



А.А. Макоско, А.В. Матешева

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ
И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ
В XXI ВЕКЕ:
УГРОЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

МОСКВА
2020

УДК 551.5:504.3+338.2
ББК 26.23:51:60.5:65.28
М16

Рецензенты:

Д.э.н., чл.-корр. РАН В.В. Иванов
Д.т.н. О.В. Ложкина

Макоско А.А., Матешева А.В.

Загрязнение атмосферы и качество жизни населения в XXI веке: угрозы и перспективы. – М.: Российская академия наук, 2020. – 258 с.

Рассматриваются вопросы, связанные с влиянием загрязнения атмосферы, которое в последние десятилетия переросло из локальных явлений в серьезную глобальную проблему и становится ключевым фактором, оказывающим негативное воздействие на состояние окружающей среды, на качество жизни населения России в XXI веке в условиях изменяющегося климата.

Приводятся оригинальные результаты исследований тенденций дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке для регионов России, социально-экономических последствий заболеваний для населения и рисков его здоровью, обусловленных загрязнением атмосферы в изменяющемся климате, оценки динамики комфортности погодно-климатических условий в XXI веке на территории страны. Изложен ряд разработанных методик, в том числе индексирования динамики загрязнения атмосферы, экспресс-оценки риска социальной сфере при стратегическом планировании пространственного развития России, идентификации источников загрязнения атмосферы, снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы на основе экологического риск-менеджмента. Рассмотрены вопросы правового обеспечения снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы.

Издание предназначено для климатологов, метеорологов, медиков, организаторов здравоохранения, специалистов по управлению, градостроителей, экономистов, работников служб социального развития, а также широкого круга заинтересованных читателей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ.....	13
1.1. Основные загрязнители атмосферы	13
1.2. Источники загрязнения атмосферы.....	19
1.2.1. Источники техногенного загрязнения.....	19
1.2.2. Природные источники загрязнения атмосферы	29
1.3. Состояние атмосферного воздуха в Российской Федерации	31
1.4. Загрязнение атмосферы и изменение климата	46
1.4.1. Следствия загрязнения атмосферы.....	48
1.4.2. Изменение климата на территории России.....	52
1.5. Исследование динамики дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке для оценки экологической безопасности регионов России	58
1.5.1. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы.....	60
1.5.2. Оценка динамики загрязнения атмосферы регионов России в первой половине XXI века	66
ГЛАВА 2. КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ	74
2.1. Влияние загрязнения атмосферы и погодно-климатических условий на здоровье населения.....	75
2.1.1. Влияние атмосферных примесей на заболеваемость населения	75
2.1.2. Загрязнение атмосферы и здоровье населения в условиях изменяющегося климата.....	88
2.2. Социально-экономические последствия заболеваний для населения	93
2.2.1. Социально-экономическая оценка заболеваний для населения	93
2.2.2. Оценка ущерба, обусловленного риском для здоровья от загрязнения атмосферы.....	100

ГЛАВА 3. УГРОЗЫ КАЧЕСТВУ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ В XXI ВЕКЕ ОТ ЗАГРЯНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ	106
3.1. Исследование рисков здоровью населения вследствие загрязнения атмосферы в изменяющемся климате XXI века	108
3.1.1. Методология оценки риска для здоровья от загрязнения атмосферного воздуха.....	110
3.1.2. Исследование динамики риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы российских регионов в XXI веке	114
3.2. Исследование тенденций риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы в XXI веке на основе теории чувствительности	135
3.2.1. Общие положения	135
3.2.2. Применение методов теории чувствительности для исследования риска здоровью от загрязнения атмосферы	137
3.2.3. Численная модель для реализации подхода.....	141
3.2.4. Оценка тенденций риска для здоровья населения Московского мегаполиса от загрязнения атмосферы в XXI веке	146
3.3. О динамике комфортности погодно-климатических условий в XXI веке	160
3.4. Экспресс-оценка риска социальной сфере при стратегическом планировании пространственного развития России	167
3.4.1. Общий методический подход к экспресс-оценке риска социальной сфере.....	167
3.4.2. Пример построения методики экспресс-оценки риска социальной сфере и его расчета при стратегическом планировании развития регионов России	172
ГЛАВА 4. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСК- МЕНЕДЖМЕНТА	177
4.1. Методология снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы.....	178
4.1.1. Общие положения	178
4.1.2. Применение хеджирования для управления риском здоровью от загрязнения атмосферы и повышения качества жизни населения.....	182

