



Российская Академия Наук

А.А. Макоско, А.В. Матешева, В.П. Фетисов

**Повышение качества жизни
населения в условиях
загрязнения атмосферы
и изменения климата**

Москва 2017

УДК 504
ББК 28.080
М16

ISBN 978-5-906906-02-1

© Российская академия наук, 2017
© А.А. Макоско, А.В. Матешева,
В.П. Фетисов, 2017

Повышение качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата

А.А. Макоско, А.В. Матешева, В.П. Фетисов

Аннотация: *Макоско А.А., Матешева А.В., Фетисов В.П. Повышение качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата / Российская академия наук. – М.: РАН, 2017.*

Рассматривается постановка и возможное решение задачи социально-экономической адаптации населения к негативному влиянию загрязненной атмосферы в условиях изменяющегося климата, подразумевающей, в том числе, адресную поддержку граждан. Предложена стратегия риск-менеджмента, в основе которой лежит медико-экологическое страхование риска для здоровья жителей экологически неблагоприятных территорий в результате проживания в условиях постоянного загрязнения атмосферного воздуха на основе хеджирования. Предложены методические подходы к долгосрочному прогнозу риска для здоровья от загрязнения атмосферы с учетом изменения климата, а также идентификации источников загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: *риск для здоровья, медико-экологическое страхование, загрязнение атмосферы, изменение климата, хеджирование, деривативы.*

Annotation: *Makosko A.A., Matesheva A.V., Fetisov V.P. Improving the quality of life of people in conditions of atmospheric pollution and climate change / Russian Academy of Sciences. - Moscow: Nauka, 2017.*

The formulation and possible solution of the problem of social and economic adaptation of the population to the negative influence of the polluted atmosphere in the conditions of a changing climate, including, including targeted support of citizens, is considered. A risk management strategy is proposed, which is based on medical and environmental health insurance for residents of ecologically unfavorable territories as a result of living in conditions of constant air pollution based on hedging. Methodical approaches to long-term prognosis of health risks from air pollution taking into account climate change, as well as identification of sources of air pollution, are proposed.

Key words: *health risk, medical and environmental insurance, air pollution, climate change, hedging, derivatives.*

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 16-35-00387), программы №15 фундаментальных исследований Президиума РАН.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	6
1.1. Техногенное загрязнение атмосферы и экологически обусловленные заболевания	6
1.2. Влияние изменения климата на здоровье в условиях техногенного загрязнения атмосферы	8
1.3. Экономические последствия для населения от экологически обусловленных заболеваний	8
2. АНАЛИЗ ПРАВОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ НАСЕЛЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	9
3. МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СТРАХОВАНИЕ	10
4. ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОНТРАКТОВ	13
4.1. Методический подход к долгосрочному прогнозу риска для здоровья	13
4.2. Эксперименты по долгосрочному прогнозу риска для здоровья	15
5. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ	17
5.1. Методический подход к идентификации источников загрязнения атмосферы	17
5.2. Эксперименты по идентификации источника загрязнения атмосферы (тестовые расчеты)	19
5.3. Идентификация источника в условиях реального загрязнения атмосферы	21
6. ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТРАХОВАНИЯ	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	23
ЛИТЕРАТУРА	26

Введение

Значительная часть населения российских городов проживает в условиях повышенного риска для здоровья вследствие постоянно или часто загрязненного атмосферного воздуха. Дополнительно к этому наблюдаемое изменение климата приводит к повышению частоты экстремальных погодных явлений, способных значительно усугублять и без того напряженную экологическую обстановку.

Все это происходит на фоне резкого снижения в последние двадцать лет уровня массового медицинского обслуживания и вызывает ощутимые экономические потери как со стороны государства, так и со стороны граждан (личные финансовые потери: затраты на лечение, восстановление, поддержание здоровья в удовлетворительном состоянии, а также упущенный заработок). В свою очередь, ухудшение экономического благосостояния граждан снижает для них возможности дальнейшей профилактики заболеваний, что приводит к отрицательным эколого-социальным эффектам (снижение компенсаторных возможностей организма и, как следствие, ухудшение здоровья и демографических показателей).

Компенсация населению экологических неблагоприятных территорий такого рода убытков в настоящее время не предусмотрена, полностью отсутствуют экономические и правовые механизмы ее реализации. Это является дополнительным фактором ухудшения качества жизни, который характеризуется разновидностью экологического риска – риском для здоровья и связанным с этим ухудшением состояния социально-экономической защищенности.

В связи с этими обстоятельствами осуществлена постановка и возможное решение задачи социально-экономической адаптации населения к негативному влиянию окружающей среды в условиях изменяющегося климата, подразумевающей, в том числе, адресную поддержку граждан.

В процессе исследования изучены тенденции распространности экологически обусловленных заболеваний и их связь с техногенными источниками выбросов, влияние изменения климата и экономические последствия заболеваемости для населения. Предложена стратегия риск-менеджмента, в основе

которой лежит медико-экологическое страхование риска для здоровья жителей экологически неблагоприятных территорий в результате проживания в условиях постоянного загрязнения атмосферного воздуха на основе хеджирования. Данная форма страхования направлена на снижение экономических потерь от экологически обусловленных заболеваний и повышение качества жизни населения. Определены виды, условия и порядок ценообразования страховых контрактов. Предложены методические подходы к долгосрочному прогнозу риска для здоровья от загрязнения атмосферы с учетом изменения климата, а также идентификации источников загрязнения атмосферы. Выполнен анализ законодательной базы в отношении возможности компенсации населению экономического ущерба в результате повышенного риска здоровью, обусловленного постоянным загрязнением воздушной среды. Подготовлены предложения для внесения изменений в российское законодательство с целью создания правового механизма социально-экономической защиты населения в условиях техногенного загрязнения атмосферы и изменяющегося климата.

