максимальная концентрация. Общеизвестна зависимость: расстояние от источника до городского участка, где проявляется максимальная концентрация примеси, обратно пропорциональна квадрату его высоты и прямо пропорциональна мощности выброса. Именно поэтому ЗАЗ рассматривается как некая условная неоднородная территория, в пределах которой в результате рассеяния примесей, поступающих от источников выбросов, выпадает вся их масса. Ее конфигурация и площадь определяются с учетом типа источника, а границы, как правило, принимают в интервале 20–40 высот труб. Форма ЗАЗ может быть круговой, кольцевой, в виде полосы или деформированной.

Площадь ЗАЗ зависит от технико-конструктивных особенностей источника, что можно проиллюстрировать на следующем примере. Допустим, что на территории курортной зоны площадью 8 тыс. км² приведенная масса выброса 10 у.т, удельный ущерб – 30 тыс. руб./у.т.; поправка на выброс равна 1, а показатель относительной опасности примеси на данной территории – 10. Температура окружающей среды – 20°C, выброса – 120°C.

Тогда возможны следующие варианты (в соответствии со вторым подходом, см. рис. 2):

1) труба (организованный источник) высотой 6 м. ЗАЗ имеет форму круга с радиусом 300 м, ее площадь – 0,283 тыс. км². Ущерб составит 84,8 млн руб.;

2) труба высотой 18 м. ЗАЗ имеет форму кольца с радиусом 432 м, ее площадь равна 0,586 тыс. км². Ущерб составит 41 млн руб.;

3) низкий неорганизованный источник, ЗАЗ в форме круга с радиусом 1 км, ее площадь 3,14 тыс. км². Ущерб – 7,64 млн руб.;

4) высокий неорганизованный источник (10 м от земли). ЗАЗ представляет собой область с радиусом 200 м, площадь 0,126 тыс. км². Ущерб – 190,48 млн руб.;

5) автомагистраль шириной 200 м и длиной 30 км. ЗАЗ в виде полосы площадью 6 тыс. км². Ущерб – 0,004 млн руб.

Как видно, ущерб пропорционален размеру зоны, которая будет тем шире, чем больше мощность выброса, а для низких организованных источников ущерб всегда выше, чем для высоких. Это справедливо для одиночного источника, когда концентрация примеси довольно быстро убывает с расстоянием, но картина существенно меняется для группы источников в силу неоднородности распределения примесей и кумулятивного эффекта. Это обстоятельство не учитывается при укрупненной оценке ущерба и усиливает несопоставимость масштабов вреда с расчетной величиной его денежной стоимости.

Попытку обозначить пространственный фактор дискомфорта городской среды, связанного с шумовым загрязнением прилегающих территорий, предприняли В.М. Макарова и В.В. Гилев, предложив при расчете процента населения, подвергающегося воздействию, использовать показатель «длина контактно-стыковой зоны»⁴. Однако В.Н. Егоров и М.В. Чернова указывают, что истинное значение ущерба определить сложно ввиду его «договорного» характера, когда показатели техногенной опасности или совокупность сопутствующих ей условий, определяются нормативно или рассчитываются по не вполне адекватным

⁴ Макарова В.М., Гилев В.В. Обеспечение экологической безопасности промышленного региона // Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. 2015. № 4. С. 62–67.

методикам, провоцирующим конфликт интересов [6].

Действующие методики разрабатывались в условиях плановой экономики, когда ущерб рассматривался через общественные издержки производства и потребления. Гармонизация российского и европейского (директива 2004/35/CE11) законодательства предполагает более активное применение принципа «загрязнитель платит» и перенос компенсационных затрат с общества на бюджеты хозяйствующих субъектов, что может заставить последних «встраивать» процедуры оценки зоны ущерба в рамки стратегического, тактического и операционного управления экологическим риском⁵.

ЗАЗ как ключевой ущербообразующий фактор

Следует указать на принимаемые важные допущения в действующих методиках расчета ущерба.

Во-первых, любая урбанизированная территория неоднородна и состоит из пяти типов участков, для которых принимаются индивидуальные показатели относительной опасности загрязнения атмосферы B_j . Это территории населенных мест; промышленных предприятий; леса 2-й группы; пашни; пригородные зоны отдыха, садовые и дачные участки. *Во-вторых*, при работе объекта в нормальном режиме ЗАЗ не выходит за пределы промплощадки.

В-третьих, выбрасываемая источником примесь консервативна, а ее поглощение на поверхности земли отсутствует. Эти допущения в отдельных ситуациях могут приводить к некорректным расчетам критерия $B_{ЗАЗ}$. Вернемся к примеру и допустим, что площадь ЗАЗ равна 3 тыс. км², что меньше площади самой территории. Ущерб составит $0,03 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 8 / 3 = 8$ млн руб. Если площадь ЗАЗ составит 9 тыс. км², что больше площади территории, то ущерб будет равен

$0,03 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 8 / 9 = 2,7$ млн руб., то есть формальный расчет показывает, что больший масштаб воздействия порождает меньший ущерб, что не соответствует действительности.

Необходимость уточнения формулы расчета критерия $B_{ЗАЗ}$ вызвана следующими причинами.

1. Выбросы осуществляются в приземный слой атмосферы (на уровне дыхания человека) в местах постоянного проживания и временного пребывания людей. К рекреационным, жилым и зонам отдыха предъявляются более жесткие нормативы качества воздуха, что предопределяет обязательность нахождения наиболее опасных зон урбанизированного пространства с учетом долгосрочного локального воздействия.