4.1.3. Схемы адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы.....	189
4.1.4. Порядок осуществления хеджирования и ожидаемые эффекты	200
4.1.5. Идентификация источников загрязнения атмосферы.....	202
4.1.6. Рекомендации по применению методологии снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы	216
4.2. Правовое обеспечение снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы	220
4.2.1. Правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха, здоровья и социально-экономической защиты граждан	221
4.2.2. Правовое обеспечение применения хеджирования	225
4.2.3. Возможности совершенствования правовой базы для повышения качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата на основе риск-менеджмента.....	228
ЛИТЕРАТУРА.....	231

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферу Земли относят к дисперсным системам¹, а загрязняющие ее вещества принято называть загрязнителями, примесями или аэрозолями.

Загрязнение атмосферы в последние десятилетия переросло из локальных явлений в серьезную глобальную проблему. Оно становится ключевым фактором, оказывающим негативное воздействие на состояние окружающей среды. Выбрасываемые в атмосферу загрязняющие примеси не только уничтожают живую природу, отрицательно воздействуют на здоровье людей, но и способны изменить свойства самой атмосферы, что может привести к дополнительным нежелательным экологическим и климатическим последствиям.

1. Согласно статье 2.42 ГОСТ Р 56828.15-2016 загрязнение – это привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, приводящих к превышению в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня концентраций перечисленных агентов в среде, и, как следствие, к негативным воздействиям на людей и окружающую среду.

По данным Государственного доклада² «с 2014 г. наблюдается непрерывный рост общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (на 3,5 %)), 48 городов и городских округов Российской Федерации включены в ранжированный перечень, как характеризующиеся наибольшими

¹ Дисперсные системы – это многокомпонентные гетерофазные смеси различного агрегатного состояния, состоящие из сплошной, непрерывной фазы (дисперсионной среды), и прерывистой дисперсной фазы в виде частиц различного размера, формы и агрегатного состояния.

² Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019, 844 с.

значениями показателя «выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников».

Источники загрязнения атмосферы разделяются на естественные (извержения вулканов, лесные пожары, пыльные бури, процессы выветривания, разложение органических веществ) и антропогенные (искусственные). В последние десятилетия антропогенные факторы загрязнения атмосферы стали превышать по масштабам естественные, приобретая глобальный характер. При этом антропогенные выбросы более опасны, чем загрязнения природного происхождения.

В мире отмечается значительное усиление обеспокоенности научной общественности в связи с возрастающим загрязнением воздуха микронным и субмикронным атмосферным аэрозолем или твердыми частицами (или РМ от английского Particulate Matter). Это связано с особо вредным воздействием на здоровье человека взвешенных частиц отмеченного размера, способных к проникновению в нижние отделы респираторного тракта и приводить к увеличению случаев респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, снижению продолжительности жизни и росту преждевременной смертности.

Большую опасность вызывает загрязнение стойкими органическими загрязнителями, которые имеют антропогенное происхождение (продукты химической промышленности, сгорания топлива, транспорта, сельского хозяйства). Благодаря низкой летучести, высокой устойчивости и биоаккумуляции эти загрязнители переносятся на тысячи километров от источника (дальний перенос) и накапливаются в тканях растений и всех живых организмов, создавая дополнительный риск здоровью человека. Такой дальний перенос атмосферных примесей происходит, как правило, из урбанизированных и промышленных районов, районов природных пожаров и газо/нефтедобычи России, ближайших стран Европы и Азии.