1. Качество жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата

1.1. Техногенное загрязнение атмосферы и экологически обусловленные заболевания

К экологически обусловленным относится большая часть заболеваний, так как практически весь спектр техногенных выбросов состоит из токсичных веществ, способных в зависимости от дозы и экспозиции оказывать острое или хроническое воздействие на организм. Настороженность вызывает субпороговое и пороговое действие химических факторов техногенного загрязнения, обуславливающих неспецифические патологические процессы. Загрязнение окружающей среды оказывает влияние как на распространенность, так и на тяжесть отдельных заболеваний.

В связи с этим было выполнено обобщение опубликованных данных и проведен анализ результатов проводимых в последние годы исследований по выявлению связи между заболеваемостью населения и уровнем техногенного воздействия на атмосферу для определения тенденций распространенности

экологически обусловленных заболеваний в результате загрязнения воздушной среды.

Большая часть населения урбанизированных территорий в той или иной степени подвержена влиянию экологических факторов. Экологическая обстановка, сложившаяся в пределах территорий республик, краев, областей и автономных округов, и особенности проблем окружающей среды в каждом из субъектов Российской Федерации определяются, с одной стороны, спецификой местных природно-климатических условий, а с другой, характером и масштабами воздействия промышленности, транспорта, сельского и коммунального хозяйства на окружающую природную среду.

Одним из основных источников загрязнения атмосферы является автомобильный транспорт, на долю которого приходится около 40% суммарного выброса загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников, а также объекты энергетического комплекса, добывающие, обрабатывающие, химические производства [3].

Проведенные в последние годы эколого-эпидемиологические исследования [2, 4, 5, 12-14, 15, 16, 20] показывают значительную роль загрязнения воздушной среды в повышении уровня заболеваемости населения, что обусловлено раздражающим, цитотоксическим и сенсибилизирующим эффектами химических веществ при ингаляционном поступлении в организм.

Согласно данным работам, одно из ведущих мест по экологической обусловленности занимают болезни органов дыхания, связанные с широким спектром источников промышленных выбросов и в большой степени автотранспорта [13]. Вслед за болезнями органов дыхания распространение на урбанизированных территориях получили болезни системы кровообращения [14], болезни крови и кроветворных органов [2], болезни эндокринной системы, заболевания органов репродуктивной сферы женщин и новорожденных [12], болезни кожи и подкожной клетчатки [4], болезни органов пищеварения [5], болезни нервной и мочеполовой систем [15]. Отмечается выраженная корреляция между уровнем загрязнения атмосферного воздуха и различными онкологическими заболеваниями [16]. Техногенное загрязнение окружающей среды, прежде всего, атмосферы, может оказывать влияние на развитие инфекционного и эпидемического процессов [20].

Несмотря на немногочисленность работ по изучению влияния техногенного загрязнения атмосферы на здоровье населения, выполненный анализ показывает, что по основным классам болезней на популяционном уровне установлены зависимости между загрязнением атмосферного воздуха и нарушением здоровья, что свидетельствует о высокой актуальности данной проблемы. В ряде работ также изучалась временная динамика заболеваемости. Показано, что практически по всем исследуемым заболеваниям наблюдается тенденция к росту наряду с повышением уровня загрязнения атмосферы.

1.2. Влияние изменения климата на здоровье в условиях техногенного загрязнения атмосферы

Сегодня проблема влияния загрязнения атмосферы на здоровье приобрела новое содержание и стала еще более актуальной в связи с наблюдаемым изменением глобального климата и его региональных проявлений. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, климатические изменения в настоящее время стали причиной более 150 тыс. преждевременных смертей в мире и 5,5 млн. лет нетрудоспособности [17].

Изменение характерных для конкретной территории метеорологических условий способно усиливать неблагоприятное воздействие вредных примесей, содержащихся в атмосфере, на организм человека. Так, увеличение частоты температурных аномалий, штилевых явлений, инверсий температуры может в конечном итоге оказывать влияние на показатели первичной заболеваемости, обострений и смертности по некоторым заболеваниям, так как при подобных условиях происходит повышенное накопление в воздухе токсичных веществ (при одной и той же интенсивности загрязнения).

1.3. Экономические последствия для населения от экологически обусловленных заболеваний

Важным аспектом экологически обусловленных заболеваний в условиях техногенного загрязнения атмосферы являются экономические потери, которые испытывает население на индивидуальном уровне.

В настоящее время в России еще недостаточно широко развито направление по экономической оценке заболеваемости. Работы, посвященные оценке экономического ущерба от нарушений здоровья населения, затрагивают в основном расчет финансовых потерь общества в целом (экономики) в результате

воздействия факторов окружающей среды, не учитывая личные потери каждого гражданина, которые в условиях рыночной экономики возрастают.

Результаты работы [19] по оценке ежегодного ущерба от заболеваемости в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферы показывают, что населению может быть нанесен заметный экономический ущерб вследствие повышенного загрязнения воздуха (около 8 млрд. руб./год). По данным Росстата (статистический сборник «Здравоохранение в России», 2015), расходы семьи на платные услуги в области здравоохранения и отдыха в среднем на 1 члена семьи в городах составили в 2014 году 53875,7 руб.

В связи с усугубившейся в последние годы экологической обстановкой во многих российских городах становится ясным, что проблема экологически обусловленной заболеваемости и связанных с этим негативных экономических эффектов требует выработки конкретных решений в виде мер по социально-экономической адаптации населения, направленных на снижение заболеваемости и сокращение соответствующих финансовых потерь граждан.

2. Анализ правовых механизмов для компенсации населению экономического ущерба от экологически обусловленных заболеваний

Для анализа существующей законодательной базы в отношении возможности компенсации населению экономического ущерба, наступающего вследствие заболеваний, обусловленных постоянным загрязнением окружающей среды, были рассмотрены вопросы правового обеспечения охраны здоровья граждан, экологической безопасности атмосферного воздуха, возмещения экономического ущерба и других компенсационных мер вследствие вреда здоровью в связи с загрязнением атмосферного воздуха.