2. На формирование границ ЗАЗ влияют уровень озеленения, рельеф местности и особенности застройки (планировка и ширина улиц, этажность, наличие высоких ландшафтных объектов, крупных транспортных магистралей), а также сезонная динамика температуры, ветровой нагрузки и осадков, отличающиеся в разных районах города, что должно тщательно анализироваться и учитываться. Отмечаемая многими исследователями сезонная динамика загрязнения атмосферы, связанная с преобладающим функциональным назначением застройки (селитебно-промышленная, селитебно-транспортная, селитебно-рекреационная), подтверждает наше предположение о том, что зоны наибольшего риска приурочены к промышленно-транспортным микрорайонам.

3. Следует принимать во внимание варианты взаимного перекрытия облаков загрязнения от разных источников (объектов), когда складывается критический уровень загрязнения. На участках совмещения облаков пороговые уровни загрязнения атмосферы, соответствующие разным зонам экологического риска, могут существенно различаться. В п. 8.9 Методов расчета рассеивания выбросов вредных

⁵ Risk Management: Strategic Report // IHG Annual Report and Form 20-F. 2013. P. 34–37.

(загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273) для совокупности источников предлагается рассчитывать **зоны влияния** по каждой примеси отдельно только на участках проявления их максимальной концентрации.

Как показали А.О. Карасев и С.П. Дударов⁶, площади взаимного перекрытия облаков определяются вариантами взаимного расположения источников выбросов: равномерно или неравномерно рассредоточенными по территории, близко или далеко отстоящими друг от друга, одиночными или групповыми. Наименьшее воздействие создают удаленные друг от друга источники. Это согласуется с принципом ранжирования территорий по параметру «потребление воздуха» (соотношение массы примеси и ее ПДК), то есть по объему свежего воздуха, необходимого для разбавления и доведения концентрации загрязняющего вещества до нормативного значения. Экстремально высокое загрязнение наблюдается при содержании одного или нескольких веществ превышающим максимальную разовую ПДК в 10 и более раз (превышение в 20–29 раз наблюдается более двух суток, в 30–49 раз – не менее 8 часов, в 50 раз – один час), а также появляется запах.

При допустимом уровне загрязнения наблюдается низкий уровень заболеваемости и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений. Средний уровень загрязнения означает ситуацию умеренной опасности и приводит к увеличению общей заболеваемости, повышенный – к сочетанию роста общей заболеваемости и увеличению числа лиц с хроническими заболеваниями и функциональными расстройствами. Высокий уровень загрязнения приводит к нарушению репродуктивной функции женщин. Согласно требованиям санитарных норм доля площади

селитебных зон, попадающих в течение года в полосу влияния выбросов промышленных объектов, должна быть минимальной.

Группы источников, работая повседневно, вызывают резкие скачки концентрации примесей и расширяют совокупную ЗАЗ, вследствие чего требуются корректировки расчета зоны воздействия. Неблагоприятные и аномальные метеоусловия (штили и слабые ветры, высокие температуры, приземные инверсии) приводят к задымлению территории, увеличивая число жалоб населения и обращений в медицинские учреждения. Чем в большей степени зоны «наслоения» облаков загрязнения соприкасаются с зонами пребывания людей, тем выше риски здоровью и больше востребованность контроля за загрязнением приземного слоя атмосферы и оценки причиняемого ущерба. А.Б. Корняков и Е.В. Троицкая доказывают факт увеличения максимальной концентрации примеси от выбросов дымовых труб соседствующих котельных при наложении их ЗАЗ и предлагают алгоритм расчета границ ЗАЗ для каждого источника [7].

Нам же представляется, что оптимизация расчета критерия $B_{ЗАЗ}$ должна основываться на поиске участков *максимально возможного загрязнения атмосферного воздуха* посредством расчета соотношения расчетной среднегодовой площади ЗАЗ и площади промплощадки для каждого сочетания «источник – вещество» с учетом приоритетных метеорологических характеристик. Если искомое соотношение больше единицы, то мы получаем сигнал о риске повышения загазованности воздуха в жилых кварталах (за границами объекта). Нанесение на ситуационную карту города конфигураций промплощадок и ЗАЗ позволит обозначить общее пространство сверхнормативного загрязнения, формируемое как совокупность задымленных территорий. Чем в большей степени эти кварталы соприкасаются с жилыми микрорайонами, тем выше уровень опасности. При распределении ограниченных ресурсов, направляемых на

⁶ Карасев А.О., Дударов С.П. Оптимизация размещения станции контроля на территории, подверженной загрязнению группой постоянно действующих источников // Успехи в химии и химической технологии. 2009. Т. XXIII. № 1. С. 20–23.

оздоровление городской среды, предпочтение отдается районам с наибольшим количеством зон взаимного наложения облаков загрязнений и с наибольшей плотностью населения. Новизна подхода подтверждена получением в соавторстве с Е.Н. Киприяновой авторского свидетельства на изобретение (патент РФ № 2597671, 2016 г.).