В целом загрязнение атмосферного воздуха является одним из приоритетных факторов риска здоровью населения, связанного с окружающей средой. По оценкам Всемирной

организации здравоохранения¹ уже сейчас смертность от загрязнения атмосферного воздуха составляет ежегодно 4,2 миллиона случаев; 3,8 миллиона человек умирают ежегодно в результате воздействия дыма внутри жилых помещений при использовании неэкологичных кухонных печей и видов топлива; 91% мирового населения проживает в районах, где уровень загрязнения превышает установленные значения.

2. Изменения климата, происходящие в мире, представляют собой значительные факторы риска для здоровья людей. Это: воздействие опасных гидрометеорологических явлений, неблагоприятных погодных условий, аномальных климатических условий (включая условия, создаваемые медленными изменениями климата), влияние волн жары и холода на здоровье населения; увеличение числа климатозависимых инфекционных заболеваний и их продвижение на север (в Северном полушарии).

Различные атмосферные явления служат стресс-фактором для здоровых лиц, а также провоцируют обострение уже существующих патологий. От последствий глобального потепления особенно страдают пожилые люди, младенцы, пациенты с хроническими заболеваниями, а также те, чья профессия связана с тяжелой физической работой на открытом воздухе. Но особенно страдают дети.

Основываясь на 41 ключевом показателе непосредственных и долгосрочных угроз для здоровья от изменения климата, эксперты выделили из них пять наиболее серьезных для детского организма²:

инфекционные заболевания. Бактерии, патогенные микроорганизмы особенно хорошо развиваются в условиях влажного и теплого климата;

недоедание. Последствия – задержка роста, ослабление иммунной системы и нарушения развития;

¹ <https://www.who.int/airpollution/ru>

² <https://rg.ru/2019/11/15/negativnye-posledstviia.html>

аллергии. Из-за изменения климата периоды цветения растений удлиняются, что увеличивает количество пыльцы;

загрязнение воздуха, что негативно скажется на функции легких и приведет к увеличению риска сердечно-сосудистых заболеваний;

повышение температуры воздуха. По статистике, количество жертв в жаркие сезоны сопоставимо с количеством смертельных случаев от ежегодной эпидемии гриппа.

Наблюдаемое в последние десятилетия потепление климата, которое на территории России происходит быстрее и масштабнее, чем в среднем по Земному шару, ведет к увеличению частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений (шквалы, смерчи, ураганы, сильные ливни с грозами, градом и шквалистым ветром, сильные засухи, наводнения, лесные пожары, волны жары и т.д.), повышению частоты неблагоприятных погодных условий. В результате усиливаются угрозы прежде всего здоровью населения. Снижается качество жизни населения.

В загрязненной атмосфере эти угрозы становятся более опасными, а вариации общей циркуляции атмосферы вследствие изменений климата могут привести к заметному перераспределению количества поступающих загрязняющих веществ и областей, оказывающих влияние на регионы при дальнейшем загрязнении.

3. Социально-экономическое развитие территории определяется многими параметрами как экономического, так и социального характера. В таких условиях важно определение интегральных показателей, комплексно оценивающих ситуацию в территории. Важнейший из таких комплексных показателей – качество жизни населения, наиболее часто характеризующее по показателям здравоохранения, образования, демографии, экономических условий, нынешнего и будущего состояния окружающей среды, условиям жизни, занятости, реализации конституционных прав. Индикаторы этих показателей позволяют не только оценивать реальное состояние экономического и

социального развития региона, но и управлять ими наиболее эффективным способом.

Качество жизни – междисциплинарное понятие, которое может различаться в зависимости от научной дисциплины, которая его использует. Например, в экономике делается акцент на фактическую степень удовлетворения основных потребностей человека, уровень его развития и степень обеспечения безопасности жизни. Для медицины характерен упор на здоровье и качество здравоохранения. В экологии наиболее важным считается наличие экологически благополучной окружающей среды. При этом изначально, когда во второй половине XX века начались активные исследования качества жизни, это понятие связывали со здоровьем населения, охраной окружающей среды и развитием городов. В настоящем издании используется именно такой смысл понятия «качество жизни»¹.