Законодательство предусматривает возмещение понесенного физическими лицами ущерба при наступлении определенных страховых случаев – внезапном, аварийном загрязнении атмосферного воздуха. Возмещение понесенного ущерба осуществляется на основании системы **экологического страхования**. Экологическое страхование гражданской ответственности

не предусматривает возможность возмещения ущерба, обусловленного последствиями влияния загрязнения атмосферы на здоровье населения, проживающего на территориях с постоянным загрязнением воздуха.

Наряду с этим, в случае заболеваний для граждан законом предусмотрено бесплатное оказание медицинской помощи и выплата пособий по временной нетрудоспособности на основе системы **социального страхования**. Однако в существующей системе социальных гарантий есть ряд ограничений. Так, предоставление гражданам бесплатно необходимой медицинской помощи регламентировано рамками программы ОМС. При этом граждане имеют право на получение платных медицинских услуг в необходимом объеме и более короткие сроки за счет личных средств на основании договоров, в том числе договоров ДМС. Также в отношении пособий по временной нетрудоспособности закон устанавливает ограничения на максимальный размер выплат в зависимости от стажа, условий работы и причины временной нетрудоспособности.

В целом последствия влияния постоянного или частого загрязнения атмосферного воздуха на здоровье граждан в существующем законодательстве не находят отражение. Поэтому дальнейшим направлением решения задачи по созданию механизма снижения социально-экономических последствий загрязнения атмосферы, выраженных в финансовых потерях граждан от заболеваний, обусловленных постоянным загрязнением воздушной среды, является разработка новой формы экологического страхования и определение специфики страховых норм, а также разработка дополнительных компенсационных мер, направленных на снижение риска здоровью и повышение качества жизни населения экологически неблагоприятных территорий.

Для развития нового вида экологического страхования требуется определить особенности формирования соответствующих страховых фондов.

Кроме этого, требуют решения вопросы:

– по определению фактов нанесенного вреда и степени воздействия на состояние здоровья граждан, проживающих на территории постоянного воздействия загрязненного атмосферного воздуха;

– по определению источников-загрязнителей (местоположения и вклада каждого из них в общий уровень загрязнения).

3. Медико-экологическое страхование

Для адаптации населения к негативному влиянию окружающей среды, снижения экономических потерь от экологически обусловленных заболеваний и повышения качества жизни разработана стратегия риск-менеджмента в основе которой лежит медико-экологическое страхование риска для здоровья жителей экологически неблагоприятных территорий в результате проживания в условиях постоянного загрязнения окружающей среды [8]. Медико-экологическое страхование базируется на применении хеджирования [7] – механизма страхования рисков и снижения таким образом финансовых потерь с использованием производных финансовых инструментов – деривативов (специальных контрактов).

Страхование населения на основе хеджирования предполагает взаимодействие трех основных участников (рис. 1): жителя загрязненной территории, источника выбросов в атмосферу (далее – загрязнителя), страхового фонда. Это взаимодействие регулируется деривативом – специальным контрактом, в соответствии с которым одна из сторон (житель) «перекладывает» риск для своего здоровья на другую сторону (страховой фонд) за вознаграждение (страховую премию), которое, однако, оплачивает не сам житель, а загрязнитель воздуха.

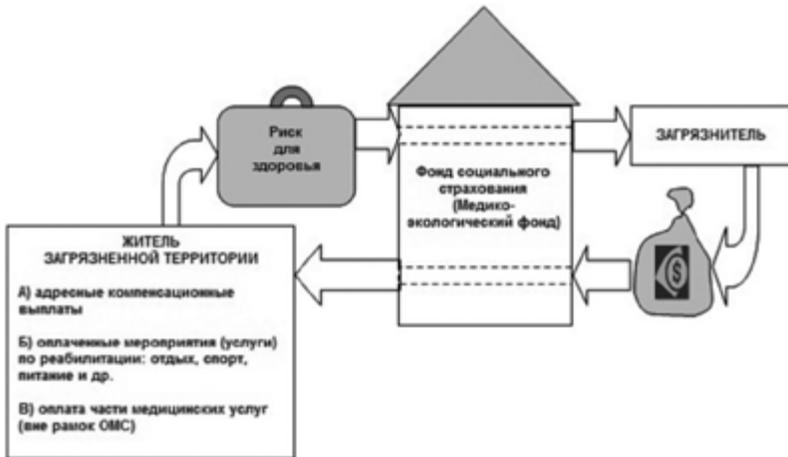


Рис. 1. Схема взаимодействия участников медико-экологического страхования

Базовым индексом контракта, на основании которого осуществляются расчеты, является риск для здоровья, обусловленный загрязнением атмосферного воздуха (канцерогенный риск и опасность неонкологических заболеваний).

Соответственно компенсация населению в случае повышенного риска для здоровья и возросших потенциальных затрат на профилактику, лечение и реабилитацию перекладывается исключительно на загрязнителя и не требует привлечения бюджетных средств. Компенсация может иметь различные формы: адресные выплаты, оплаченные мероприятия (услуги) по реабилитации (отдых, питание, спорт и др.), оплату части медицинских услуг (помимо ОМС). В случае, если фактически наблюдаемый риск ниже ожидаемого уровня, загрязнитель получает выплату, соответствующую разнице между прогнозируемым и наблюдаемым воздействием и уровнем загрязнения.

Условно процесс применения хеджирования можно разделить на несколько этапов. На первом этапе выполняется прогноз риска заболеваний [10], на основе которого составляется градация уровней риска по степени опасности для здоровья, а также осуществляется идентификация источников, оказывающих влияние на загрязнение атмосферного воздуха на конкретной территории [6]. Определяется местоположение и мощность выбросов, оценивается вклад в общий уровень загрязнения.