Обозначим наиболее вероятные варианты взаимной координации облаков:

- круги ЗАЗ и промплощадки изолированы друг от друга;
- малый круг ЗАЗ в большом круге промплощадки, что небезопасно для персонала;
- размер ЗАЗ источника больше размера промплощадки, небезопасная ситуация: область риска сверхнормативного загрязнения воздуха находится за границей предприятия и есть вероятность, что ЗАЗ вклинивается в жилую зону;
- источники расположены на разных площадках, зоны взаимно перекрываются, область наибольшего риска находится в области наложения ЗАЗ;
- ЗАЗ от источника предприятия попадает на территорию соседнего объекта (возникает конфликт интересов), мониторинг проводится по согласованию.

Для обеспечения безопасности промузлов муниципалитеты осуществляют проекты «экореконструкции» критических участков территории, объединяющие компенсационные мероприятия организационного, технологического и архитектурно-градостроительного характера. Для этого проводят комплексное исследование ресурсного и рекреационного потенциалов критических территорий и выявление их предельного состояния по экологическим параметрам. С.А. Ревякин и А.В. Скопинцев связывают эти потенциалы с «вектором воздействия техногенных сил» и объясняют механизм образования данной среды как пограничное состояние от комфорта, удобства,

экономичности до неэкономичности, избыточности, критичности [8]. То есть одни пространства города принимают на себя негативное воздействие и риски, а другие относительно этого развиваются. Критические участки образуются там, где нарушается экологическое равновесие под воздействием техногенного вмешательства в пространственный каркас, функциональную структуру и рекреационный потенциал территории.

Учет особенностей проявления пространственного фактора повышает эффективность контроля динамики причиняемого ущерба в различных ситуациях деловой активности: при диверсификации или расширении производства, при увеличении уровня загрузки резервной мощности в ответ на рост рыночного спроса, при использовании новых сырьевых материалов. В промышленных агломерациях увеличивается вероятность того, что общая площадь негативного воздействия может быть близкой к площади самой агломерации или превосходить ее. В пределах совокупной ЗАЗ необходимо более детально определить участки высокого и повышенного уровня загрязнения, тем самым обозначив вектор воздействия и пространство недопустимого риска. Экспресс-оценка совокупной ЗАЗ от автотранспортных магистралей, промышленных и коммунальных предприятий наиболее важна при организации сети экологического мониторинга урбанизированных территорий на принципах Директивы Европарламента⁷.

Протяженность территории сверхнормативного загрязнения неоднородна, поэтому ущерб может быть дифференцирован как высокий, повышенный, средний, умеренный и приемлемый. Ранжирование ущерба в координации с границами ЗАЗ целесообразно проводить при построении карт загрязнения территории с использованием данных инвентаризации

⁷ Бахарев В.С., Маренич А.В., Саньков П.Н., Гилев В.В. Определение зон активного загрязнения атмосферного воздуха от промышленных предприятий и транспорта для организации систем экологического мониторинга урбанизированных территорий // Наука, техника, образование. 2016. № 12. С. 33–37.

источников выбросов и возможностей ГИС-технологий [9]. Пространственная привязка конкретных промплощадок в границах определенных микрорайонов города позволит получить реальную картину локализации ущерба, выявить приоритетные источники, формирующие наибольший вклад в его формирование, а также обозначить участки для первоочередной реализации защитных мероприятий. Действующее методическое обеспечение не дает четких рекомендаций, как оценивать ущерб при наложении ЗАЗ. Если учесть, что однотипные примеси совместно присутствуют в нескольких выбросах, то становится очевидным, что учет наложения облаков может существенно ужесточить требования к нормативам выбросов.

Обобщая изложенное, уточним основное понятие: *ЗАЗ есть условная часть неоднородного урбанизированного пространства за пределами промышленных площадок конкретных производственных объектов, в котором происходит и долговременно проявляется многократное наложение фонового загрязнения приземного слоя атмосферы и неоднородных полей рассеивания максимальных концентраций приоритетных примесей, выбрасываемых одновременно функционирующими и рассредоточенными на небольшой площадке значимыми стационарными источниками выбросов, которое в сочетании с выбросами передвижных и неорганизованных источников формирует в кварталах, прилегающих к промузлу, локальные устойчивые очаговые области максимально возможного поражения с наибольшей вероятностью недопустимого экологического риска для здоровья людей, окружающей среды, имущественных объектов и, как следствие, многократно увеличивает размер причиняемого ущерба.*

При многообразии сочетаний «источник – вещество» наблюдается колебание значений максимальных концентраций примесей и непостоянство конфигурации и границ ЗАЗ. Неравномерность распределения обусловлена различиями повторяемости ветров и осадков, рельефом, озеленением и суммарным действием определенных совместно

присутствующих примесей. Это объясняет сущность предлагаемого нами критерия выделения локальных очагов максимального загрязнения – *величины соотношения площади ЗАЗ и площади промплощадки*. Если оно больше единицы, то наблюдается эмиссия негативного воздействия за границы предприятия, а если такой «выход» наблюдается для совокупности независимых источников, то очаги наибольшего поражения находятся в местах наложения облаков загрязнения. Расчет площади ЗАЗ можно проводить на основе анализа динамики годовых и среднемноголетних изменений скорости ветра, штиля и осадков и определения их вероятностного распределения:

$$S_{\text{ЗАЗ } ik \text{ ср}} = S_{\text{ЗАЗ } ik} \cdot V_{\text{В}} + S_{\text{ЗАЗ } ik} \cdot V_{\text{Ш}} + S_{\text{ЗАЗ } ik} \cdot V_{\text{ОС}}, \quad (1)$$

где: $S_{\text{ЗАЗ } ik \text{ ср}}$ – скорректированный среднегодовой размер ЗАЗ вещества i из источника k ;

$V_{\text{В}}, V_{\text{Ш}}, V_{\text{ОС}}$ – вероятность наступления ветра со скоростью более 1,7 м/с, штиля и осадков в течение года;

$S_{\text{ЗАЗ } ik}$ – расчетная площадь ЗАЗ.