4. Разорванность и фрагментарность российского экономического пространства – один из главных рисков безопасности, целостности и конкурентоспособности государства. Для обеспечения системного подхода в управлении пространственным развитием, позволяющего преодолеть социально-экономические диспропорции, снять инфраструктурные ограничения, максимально полно использовать потенциалы регионов, необходим современный механизм стратегического планирования как инструмент воплощения региональных проектов инновационного характера на основе реальных инвестиций. При этом исключительную актуальность приобретает проблема соблюдения баланса между наращиванием экономического потенциала регионов и улучшением (сохранением) комфортной среды жизнедеятельности населения.

¹ В 1990-е годы эксперты ООН разработали широкую систему индикаторов качества жизни, были начаты выпуски ежегодных отчетов о развитии человека, в которых была введена категория «человеческое развитие» и ее измеритель – индекс человеческого развития.

Решение этой проблемы, учитывая, что загрязнение атмосферы, проявления и последствия изменения климата становятся постоянно действующим фактором, влияющим на развитие современного общества, заключается в реализации мероприятий по улучшению экологической ситуации и в долгосрочной оценке (прогнозе) экологической безопасности регионов. На решение этих проблем и сделан акцент настоящего издания.

Отметим, что количество научно-исследовательских работ о негативном влиянии антропогенной нагрузки и климатических факторов на здоровье человека постоянно растет. Увеличение числа подобных работ также свидетельствует об актуальности данной проблематики.

5. В настоящем издании рассматриваются:

необходимые для дальнейшего изложения сведения об основных загрязнителях и источниках загрязнения атмосферы, состояние атмосферного воздуха в стране, взаимосвязи загрязнения атмосферы и изменения климата. Приводятся оригинальные результаты исследования динамики дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке для регионов России на основе авторской методики индексирования динамики загрязнения атмосферы;

известные и новые результаты влияния загрязнения атмосферы и погодно-климатических условий на здоровье населения, а также исследование социально-экономических последствий обусловленных этим заболеваний для населения;

результаты исследования рисков здоровью населения вследствие загрязнения атмосферы в изменяющемся климате XXI века на основе разработанной методологии оценки риска. Исследованы тенденции риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы в XXI веке на основе теории чувствительности. Оценена динамика комфортности погодно-климатических условий в XXI веке на территории страны. Разработан подход к экспресс-оценке риска социальной сфере при стратегическом планировании пространственного развития

России, приведен пример построения методики такой экспресс-оценки и вариант ее расчета при стратегическом планировании развития регионов России;

методология снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы на основе хеджирования для управления риском здоровью от загрязнения атмосферы и схемы адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы. Предложен метод идентификации источников загрязнения атмосферы. Рассмотрены вопросы правового обеспечения снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы на основе риск-менеджмента.

Издание предназначено для климатологов, метеорологов, медиков, организаторов здравоохранения, специалистов по управлению, градостроителей, экономистов, работников служб социального развития, а также широкого круга заинтересованных читателей.

Глава 1.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых острых экологических проблем, которая имеет место не только на урбанизированных территориях вблизи источников эмиссии, но и распространяет свое влияние на отдаленные, малоосвоенные и экологически значимые территории. Это часто не только локальная, но с конца XX столетия также и глобальная экологическая проблема, которая стала еще более актуальной и приобрела новое содержание в связи с глобальным изменением климата и его локальными проявлениями.

Загрязнение атмосферного воздуха оказывает негативное воздействие на человека и экосистемы, уберечься от которого практически невозможно, что способствует ухудшению качества жизни и нарушению принципа устойчивого развития.

1.1. Основные загрязнители атмосферы

Загрязнители атмосферы принято классифицировать по происхождению: естественного или антропогенного (т.е. природного или искусственного).

Природные – это естественные загрязнители минерального, растительного или микробиологического происхождения, к которым относят извержения вулканов, лесные и степные пожары, пыль, пыльца растений, выделения животных и др.