Следующий этап включает определение возможных видов ущерба в связи с нарушением здоровья, стоимости одной единицы базового индекса (риска) и потенциальных финансовых потерь гражданина в результате заболеваний в течение страхового периода на основании полученных результатов прогноза риска для здоровья [10, 11].

Затем с учетом стоимости единицы риска, результатов прогноза риска для здоровья и обусловленных этим потенциальных финансовых потерь, результатов идентификации источника выбросов и его вклада в общий уровень загрязнения определяется стоимость самого контракта, т.е. страховая премия, которую загрязнитель должен перечислить с целью возмещения за вред, причиняемый здоровью населения.

В зависимости от полученных оценок и существующих условий могут быть выбраны различные схемы хеджирования, в

соответствии с которыми строится контракт (дериватив), определяется (уточняется) размер страховой премии и осуществляется выплата компенсации [7, 8].

Основным положительным эффектом в результате введения механизма возмещения ущерба здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха с использованием предложенного подхода является повышение социально-экономической защищенности и качества жизни граждан в условиях проживания и трудовой деятельности в неблагоприятной окружающей среде. При этом государственный бюджет разных уровней дополнительных расходов не несет. Одна из главных целей компенсационных выплат состоит в повышении финансовых возможностей у населения для профилактики экологически обусловленной заболеваемости и снижении, таким образом, риска для здоровья. Разработанная научно-методическая база направлена также на мотивацию источников-загрязнителей к сокращению выбросов в атмосферу и улучшение за счет этого качества воздуха, что, в свою очередь, также ведет к снижению риска для здоровья населения.

4. Ценообразование медико-экологических контактов

Для определения цены медико-экологического контракта разработан методический подход к долгосрочному прогнозу риска для здоровья населения при техногенном загрязнении атмосферы [10], позволяющий оценивать уровень риска на период действия контракта с учетом прогнозируемого уровня загрязнения атмосферного воздуха и метеорологических условий.

4.1. Методический подход к долгосрочному прогнозу риска для здоровья

Прогноз риска для здоровья вследствие техногенного загрязнения атмосферы предполагает заблаговременную оценку канцерогенного риска (риска онкологических заболеваний) и относительной опасности неонкологических заболеваний, обусловленных общетоксическими эффектами действия химических веществ на человека.

Данный подход основан на методологии оценки риска для здоровья, представленной в [18], и методов теории чувствительности [1], применение которых обусловлено необходимостью учета вариабельности выбросов, метеорологических условий и климата.

Определим термины: вектор состояния и вектор параметров. Под вектором состояния понимается вектор $R = (r, h)'$, составляющими которого являются канцерогенный риск $r = \sum r_i$ и показатель относительной опасности неонкологических заболеваний $h = \sum h_j$, обусловленные соответственно i -ми канцерогенными и j -ми неканцерогенными примесями. Под вектором параметров понимается вектор $\alpha = (Y, f)$, составляющие которого описывают управляющие воздействия на модель рисков (опасности) заболеваний: значения метеовеличин Y и характеристики источников примесей f . Здесь

$$r_i = r_i(q_i(Y, f)), \quad h = q_j(Y, f)/q_{jm}, \quad (4.1)$$

где q – концентрация вещества; q_{jm} – предельно допустимая (референтная) концентрация j -го вещества.

Введем в рассмотрение функцию чувствительности [9]

$$G = \partial R / \partial \alpha, \quad (4.2)$$

которая представляет собой изменения вектора состояния, соответствующие единичным вариациям составляющих вектора параметров, т. е. частные производные от решений уравнений (4.1) по составляющим вектора параметров в области невозмущенных решений.

Согласно выражениям (4.1) r_i и h_j есть функции от концентрации загрязняющей примеси. Поэтому преобразуем правую часть соотношения (4.2) к виду:

$$\partial R / \partial \alpha = \partial R / \partial q \cdot \partial q / \partial \alpha.$$

Производная $\partial R / \partial q = (\partial r / \partial q, \partial h / \partial q)'$ является функцией чувствительности вектора состояния к изменениям концентрации загрязняющих примесей и известна *a priori* из результатов медико-биологических исследований [18]. Составляющими функции чувствительности $\partial R / \partial q$ являются единичный фактор канцерогенного риска для i -го вещества F_i , м³/мкг, и показатель

относительной опасности неонкологических заболеваний для j -го вещества H_j , мкг/м³, или в общем виде

$$\partial R / \partial q = (F, (H)^{-1})',$$

где $F = (F_i)'$, $H = (H_j)'$.

Расчет составляющих производной $\partial q / \partial \alpha = (\partial q / \partial Y, \partial q / \partial f)'$ производится на основе решения трехмерного уравнения переноса и диффузии загрязняющей примеси в атмосфере, записанного в вариациях относительно невозмущенного состояния [1]. Полученные в результате решения этого уравнения трехмерные поля функций чувствительности $Q = \partial q / \partial \alpha$ позволяют количественно оценивать изменения составляющих вектора состояния (Δq_i) , соответствующих заданному полю вариаций параметров $(\Delta \alpha)$, т. е. $\Delta q = Q \cdot \Delta \alpha$.

Таким образом, выражения в общем виде для расчета риска здоровью населения приобретает вид:

$\Delta r_i = F_i \cdot Q_i \cdot \Delta \alpha_i$ – для канцерогенного риска;

$\Delta h_j = (H_j)^{-1} \cdot Q_j \cdot \Delta \alpha_j$ – для опасности неонкологических заболеваний.

Полученные выражения для расчета Δr_i , Δh_j составляют основу долгосрочного прогноза техногенного загрязнения атмосферы и обусловленного этим риска для здоровья. Заблаговременность такого прогноза может составлять несколько десятилетий. Для реализации данной методологии построена численная модель прогноза загрязнения воздуха, учитывающая результаты прогнозируемых изменений климата (на основе сценариев, разработанных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК)). С использованием модели проведены численные эксперименты по долгосрочному прогнозу загрязнения атмосферы и риска для здоровья.