Вероятностный подход к формализации оценки ключевых условий позволяет учитывать текущие и потенциальные существенные неоднородности распределения полей концентраций примесей. Скорректированные площади ЗАЗ для всех приоритетных комбинаций «источник – вещество» наносятся на ситуационную карту промузла, далее выявляются участки их наложения, выходящие в жилые зоны города. Уточнение пространственного распределения участков наложения ЗАЗ с учетом застройки, плотности населения, уровня озеленения территории позволяет выделить приоритетные общественные городские пространства, где высока вероятность неприемлемого риска деградации.

Для более детализированных расчетов ущерба на территории промузлов необходимо

введение дополнительных эмпирических поправочных коэффициентов, которые должны корректно учитывать наложение ЗАЗ. Предполагаем, что значительным информационным потенциалом могут обладать следующие показатели:

– коэффициент наложения ЗАЗ $K_{\text{налЗАЗ}}$, характеризующий кратность совмещения облаков загрязнения за пределами промплощадки;

– показатель плотности ЗАЗ $ПП_{\text{ЗАЗ}}$, рассчитываемый как отношение суммарной площади ЗАЗ промузла к площади территории города:

$$ПП_{\text{ЗАЗ}} = \frac{\sum S_{i\text{ЗАЗ}}}{S_{\text{терр}}} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Если показатель плотности ЗАЗ меньше единицы, то ситуацию следует рассматривать как критическую или временно допустимую, если он равен или больше единицы – как недопустимую (катастрофическую).

Дж. Корлетт, рассматривая ущерб как результат осознанных управленческих решений, отмечает, что рост гражданской активности населения не позволяет демократическим природоохранным процедурам превратиться в чистую формальность, стимулирует корпорации к реализации совместных социальных проектов и генерирует «цепную реакцию солидарной ответственности за потенциальные опасности и за создание институтов, которые могли бы их предотвратить» [10]. Следовательно, объединение инвестиций предприятий промузла для реализации инфраструктурного проекта общей сети мониторинга воздуха в составе проекта единой СЗЗ в большей степени отвечает интересам местного сообщества и администраций муниципалитетов.

Этические нормы экономического роста предполагают двойное рассмотрение содержания категории ущерба. С одной стороны, она традиционно дает представление о территориальных границах допустимых,

обратимых и необратимых изменений среды под воздействием экономической деятельности, с другой – имеет гуманистический смысл, который выражается в осознании необходимости коллективных действий по сохранению безопасной окружающей среды и сдерживанию темпов ее деградации. В условиях развития гражданско-правовых отношений детальный анализ пространственного фактора распределения ущерба помогает определить долю участия конкретного хозяйствующего субъекта в этих действиях.

Управление аэротехногенной нагрузкой на урбанизированных территориях является логическим продолжением оценки ущерба, а площадь ЗАЗ непосредственно отражает численность населения, масштабы концентрации производительных сил, требуемые объемы свежего воздуха для разбавления выбросов, природно-климатические условия рассеивания, количество имущественных объектов, ландшафтов и экосистем подверженные риску, а также возможные масштабы негативных последствий. Оценка ущерба выступает информационной основой для принятия максимально достоверных решений по выбору дорогостоящих оздоровительных технологий и бюджетированию градостроительных мероприятий. Например, снижение загазованности воздуха городов может поддерживаться оптимальным аэрационным режимом уличного пространства, обеспечиваемым градостроительными средствами и планировочными решениями. При плотной застройке изучают условия возникновения замкнутой циркуляции воздушных масс, охватывающей уличное пространство и приводящей к повышенной загазованности воздушной среды [11]. Наиболее приемлемым является озеленение пространства для нейтрализации комплексного негативного аэротехногенного воздействия. Современные технологии моделирования позволяют удачно планировать тип и размер посадки, подбирать газоустойчивые, хорошо акклиматизированные и достаточно декоративные виды деревьев и

кустарников, рационализировать систему полива и т.п. А.С. Мясникова и В.И. Васенев построили 3D-модель зон загрязнения воздушного бассейна Москвы, расположенных вблизи опасных производственных объектов, оценили изменение пространственно-временной динамики экологической ситуации и разработали рекомендации по выбору лучшего растительного ассортимента для озеленения [12].

Практика эпидемиологических исследований в промышленных и непромышленных городах Европы и США демонстрирует удовлетворительную применимость пространственной интерполяции и моделирования полей рассеивания примесей по программе CMAQ и методу LUR [13]. Метод LUR существенно улучшает результаты оценки рассеивания примесей при более тщательном выборе и описании места проведения натуральных измерений [14]. На примере Нижнекамского промузла показано, что использование инновационных методов математического моделирования приводит к достаточно надежному определению зон влияния отдельных предприятий и их групп, работающих на общей территории, выделению участков с превышением санитарно-гигиенических нормативов качества воздуха и эпицентров загрязненности [5].