Искусственные (антропогенные) – можно разделить на несколько групп:

транспортные – загрязнители, образующиеся при работе автомобильного, железнодорожного, воздушного, морского и речного транспорта;

производственные – загрязнители, образующиеся как выбросы при технологических процессах, отоплении;

бытовые – загрязнители, обусловленные сжиганием топлива в жилище и переработкой бытовых отходов.

Основными веществами попадающими в атмосферу в процессе деятельности человека являются¹:

- оксид углерода (CO) – бесцветный газ, не имеющий запаха, известный также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При вдыхании угарный газ за счет имеющейся в его молекуле двойной связи образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь;

- двуокись углерода (CO₂) (или углекислый газ) – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов;

- диоксид серы (SO₂) (диоксид серы, сернистый ангидрид) – бесцветный газ с резким запахом. Образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он, в первую очередь, участвует в формировании кислотных дождей. Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем – к воспалению или отеку лёгких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания;

- оксиды азота (оксид и диоксид азота) – газообразные вещества: монооксид азота NO и диоксид азота NO₂ объединяются одной общей формулой NO_x. При всех процессах горения образуются окислы азота, причем большей частью в виде оксида. Чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идет образование окислов азота. Другим источником окислов азота являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения. От общего количества выбрасываемых в

¹ <https://ru-ecology.info/>

атмосферу оксидов азота на транспорт приходится 55 %, на энергетику – 28 %, на промышленные предприятия – 14 %, на мелких потребителей и бытовой сектор – 3 %. При остром отравлении диоксидом азота может развиваться отек легких. Признаками хронического отравления являются головные боли, бессонница, раздражение слизистых оболочек;

- озон (O_3) – газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений. Наиболее высокие концентрации озона наблюдаются в промышленных районах;

- углеводороды – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т.д. Многие углеводороды опасны сами по себе. Например, бензол, один из компонентов бензина, может вызвать лейкемию, а гексан – тяжелые поражения нервной системы человека. Бутадиен является сильным канцерогеном;

- свинец (Pb) – серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства красок, боеприпасов, типографского сплава. Около 60 % мировой добычи свинца ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Однако основным источником (около 80 %) загрязнения атмосферы соединениями свинца являются выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин. Свинец и его соединения, попадая в организм человека, снижают активность ферментов и нарушают обмен веществ. Кроме того, они обладают кумулятивным действием, накапливаясь в организме человека. Особенно серьезную угрозу соединения свинца представляют для детей до шести лет, нарушая умственное развитие, замедляя рост,

ухудшая слух и речь ребенка и лишая его способности сосредоточиться;

- промышленные пыли, которые в зависимости от механизма их образования подразделяются на 4 класса:

механическая пыль – образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса;

возгоны – образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат;

летучая зола – содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении;

промышленная сажа – входящий в состав промышленного выброса твердый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Диаметр частиц пыли колеблется в широких пределах – от 0,1 до 850 мкм. Из этой гаммы наиболее опасны частицы от 0,5 до 5 мкм, поскольку они не оседают в дыхательных путях и именно их выдыхает человек.

В последние десятилетия во всем мире отмечается значительное усиление беспокойности в связи с возрастающим загрязнением воздуха микронным и субмикронным атмосферным аэрозолем или твердыми частицами (или РМ от английского Particulate Matter - вошедшее в широкое употребление сокращение). В первую очередь, это связано с вредным воздействием взвешенных частиц на здоровье человека. Результаты большого объема эпидемиологических и токсикологических исследований указывают на наличие связи между повышенными уровнями концентраций РМ₁₀ (частиц с диаметрами менее 10 мкм) и РМ_{2.5} (частиц с диаметрами менее 2.5 мкм), способных к проникновению в нижние отделы респираторного тракта, и увеличением случаев респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также снижением продолжительности жизни и ростом преждевременной смертности.