4.2. Эксперименты по долгосрочному прогнозу риска для здоровья

Ниже представлены результаты апробации данного методического подхода на примере техногенного загрязнения атмосферы на территории г. Москвы. Прогноз выполнялся на 30- и 70-летний периоды для неонкологических и онкологических заболеваний соответственно, так как предполагалась пожизненная (максимальная) продолжительность жизни.

симальная) экспозиция загрязняющих веществ на население: 70 лет – для канцерогенного риска, 30 лет – для неканцерогенной опасности [18]. Начальной датой прогноза для удобства было выбрано 1 января 2005 г. Прогноз риска выполнялся для высот 1 м (у земной поверхности) и 50 м (верхние этажи жилых домов) с учетом дифференцированной экспозиции населения.

В работе использовалась прогностическая метеорологическая информация для территории Московского региона, полученная в результате экспериментов по моделированию изменения климата в XXI в. по трем основным сценариям МГЭИК (A2, A1B, B1) с совместной моделью общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН.

В качестве источников выбросов взяты автотранспорт и промышленные зоны столицы. При этом рассматривалось пять загрязняющих веществ (диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, свинец), два из которых обладают также канцерогенным эффектом (формальдегид, свинец). Для проведения экспериментов, наряду со сценариями возможных изменений климата, предварительно были определены сценарии развития промышленности и автотранспорта на территории Москвы на основе доступной информации о планируемом развитии города (Генплан развития Москвы до 2025 г.). По промышленности выбрано 2 сценария развития: нулевой, когда выбросы не меняются, и оптимистичный, когда сокращаются площади промзон и снижаются выбросы. Развитие автотранспорта предполагает 3 сценария: пессимистичный (рост выбросов при отсутствии мер по улучшению дорожного движения, качества топлива и технического состояния автомобилей), нулевой (выбросы не меняются) и оптимистичный (сокращение выбросов за счет проведения мероприятий по уменьшению негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду). Сценарии изменения климата, промышленности и транспорта сформированы в группы в различных комбинациях.

По результатам расчетов построены карты распределения прогнозируемых уровней неканцерогенной опасности и уровней индивидуального риска онкологических заболеваний. Критерии оценки риска основаны на принципе приемлемости. Приемлемым уровнем суммарного показателя относительной опасности неонкологических заболеваний считается единица. Для канцерогенного риска: риск, равный и менее $1 \cdot 10^{-6}$, счита-

ется пренебрежимо малым; от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ – приемлемым; равный и более $1 \cdot 10^{-4}$ – высоким, неприемлемым [18].

Анализ полученных данных долгосрочного прогноза риска показал, что при всех заданных сценариях развития города и изменения климата ожидается повышенная неканцерогенная опасность для населения вблизи земной поверхности и на уровне нижних этажей зданий (в 2–9 раз в зависимости от сценария), а при пессимистичном варианте – также на верхних этажах высотных домов (приблизительно в 2 раза). Индивидуальный риск онкологических заболеваний, обусловленный присутствием в воздухе формальдегида и соединений свинца, выбрасываемых автотранспортом, будет находиться в рамках допустимых уровней и на верхней границе приемлемого риска. При пессимистичном сценарии развития Москвы и наибольшем потеплении климата (сценарий А2) в отдельных районах города вблизи земной могут наблюдаться уровни канцерогенного риска, превышающие приемлемые значения.

Согласно прогнозу, в долгосрочной перспективе можно ожидать изменение уровня канцерогенного риска и относительной опасности неонкологических заболеваний в 1,5–3 раза. При этом только лишь одно изменение климата при одной и той же интенсивности техногенного загрязнения воздуха способно более чем на треть изменить уровень риска для здоровья.

Следует отметить, что долгосрочный прогноз риска может содержать ряд неопределенностей, связанных, прежде всего, с неполнотой исходных данных и выбором тех или иных методов и моделей численного прогноза загрязнения воздуха. Однако, несмотря на это обстоятельство, прогноз риска для здоровья является вполне эффективным инструментом для определения ценовой стоимости контракта в предлагаемой системе медико-экологического страхования.

5. Идентификация источников загрязнения атмосферы

Для выявления источников выбросов, виновных в загрязнении воздуха и оценки их вклада в общий уровень загрязнения предложен метод идентификации источников загрязнения атмосферы [6].

5.1. Методический подход к идентификации источников загрязнения атмосферы

Суть подхода заключается в том, что с помощью наблюдений на постах мониторинга за концентрацией примесей и результатов расчетов сопряженных функций на основе специально построенного функционала, характеризующего концентрацию примеси в заданных зонах, установлена возможность идентифицировать мощность выбросов источника и его вклад в общий уровень загрязнения на конкретной территории.

Пусть в области Ω имеется m источников загрязнения воздуха, каждый из которых располагается в зоне G_i ($i = 1, \dots, m$) и характеризуется интенсивностью $I_i \delta(x-x_i)(y-y_i)(z-z_i)$. Здесь δ – есть дельта-функция Дирака, а x_i, y_i, z_i – координаты источников загрязнения. Предположим, что в n зонах D_k ($k = 1, \dots, n$) области Ω имеются измерения концентрации загрязняющей примеси q_0, q_τ соответственно в моменты времени $t = 0$ и $t = \tau$. Требуется в каждой i -й зоне определить среднюю за период τ интенсивность \bar{I}_i .

Следуя [9], основной задаче эволюции примеси поставим в соответствие сопряженную на основе тождества Лагранжа и получим для каждой из зон D_k функционал

$$J_k = \int_{\Omega} q_{k0} q_{k\tau}^* d\Omega' + \int_0^\tau dt \int_{\Omega} I q_k^* d\Omega', \quad k=1, \dots, n, \quad (5.1)$$

где q_k^* решение сопряженной задачи в зоне D_k ; q_{k0}^* значение при $t = 0$; q_{k0} – концентрация примеси в момент $t = 0$ в зоне D_k .