Социологические исследования американских ученых показали, что поведение и беспокойство людей, проживающих в загрязненных районах, меняется из-за нарушения социальных, экономических физических и психологических моделей жизни [15]. Жителям российских городов также важно знать, насколько опасен воздух для их здоровья. Так, углубленный анализ состояния здоровья детей, постоянно проживающих в зоне промузла г. Губаха Пермского края (более 20 химических предприятий), показал, что устойчивое превышение фонового уровня метанола, фенола, формальдегида, бензапирена приводит к хроническому ингаляционному воздействию и повышенному содержанию токсинов в крови детей [16].

Статистика чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера свидетельствует об их росте в России и во всем мире, что повышает социальную значимость страхования жизни, здоровья людей и имущественного ущерба. В развитых странах на государственные фонды и субсидии приходится до 70% затрат на ликвидацию последствий рисков. Организация страхования требует достоверного исследования состояния городской территории в аспектах размера и направлений использования участка, экологической ситуации, токсичности загрязнителей и вероятности их миграции, близости участка к местам проживания человека, жилым домам, школам, уязвимым компонентам природной среды. Доля заявок на заключение договора страхования с недостаточно качественными исследованиями и некорректным определением границ загрязненных участков достигает 50%, что повышает стоимость исков на возмещение ущерба и снижает рыночную стоимость объектов недвижимости⁸. Размер страховых премий зависит от масштаба зоны поражения, следовательно, тщательная оценка ущерба повышает эффективность управления рисками, оптимизирует нагрузку на бюджет и создает экономическую мотивацию для хозяйствующих субъектов к страхованию.

Заключение

На основании проведенного анализа приходим к следующим выводам.

Во-первых, мощные источники выбросов в промузлах резко усиливают совокупное загрязнение из-за сильной пространственной неоднородности распределения примесей в атмосфере и кумулятивного эффекта, что необходимо учитывать при оценке ущерба.

Во-вторых, оптимизация расчета пространственного критерия B_{3AZ} должна основываться на выявлении областей городского воздушного пространства с наибольшей вероятностью недопустимого

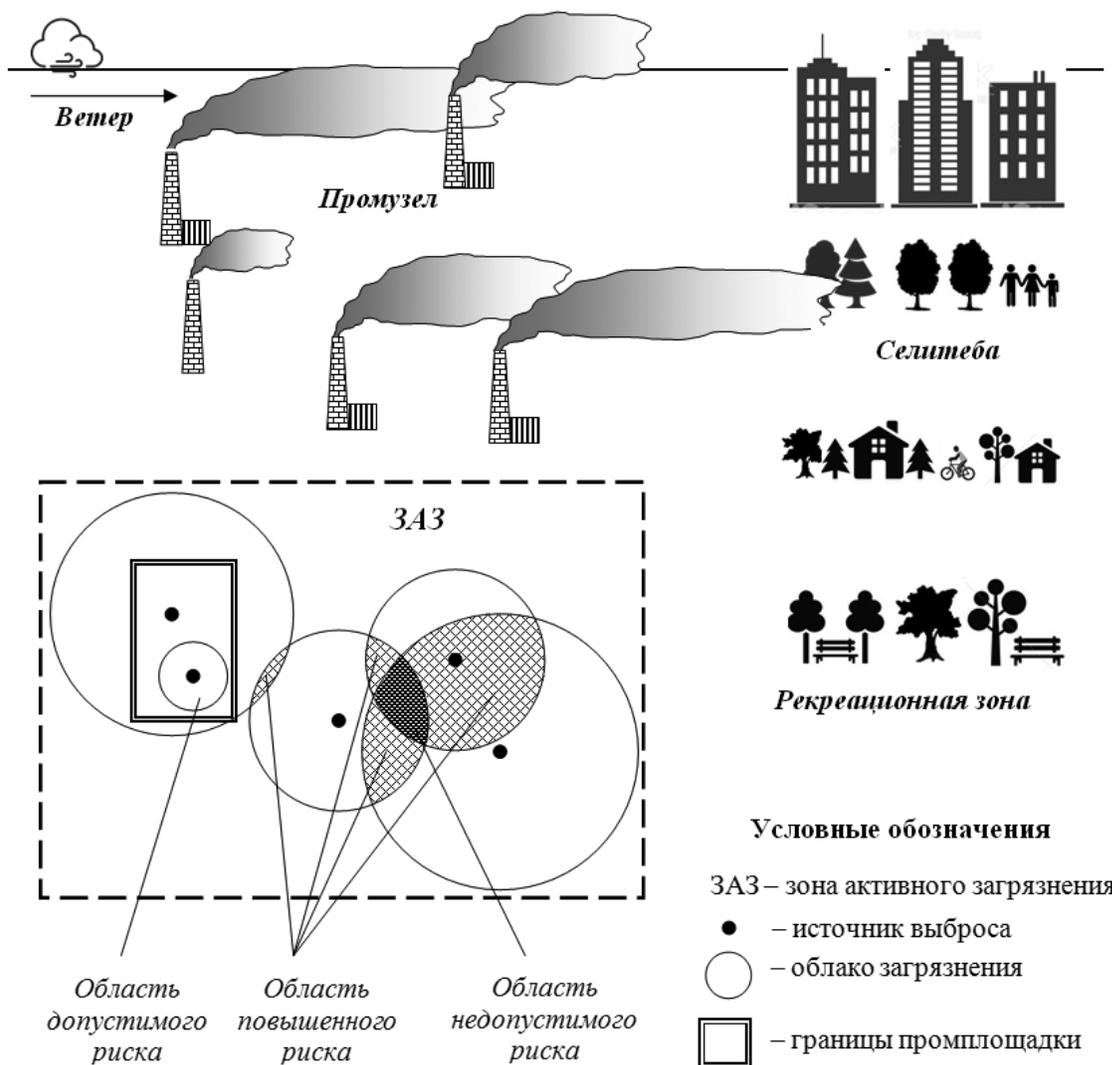
⁸ Яжлев И.К. Механизм гарантированной ликвидации накопленного экологического ущерба при реорганизации загрязненных городских и производственных территорий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2014. Вып. 2. С. 1–7.