В частности, в зонах интенсивных пылевых загрязнений возникает ряд специфических заболеваний. К ним, среди прочих, относятся силикоз и асбестоз, приводящие к изменению тканей легких. Силикоз вызывается кварцевой пылью с размерами частиц около 3 мкм. Асбестоз — иглами асбеста длиной более 5 мкм и сечением около 3 мкм. В отличие от химически инертных частиц кварца и асбеста, действующих на организм чисто механически, мельчайшие частицы металлов, или ионы металлов, вызывают образование в крови токсических продуктов биохимических реакций. Особенно распространенными заболеваниями являются токсичные отравления свинцом, кадмием, алюминием, бериллием и их соединениями, а также вспышки инфекционных заболеваний у людей, имевших длительный контакт с пылью вольфрама, ванадия, титана и ряда шлаков металлургических производств. Многие виды пылей антропогенного происхождения являются причинами аллергических заболеваний. При этом аллергенами могут быть пыли как минерального, так и органического происхождения. Гигроскопические пыли могут обезвоживать поверхности листьев растений, образуя на них корку, что нарушает естественные процессы обмена.

В настоящее время существует консенсус, что мелкодисперсный антропогенный аэрозоль оказывает существенное влияние на климат. Поглощая, отражая и рассеивая радиационные потоки, влияя на процессы облакообразования и изменяя свойства облаков, атмосферный аэрозоль вносит вклад в изменение радиационного баланса в системе земля-атмосфера, а, следовательно, в изменение погоды и климата, что наиболее заметно в крупных городах и промышленных центрах. При определенных условиях взвешенные в воздухе частицы могут приводить к существенному снижению видимости.

PM₁₀, и в особенности PM_{2.5}, вследствие их медленного естественного выведения из атмосферы характеризуются относительно долгой продолжительностью жизни в атмосфере и поэтому могут переноситься на большие расстояния. Следствием

этого является весьма значительный вклад фоновой (т.е. на значительном удалении от источников) составляющей в сельских и даже городских концентрациях РМ. Таким образом, проблема загрязнения воздуха взвешенными частицами носит не только местный, но и, в значительной степени, региональный, в том числе, трансграничный характер.

Часть атмосферных аэрозолей, содержащие ионы сульфата, нитрата и аммония, наносят ущерб природным экосистемам, приводя к подкислению и эвтрофикации почв и водных бассейнов. Кроме того, аэрозоли способствуют коррозии металлов, деградации зданий и материалов, включая памятники культуры и другие возведенные человеком сооружения.

В отличие от газовых примесей РМ являются, в основном, сложной гетерогенной смесью многих компонентов, причем их свойства (спектр распределения по размерам, химический состав) широко изменяются во времени и пространстве. Свойства РМ определяются выбросами из различных источников, химическим режимом атмосферы и метеорологическими условиями и изучены значительно меньше по сравнению с газовыми примесями. Хотя большую часть массы глобального тропосферного аэрозоля составляют частицы природного происхождения (эрозионная пыль, морской аэрозоль, результаты извержений вулканов и лесных пожаров и др.), антропогенный компонент преобладает в РМ в районах развитой промышленной и сельскохозяйственной деятельности и в результате выбросов от автотранспорта.

К опасным факторам антропогенного характера, способствующим серьезному ухудшению качества атмосферы, следует отнести ее загрязнение радиоактивной пылью. Так, при ядерных взрывах или авариях на АЭС большая часть радионуклидов образуется в результате деления урана-235, урана-238 и плутония-239. Установлено, что через несколько десятков секунд после взрыва образуются примерно 100 различных радионуклидов, 29 из которых вносит наибольший вклад в радиоактивное загрязнение атмосферы через час, 20 -

через двое суток, а 3 – через 100 лет. Особую потенциальную опасность для человека и животных представляет стронций-90 не только как долгоживущий элемент, но и как аналог кальция, способный заменять его в костях.