Из выражения (5.1) следует, что средняя за интервал времени $[0; \tau]$ концентрация примеси в зоне D_k определяется концентрацией примеси в начальный момент времени и количеством примеси за период τ от всех источников в области Ω , оказывающих влияние на эту точку.

Полученное выражение перепишем в виде

$$J_k = \int_{\Omega} q_{k0} q_{k\tau}^* d\Omega' + \sum_{i=1}^m \bar{I}_i \int_0^\tau q_{ki}^* dt. \quad (5.2)$$

С другой стороны, в моменты времени $t = 0$ и $t = \tau$ концентрации загрязняющей примеси (q_0 и q_τ соответственно), согласно условиям постановки задачи, известны. Следовательно, средняя за интервал времени $[0; \tau]$ концентрация примеси на

основе данных измерений в зоне D_k может быть приближенно определена средним арифметическим

$$\bar{q}_k \approx (q_{k0} + q_{k\tau})/2.$$

Понятно, что разность $\varepsilon = (J_k - \bar{q}_k)$ между расчетным (полученным при задании некоторых приближенных значений интенсивности \bar{I}_i) и измеренным значениями концентрации примеси отлична от нуля и в каждой точке k различна.

Это обстоятельство является основой для решения задачи по идентификации выбросов от источников загрязнения атмосферы. Из условия минимума разности ε стандартными методами легко получается система линейных уравнений относительно \bar{I}_i , подлежащих определению. С этой целью ниже при выполнении практических расчетов применяется метод наименьших квадратов.

Работоспособность предложенного метода идентификации источников загрязнения атмосферы подтверждена численными экспериментами (тестовыми расчетами и применением в условиях реального загрязнения атмосферы). Расчеты выполнялись на основе разработанных моделей, реализующих прямую и сопряженную задачи эволюции загрязняющей примеси в атмосфере.

5.2. Эксперименты по идентификации источника загрязнения атмосферы (тестовые расчеты)

Суть расчетов заключается в определении интенсивности выбросов от заданного источника загрязнения с помощью представленного выше подхода и сравнении ее с заранее известным (заданным) значением выбросов, чтобы оценить, с какой ошибкой или погрешностью определяется интенсивность источника.

Методический подход к идентификации ИЗА предполагает использование данных постов наблюдений за концентрациями химических веществ в воздухе экологически значимых зон. В целях тестовых расчетов использованы концентрации веществ, рассчитанные с помощью модели прогноза загрязнения атмосферы в зоне влияния источника выбросов. Интенсивность источника для удобства задана равной 1 г/с.

Расчет функционала J_k проводился, исходя из условий: $I_i = 1/2 (I_{i0} + I_{i\tau})$, $q_{ki}^* = 1/2 (q_{ki0}^* + q_{ki\tau}^*)$ – средние на интервале времени $[0; \tau]$ значения I_i , q_{ki}^* . Функции q_{ki}^* получены с помощью моде-

ли расчета полей сопряженных функций. Заблаговременность расчетов составляла 3 часа.

Эксперименты проводились для двух типов источников: приподнятых (например, трубы предприятий) и приземных (организованные и неорганизованные, площадные и точечные низкие источники выбросов). Так как в городах в большинстве случаев посты наблюдений за химическим загрязнением воздуха располагаются вблизи земной поверхности, моделировались две ситуации – определение выбросов каждого из двух типов источников по данным приземных наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ.

В ходе расчетов рассматривалась некоторая область в радиусе 7 км от источника, представляющая, очевидно, наибольший интерес при решении задачи идентификации выбросов на урбанизированных территориях. В качестве примера в изучаемой области выбраны три экологически значимые зоны на расстоянии 2, 4 и 7 км от источника загрязнения, на территории которых выполнена идентификация выбросов. Точки для определения (измерения) концентраций веществ выбирались в зоне возможного влияния загрязнителя, с подветренной стороны. Скорость ветра составляла 0,5 м/с у Земли и увеличивалась с высотой до 3 м/с на высоте 250 м, поэтому доминирующее влияние на распределение примеси и идентификацию ее источника здесь должен был оказывать турбулентный обмен, нежели горизонтальный перенос воздушных масс.

В эксперименте по идентификации приземного источника химического загрязнения атмосферы моделировались условия, при которых подстилающая поверхность оказывает доминирующее влияние на распределение примеси в атмосфере. Рассчитанная в соответствии с предложенным подходом мощность выброса составила на расстоянии 2 км от источника 1,15 г/с, в 4 км от источника – 1,35 г/с, в 7 км – более 1,8 г/с. Таким образом, ошибка идентификации ИЗА в выбранных экологически значимых зонах составляет 15% в 2 км от места выбросов, 35% – в 4 км, и более 80% – на расстоянии 7 км. Следовательно, в данном случае решение задачи по идентификации источника химического загрязнения атмосферы возможно осуществлять с приемлемой точностью, по крайней мере, на расстоянии 4-5 км от места выбросов.

Эксперимент по идентификации приподнятого источника проводился в предположении, что высота выброса составляет

50 м. Выполненные расчеты показали, что на расстоянии 2 км от ИЗА его выбросы можно определить с ошибкой 32%, в 4 км от источника погрешность идентификации выбросов составляет 37%, а в 7 км – 45%. Таким образом, определение интенсивности приподнятого источника по измерениям возле земной поверхности приводит к увеличению ошибки идентификации вблизи места выбросов по сравнению с приземным источником.