риска для здоровья и жизнедеятельности людей, как участков *максимально возможного долговременного загрязнения атмосферного воздуха*, по соотношению расчетной среднегодовой площади ЗАЗ и площади промплощадки для приоритетного сочетания «источник – вещество» с учетом ключевых метеоусловий.

В-третьих, прикладная значимость нового подхода к анализу пространственного фактора формирования ущерба определяется возможностью расширения практического инструментария определения и мониторинга уровня приемлемого техногенного риска для решения ряда актуальных задач экологической безопасности.

Рисунок 1
Авторская концепция роли ЗАЗ в оценке ущерба

Figure 1
The original concept for the role of the active contamination zone as part of damage assessment



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 2
Методические подходы к расчету ущерба

Figure 2
Methodological approaches to damage assessment

<u>1 подход</u>	<u>2 подход</u>
$\mathcal{E}_{ij} = \frac{D \cdot \Delta G_{ij} \cdot P_j}{X_i \cdot V \cdot \tau \cdot ПДК},$	$V_{\text{атм}} = V_{\text{уд}} \cdot M \cdot P_{\text{рас}} \cdot \sum \sigma_j \cdot \frac{S_i}{S_{\text{Заз}}},$
<p>где \mathcal{E}_{ij} – ущерб от загрязнения атмосферы i-й примесью из j-го источника выбросов; ΔG_{ij} – годовое количество выбросов в атмосферный воздух i-й примеси из j-го источника выбросов, превышающее предельно-допустимые концентрации (ПДК); P_j – отношение среднегодовой концентрации в атмосфере i-й примеси к ПДК этой примеси; X_i – показатель зоны токсичности (отношение смертельной дозы примеси к ее ПДК); V – средний объем воздуха, поступающий в организм человека за сутки (принимается равным 15 м^3); τ – количество дней в году, когда осуществляется выброс из источника</p>	<p>где $V_{\text{атм}}$ – экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха, руб.; $V_{\text{уд}}$ – удельный ущерб от выбросов в атмосферу условной тонны загрязняющего вещества, руб./у.т.; M – приведенная масса годового выброса в у.т.; $P_{\text{рас}}$ – поправка на характер рассеивания примесей в атмосфере; S_i – площадь территории, га (км^2) $S_{\text{Заз}}$ – площадь зоны активного загрязнения территории, га (км^2) σ_j – показатель относительной опасности загрязнения воздуха j-й примесью по данной территории; $\sum S_i / S_{\text{Заз}} \cdot \sigma_j = \sigma_{\text{Заз}}$ – показатель относительной опасности загрязнения для различных примесей в зоне активного загрязнения</p>

Источник: Лукерченко В.Н. Анализ аналитического метода оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. В кн.: Состояние и развитие городов в СССР и за рубежом. Вып. 12. М.: МГЦНТИ, 1991. 67 с.; Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 1999. 41 с.

Sources: Lukerchenko V.N. *Analiz analiticheskogo metoda otsenki ekonomicheskogo ushcherba ot zagryazneniya okruzhayushchei sredy. V kn.: Sostoyanie i razvitie gorodov v SSSR i za rubezhom. Vyp. 12* [Analyzing the analytical method to assess the economic damage of environmental pollution. In: The condition and development of the USSR cities and abroad. Issue 12]. Moscow, Moscow City Center for Scientific and Technological Information Publ., 1991, 67 p.; *Vremennaya metodika opredeleniya predotvrashchennogo ekologicheskogo ushcherba* [The provisional methods for determining the prevented environmental damage]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection Publ., 1999, 41 p.