Однако с увеличением расстояния между точками измерений и источником ошибка идентификации падает не столько сильно по сравнению с идентификацией приземного ИЗА. Это объясняется большей скоростью ветра и существенно меньшим влиянием подстилающей поверхности на распространение примеси. Результаты экспериментов по идентификации приподнятого источника показывают хорошие возможности по определению его мощности в пределах 7 км и более от места выбросов. Кроме этого, процесс идентификации приподнятого источника позволяет наиболее точно установить место, где происходит выброс.

5.3. Идентификация источника в условиях реального загрязнения атмосферы

Рассмотренный выше методический подход и модель расчета полей сопряженных функций, были использованы для идентификации источника мощных выбросов сероводорода (H_2S), имевших место в Москве 10 ноября 2014 года. Известно, что утром 10 ноября жители Восточного, Юго-Восточного и Южного административных округов ощущали сильный запах сероводорода, в течение дня на заметный запах жаловались также жители Центрального округа Москвы.

С использованием данного методического подхода, информации о химическом загрязнении воздуха АСКЗА ГПБУ «Мосэкомониторинг» и данных метеостанций «Балчуг» и «ВДНХ» выполнены расчеты по идентификации источника загрязнения. В результате было построено поле интенсивности выбросов потенциального источника с определением области максимальных значений эмиссии H_2S . Область максимальных значений выбросов идентифицируется на высоте 50 м, что указывает на приподнятый (высокий) источник загрязнения, и совпадает с территорией Московского нефтеперерабатывающего завода (МНПЗ) в Капотне (рис. 2).



Рис. 2. Поле интенсивностей источника выбросов сероводорода в Москве 10.11.2014 г. на уровне 50 м (область максимальных значений).

В кружках приведены значения интенсивности выбросов в условных единицах. «10» соответствует максимальному значению выбросов – 3195 г/с. Оставшаяся вне кружков территория характеризуется значительно меньшими (в несколько раз) значениями интенсивности выбросов.

С учетом обусловленной особенностями использованной модели возможной погрешности идентификации интенсивности, которая может достигать до 40%, максимальное значение выбросов составляет порядка 1900 г/с. Таким образом, за час в период с 8 до 11 ч в атмосферу могло поступать примерно 6–7 тонн сероводорода.

Таким образом, апробация представленного метода идентификации источников загрязнения атмосферы показала удовлетворительные результаты. Представленный подход с помощью разработанных численных моделей предполагает его применение в масштабе города или района мегаполиса (на расстоянии до 5–10 км от места выбросов). При этом выбор других параметров моделей и их численной реализации, метеорологических параметров, способов описания процессов в атмосфере вполне может расширить условия применения метода.

6. Правовое обеспечение медико-экологического страхования

Применение медико-экологического страхования для смягчения негативных социально-экономических последствий от экологически обусловленных заболеваний может быть реализовано лишь при создании соответствующей правовой базы.

В связи с этим разработаны предложения по внесению изменений в российское законодательство для создания правового механизма социально-экономической защиты населения в условиях постоянного загрязнения окружающей среды.

С этой целью определены основные направления решения задачи правового обеспечения снижения социально-экономических последствий загрязнения атмосферы, выраженных в финансовых потерях населения от экологически обусловленных заболеваний.

В рамках этой задачи подготовлен проект Федерального закона с рабочим названием «Об обязательном медико-экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха».

На основе анализа существующей законодательной базы определена целесообразность реализации механизма хеджирования как основы медико-экологического страхования путем создания специализированного фонда. С этой целью разработан проект Положения о Фонде обязательного медико-экологического страхования населения, проживающего в условиях постоянного загрязнения атмосферного воздуха.

Также предложен проект Типового положения договора об обязательном медико-экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха.

Введение в действие Федерального закона «Об обязательном медико-экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха» предполагает подготовку и принятие соответствующих нормативных правовых актов, перечень которых был рассмотрен при подготовке проекта федерального закона.

Принятие Федерального закона «Об обязательном медико-экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха»

будет способствовать решению задачи охраны здоровья, повышению социально-экономической защищенности населения, проживающего на территориях с постоянным (не аварийным) загрязнением воздушной среды, развитию и совершенствованию системы экологического и медицинского страхования.

Таким образом, создан пакет проектов основных правовых документов, обеспечивающих построение системы социально-экономической защиты населения в условиях неблагоприятной окружающей среды, в частности, загрязнения атмосферного воздуха, предусматривающий, однако, дальнейшую возможную корректировку по мере реализации данной задачи.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы повышения качества жизни населения в условиях техногенного загрязнения атмосферы и изменяющегося климата за счет снижения дополнительных экономических потерь вследствие повышенной заболеваемости на основе специальных мер по социально-экономической адаптации.

Выполнен анализ исследований нарушений здоровья в городах и их связи с техногенными источниками выбросов, показавший зависимость между повышенной заболеваемостью по основным классам болезней, особенно системы органов дыхания, и экологической ситуацией. Проанализировано возможное совместное влияние загрязнения атмосферы и климатических изменений на здоровье. Показана высокая актуальность проблемы негативных экономических последствий от повышенной заболеваемости для населения на индивидуальном уровне.

Проведенный анализ законодательной базы показал, что компенсация экономического ущерба населению при проживании в условиях постоянного техногенного загрязнения атмосферы в настоящее время не предусмотрена. В качестве возможного способа компенсации вреда здоровью населения, выраженного в финансовых потерях, при проживании на территориях с повышенным уровнем загрязнения атмосферы предложено использовать механизм хеджирования, реализация которого рекомендована путем создания специализированного фонда.

Разработаны научные основы новой формы страхования на базе хеджирования риска для здоровья с использованием специальных контрактов (деривативов) – медико-экологиче-

ское страхование риска для здоровья жителей экологически неблагоприятных территорий в результате проживания в условиях постоянного загрязнения воздушной среды. Данная форма страхования направлена на снижение экономических потерь от экологически обусловленных заболеваний и повышение качества жизни населения.

Для определения цены контракта (или размера премии) разработан методический подход к долгосрочному прогнозу риска для здоровья населения при техногенном загрязнении атмосферы. Данный подход позволяет выполнять не только диагностику риска и его оценку при изменении количества выбросов, но и прогноз с учетом возможных изменений климата.

Предложен методический подход к идентификации источников загрязнения атмосферы для выявления виновных в загрязнении воздуха и оценки их вклада в общий уровень загрязнения с целью дальнейшего определения величины платы за причинение вреда здоровью и связанных с этим финансовых потерь населения.

Подготовлены проекты предложений для внесения изменений в российское законодательство с целью создания правового механизма социально-экономической защиты населения в условиях постоянного загрязнения окружающей среды и изменяющегося климата.

Учитывая, широкие масштабы загрязнения атмосферы во многих городах России, в снижении финансовых потерь от экологически обусловленных заболеваний заинтересована большая часть населения. Поэтому есть все предпосылки для внедрения медико-экологического страхования в практику городского и муниципального управления в городах со сложной экологической обстановкой, прежде всего, в мегаполисах. Грамотно построенный экологический риск-менеджмент, основываясь на специально ориентированных финансово-правовых механизмах, современных разработках в области экологии и медицины, будет способствовать повышению адаптационных возможностей человека, проживающего в условиях неблагоприятной окружающей среды, снижению заболеваемости, улучшению демографической ситуации и социально-экономической защищенности населения.

Список литературы

1. *Анискина О.Г., Панин Б.Д.* Исследование чувствительности дискретной прогностической модели с помощью уравнений в вариациях. Межвуз. сб. Л.: ЛГМИ, 1992, вып. 114. С. 4–11.
2. *Балабина Н.М.* Влияние загрязнения атмосферного воздуха на первичную заболеваемость взрослого городского населения анемиями / Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2005. № 1(39). С. 116–119.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году» / М., 2011. С. 571
4. *Дыбунова Е.Л., Модестов А.А., Терлецкая Р.Н., Торихоева Р.М.* Распространенность аллергических заболеваний у детей, проживающих в различных эколого-географических условиях / Вопросы современной педиатрии. 2007. Т.6. № 4. С. 12–16.
5. *Землянова М.А., Пустовалова О.В., Городнова Ю.В., Лыхина Т.С.* Нарушение биохимических и иммунологических показателей при хроническом гастродуодените у детей в условиях техногенного загрязнения среды обитания / Экология человека. 2010. № 12. С. 3–9.
6. *Макоско А.А., Матешева А.В.* Опыт идентификации источников химического загрязнения атмосферы в Московском регионе / Российский химический журнал, 2016, Т. LX, № 3, С. 113–120.
7. *Макоско А.А., Матешева А.В.* О хеджировании рисков для здоровья населения в условиях постоянного воздействия загрязненного воздуха / Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2010, № 4, С. 374–382.
8. *Макоско А.А., Матешева А.В.* О стратегии экологического риск-менеджмента в области загрязнения атмосферы для повышения качества жизни населения в городах / Инновации, 2010, № 6 (140), С. 86–89.
9. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
10. *Матешева А.В., Макоско А.А.* Методические основы долгосрочного прогноза риска здоровью населения мегаполиса при техногенном загрязнении атмосферы // Инновации, 2009, № 10, С. 46–50.
11. Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания МР 5.1.0029-11. Введ. 2011-07-03. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2011. 19 с.
12. *Немых В.Н., Пашков А.Н., Васильева Л.В.* Экологически обусловленные болезни населения города Воронежа и Воронежской области / Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья, № 14, IV квартал 2003 г.

13. Орлова Г.П., Демидова С.В., Фридман К.Б., Лим Т.Е. Влияние аэро-поллютантов на соотношение неспецифического и атопического процессов при формировании болезней органов дыхания в экологических условиях Санкт-Петербурга / Биосфера. 2010. Т.2. № 4. 566–575.
14. Петров С.Б. Эколого-эпидемиологическая оценка влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на развитие болезней системы кровообращения / Экология человека. 2011. № 2. С. 3–7.
15. Петров С.Б., Онучина Е.Н., Петров Б.А. Эколого-эпидемическое исследование влияния атмосферных выбросов городского промышленно-энергетического комплекса на здоровье населения / Экология человека. 2012. № 3. С. 11–15.
16. Пичужкина Н.М., Кравец Б.Б., Печерских М.В., Карелин А.Ф. Экологическая обусловленность злокачественных новообразований у детей в Воронежской области / Экология человека. 2009. № 4. С. 8–14.
17. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2011. 208 с.
18. Руководство Р. 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Введ. 2004-03-05. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
19. Струкова Е.Б., Балбус Дж., Голуб А.А. Риск для здоровья и экономическая оценка ущерба от загрязнения воздуха в России / Под ред. Б.А. Ревича // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей. М.: 2006. С. 141–175.
20. Тулисов А.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха и вакцинопрофилактики на эпидемический процесс и иммунитет к вирусу краснухи. Автореф.... дис. канд. мед. наук. СПб.: 2006. 21 с.
21. Black F, Scholes M.S. 1973. The pricing of options and corporate liabilities. Journal of Political Economy. Vol. 81 (3). P. 637–654.

А.А. Макоско, А.В. Матешева, В.П. Фетисов

**Повышение качества жизни населения
в условиях загрязнения атмосферы
и изменения климата**

Формат 60 x 84/16

Гарнитура Таймс

Усл. печ. л. 1,63. Усл. изд. л. 1,2

Тираж 100 экз.

Заказ

Издатель – Российская академия наук

Подготовлено к печати

Управлением научно-издательской деятельности РАН

Отпечатано в цифровой типографии ООО «Нюанс»
117036, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 26А, стр.2

Издано в авторской редакции

Издается в соответствии с распоряжением
президиума Российской академии наук
от 24 октября 2017 г. №10106-765,
распространяется бесплатно.