Список литературы

1. *Левда Н.М., Постников В.П.* Оценка экологического ущерба населению и экономике региона от загрязнений атмосферного воздуха // *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 25. С. 37–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-ekologicheskogo-uscherba-naseleniyu-i-ekonomike-regiona-ot-zagryazneniy-atmosfernogo-vozduha>
2. *Май И.В., Седусова Э.В., Муфтиева М.С.* Проблемы правового регулирования организации санитарно-защитных зон на урбанизированных территориях // *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2013. № 2. С. 33–44.
3. *Байтелова А.И.* Оценка изменения качества атмосферы урбанизированной территории (на примере промышленного района г. Оренбурга) // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2004. № 9. С. 90–97. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-izmeneniya-kachestva-atmosfery-urbanizirovannoy-territorii-na-primere-promyshlennogo-rayona-g-orenburga>
4. *Шабанова С.В., Сагитов Р.Ф., Перехода Д.Л.* Исследование воздействия выбросов предприятия энергетики на прилегающую территорию // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 6. С. 205–208. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vozdeystvie-vybrosov-predpriyatiy-energetiki-na-prilegayuschuyu-territoriyu>
5. *Шагидуллин А.Р. и др.* Расчет зоны влияния выбросов в атмосферный воздух от источников Нижнекамского промышленного узла // *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Т. 19. № 15. С. 177–180. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/raschet-zony-vliyaniya-vybrosov-v-atmosfernyy-vozduh-iz-istochnikov-nizhnekamskogo-promyshlennogo-uzla>
6. *Егоров В.Н., Чернова М.В.* Механизм оценки экологического ущерба от производственной деятельности // *Экономический анализ: теория и практика*. 2015. № 8. С. 38–46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/mehanizm-otsenki-ekologicheskogo-uscherba-ot-proizvodstvennoy-deyatelnosti>
7. *Корняков А.Б., Троицкая Е.В.* Расчет концентрации выбросов вредных веществ в атмосферу при наличии нескольких источников загрязнений // *Экологические системы и приборы*. 2013. № 8. С. 12–15.
8. *Ревякин С.А., Скопинцев А.В.* Матрица оценки техногенных свойств «критических территорий» при экореконструкции архитектурно-ландшафтных комплексов // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 1. Ч. 2. С. 1–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/matritsa-otsenki-tehnogennyh-svoystv-kriticheskikh-territoriy-pri-ekorekonstruktsii-arhitekturno-landshaftnyh-kompleksov>
9. *Ерохин Г.Н., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Токарева О.С.* Информационно-космические технологии в задачах экологического анализа воздействий нефтедобычи на природную среду. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО РАН, 2003. 98 с.
10. *Corlett J.A.* Corporate Responsibility and Punishment. In: *Responsibility and Punishment*. Springer. 2006. P. 113–129. URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0421-2>
11. *Assimakopoulos V.D., ApSimon H.M., Moussiopoulos N.* A Numerical Study of Atmospheric Pollutant Dispersion in Different Two-Dimensional Street Canyon Configurations // *Atmospheric Environment*. 2003. Vol. 37. Iss. 29. P. 4037–4049. URL: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00533-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00533-8)

12. Мясникова А.С., Васенев В.И. Построение 3D модели загрязнения атмосферного воздуха г. Москвы и рекомендации по выбору газоустойчивого растительного ассортимента для озеленения участков г. Москвы // Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2015. № 3. С. 18–22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/postroenie-3d-modeli-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-g-moskvy-i-rekomendatsii-po-vyboru-gazoustoychivogo-rastitelnogo-assortimenta>
13. Crouse D.L., Goldberg M.S., Ross N.A. A Prediction-Based Approach to Modelling Temporal and Spatial Variability of Traffic-Related Air Pollution in Montreal, Canada // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. Iss. 32. P. 5075–5084. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.040>
14. Brauer M., Marshall J., Nethery E. Within-Urban Variability in Ambient Air Pollution: Comparison of Estimation Methods // *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42. Iss. 6. P. 1359–1369. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.08.012>
15. Gull N., Nawaz Dr.Y., Ali M. et al. Industrial Air Pollution and Its Effects on Human's Respiratory System (A Sociological Study of Bhoun Shugar Mill District Jhang, Pakistan) // *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*. 2013. Vol. 2. No. 3. P. 535–545. URL: <https://doi.org/10.5901/ajis.2013.v2n3p535>
16. Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Нурисламова Т.В. Оценка экологической ситуации в зоне влияния крупного промышленного узла // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2012. № 1. С. 124–130.

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

SPATIAL FACTOR OF DAMAGES FROM URBAN AIR POLLUTION**Nadezhda N. KRUPINA**

Institute of Service, Tourism and Design, Branch of North-Caucasian Federal University,
Pyatigorsk, Stavropol Krai, Russian Federation
Krupina_n17@mail.ru
ORCID: not available

Article history:

Received 23 January 2018
Received in revised form
19 February 2018
Accepted 7 March 2018
Available online
13 April 2018

JEL classification: Q52, Q53

Keywords: pollution source,
uneven dispersion, cloud
contamination, active
contamination zone, damage,
spatial criterion, σ_{ZAZ}

Abstract

Importance It is still important and vital for national interests and environmental security if the spatial factor of urban air pollution damage is properly assessed.

Objectives I substantiate my vision of the spatial factor and its role in causing damage. My vision is based on the need to consider the uneven dispersion of pollutants and the effect of overlapping contamination cloud from separate emission sources.

Methods I apply a system approach, methods of comparative and logic analysis of cause-and-effect relationships within the scheme emission source → dispersion of pollutants → contamination zone → damage.

Results I study the substance and specifics of the spatial factor effect resulting in environmental and economic damage from a negative impact emission sources have on air. To specify the concept and signs of the active contamination zone with the heavily uneven dispersion of pollutants, I analyze available points of view and methods for detriment assessment, substantiate the need to adjust the criterion σ_{ZAZ} , propose indicators measuring the overlapping coefficient and density of active contamination zone. The new approach is aimed to find local areas of the highest possible air pollution.

Conclusions and Relevance In large industrially developed cities, powerful emission sources aggravate the total contamination as pollutants unevenly disperse and have a cumulative effect, which needs to be considered for damage assessment purposes. Optimization of σ_{ZAZ} required to identify those air zones which are highly likely to be exposed to long-standing air pollution. The practical significance of the proposed algorithm is that it expands practical tools for technological risk management.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

Please cite this article as: Krupina N.N. Spatial Factor of Damages from Urban Air Pollution. *National Interests: Priorities and Security*, 2018, vol. 14, iss. 4, pp. 640–657.
<https://doi.org/10.24891/ni.14.4.640>

Acknowledgments

I express my gratitude to E.N. KIPRIYANOVA, PhD in Technological Sciences, Associate Professor of the Department for Innovation Studies and Integrated Quality Systems at the Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, for her valuable comments on the article.

References

1. Levda N.M., Postnikov V.P. [Evaluation of environmental damage to population and economy of region from air pollution]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2013, no. 25, pp. 37–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-ekologicheskogo-uscherba-naseleniyu-i-ekonomike-regiona-ot-zagryazneniy-atmosfernogo-vozduha> (In Russ.)
2. Mai I.V., Sedusova E.V., Muftieva M.S. [Legal regulation problems of the organization of sanitary protection zones in urban areas]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = Bulletin of*

- Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development*, 2013, no. 2, pp. 33–44. (In Russ.)
3. Baitelova A.I. [Estimation of change of the atmosphere quality of urbanized territory (on the example of industrial district of Orenburg)]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Vestnik of Orenburg State University*, 2004, no. 9, pp. 90–97.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-izmeneniya-kachestva-atmosfery-urbanizirovannoy-territorii-na-primere-promyshlennogo-rayona-g-orenburga> (In Russ.)
 4. Shabanova S.V., Sagitov R.F., Perekhoda D.L. [The impact of emissions of power industry enterprises on the adjacent territory]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Orenburg State Agrarian University*, 2015, no. 6, pp. 205–208.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vozdeystvie-vybrosov-predpriyatij-energetiki-na-prilegayuschuyu-territoriyu> (In Russ.)
 5. Shagidullin A.R. et al. [Determination of the air emission impact zone related to the Nizhnekamsk industrial hub]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Herald of Kazan Technological University*, 2016, vol. 19, no. 15, pp. 177–180.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/raschet-zony-vliyaniya-vybrosov-v-atmosfernyy-vozduh-iz-istochnikov-nizhnekamskogo-promyshlennogo-uzla> (In Russ.)
 6. Egorov V.N., Chernova M.V. [The mechanism to assess environmental damage caused by production activities]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2015, no. 8, pp. 38–46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/mehanizm-otsenki-ekologicheskogo-uscherba-ot-proizvodstvennoy-deyatelnosti> (In Russ.)
 7. Korniyakov A.B., Troitskaya E.V. [Calculating concentration of harmful emissions into the atmosphere in the presence of several sources of pollution]. *Ekologicheskie sistemy i pribory = Ecological Systems and Devices*, 2013, no. 8, pp. 12–15. (In Russ.)
 8. Revyakin S.A., Skopintsev V.A. [Matrix evaluation of technological properties of "critical areas" at the ecological reconstruction of architectural and landscape complexes]. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*, 2015, no. 1-2, pp. 1–9.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/matritsa-otsenki-tehnogennyh-svoystv-kriticheskikh-territoriy-pri-ekorekonstruktsii-arhitekturno-landshaftnyh-kompleksov> (In Russ.)
 9. Erokhin G.N., Kopylov V.N., Polishchuk Yu.M., Tokareva O.S. *Informatsionno-kosmicheskie tekhnologii v zadachakh ekologicheskogo analiza vozdeistvii nefte dobychi na prirodnyuyu sredu* [Information and aerospace technologies for purposes of environmental analysis of oil production effects on the natural environment]. Novosibirsk, SPSTL SB RAS Publ., 2003, 98 p.
 10. Corlett J.A. Corporate Responsibility and Punishment. In: Responsibility and Punishment. Springer, 2006, pp. 113–129. URL: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0421-2>
 11. Assimakopoulos V.D., ApSimon H.M., Moussiopoulos N. A Numerical Study of Atmospheric Pollutant Dispersion in Different Two-Dimensional Street Canyon Configurations. *Atmospheric Environment*, 2003, vol. 37, iss. 29, pp. 4037–4049.
URL: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00533-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00533-8)
 12. Myasnikova A.S., Vasenev V.I. [Constructing 3D model of air pollution of Moscow and recommendations at the choice of gas respirant plant variety for landscaping areas of Moscow]. *Vestnik RUDN. Ser. Agronomiya i zhivotnovodstvo = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2015, no. 3, pp. 18–22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/postroenie-3d-modeli>

zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-g-moskvy-i-rekomendatsii-po-vyboru-gazoustoychivogo-rastitelnogo-assortimenta (In Russ.)

13. Crouse D.L., Goldberg M.S., Ross N.A. A Prediction-Based Approach to Modelling Temporal and Spatial Variability of Traffic-Related Air Pollution in Montreal, Canada. *Atmospheric Environment*, 2009, vol. 43, iss. 32, pp. 5075–5084.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.040>
14. Brauer M., Marshall J., Nethery E. Within-Urban Variability in Ambient Air Pollution: Comparison of Estimation Methods. *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, iss. 6, pp. 1359–1369. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.08.012>
15. Gull N., Nawaz Dr. Y., Ali M. et al. Industrial Air Pollution and Its Effects on Human's Respiratory System (A Sociological Study of Bhoun Shugar Mill District Jhang, Pakistan). *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 535–545.
URL: <https://doi.org/10.5901/ajis.2013.v2n3p535>
16. Ulanova T.S., Karnazhitskaya T.D., Nurislamova T.V. [Evaluating the environmental situation in the zone of a large industrial hub]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Development*, 2012, no. 1, pp. 124–130. (In Russ.)

Conflict-of-interest notification

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.