В заключение отметим, что по оценкам Всемирной организации здравоохранения 91% мирового населения проживает в районах, где уровень загрязнения превышает значения, установленные в ее рекомендациях по качеству воздуха; 4,2 миллиона случаев смертей каждый год являются результатом негативного воздействия загрязнения атмосферного воздуха¹. Эти данные не требуют комментариев, но призывают к глубоким размышлениям и активным действиям за чистоту атмосферного воздуха и одновременно к рациональным научно обоснованным предложениям по адаптации населения к этим негативным явлениям.

1.2. Источники загрязнения атмосферы

1.2.1. Источники техногенного загрязнения

Существуют различные варианты классификации источников техногенного загрязнения атмосферы. Главным образом, источники выбросов подразделяют на стационарные и передвижные.

Стационарные источники, в свою очередь, разделяются на источники с организованным выбросом, от которых загрязняющие вещества в составе отходящего газа поступают в атмосферу через систему газоотходов, и источники с неорганизованным выбросом, от которых выбросы поступают в воздушную среду в виде ненаправленных потоков пыли и газа в

¹ <https://www.who.int/airpollution/ru/>

результате нарушения герметичности или отсутствия укрытий технологического оборудования.

Под передвижными источниками выбросов, как правило, понимают различного рода транспортные средства.

Общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2018 г. по данным Росприроднадзора составил 32327 тыс. т [1].

Эмиссии от различных стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, в том числе объектов транспортной инфраструктуры, составляют 52,8 % (17068 тыс. т).

Одним из основных источников загрязнения атмосферы на территории страны является автомобильный транспорт (передвижные источники), на долю которого приходится 46,7 % суммарного выброса загрязняющих веществ (15108 тыс. т).

Автомобильный транспорт. В структуре выбросов транспортного комплекса страны на долю автомобильного транспорта приходится более 90 % суммарного объема (без учета трубопроводного транспорта) [2].

Автомобильный парк в России насчитывает около 54,2 млн. единиц, в том, в том числе 46,9 млн. – легковых, 6,4 млн. – грузовых и 0,9 млн. – автобусов. За последние 25 лет в стране отмечалась устойчивая тенденция к росту численности автотранспортных средств (АТС). Около половины транспортных средств по всем категориям находятся в эксплуатации свыше 10 лет. При этом отмечается изменение структуры автомобильного парка, в котором все большее место занимают импортные АТС с более высокими техническими, а также улучшенными экологическими характеристиками (экологические классы Евро-4 и Евро-5). Улучшается качество используемого моторного топлива. Основная масса (около 80 %) вредных веществ выбрасывается автотранспортом на территориях населенных пунктов. Автотранспорт – лидер в загрязнении атмосферного воздуха на городских территориях [2, 3].

В инфраструктуре транспортной отрасли насчитывается несколько тысяч крупных и средних автотранспортных

предприятий и организаций, занятых пассажирскими и грузовыми перевозками. В большом количестве появились коммерческие транспортные организации небольшой мощности. Все эти организации осуществляют не только автомобильные перевозки, но и техническое обслуживание, а также ремонт автомобилей. Такие организации являются дополнительными источниками негативного воздействия на окружающую среду.

Специфика передвижных источников загрязнения (автомобилей) состоит в:

- высоких темпах роста численности АТС;
- их пространственной рассредоточенности (автомобили распределяются по территории и создают общий повышенный фон загрязнения);
- непосредственной близости к жилым, общественным и производственным зданиям (автомобили заполняют все местные проезды и дворы);
- более высокой токсичности выбросов АТС по сравнению с выбросами стационарных источников;
- сложности технической реализации средств защиты от загрязнения на передвижных источниках;
- низком расположении источника загрязнения от земной поверхности, в результате чего отработавшие газы автомобилей скапливаются в зоне дыхания людей и слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами и выбросами стационарных источников транспорта.

Основные выбросы от передвижных источников поступают в атмосферный воздух с отработавшими газами автомобилей. В составе выбросов содержится более 20 вредных веществ, среди которых основную массу составляют оксид углерода, оксиды азота, сернистые соединения, сажа, углеводороды.

Основными стационарными источниками загрязнения воздуха инфраструктуры автомобильного транспорта являются автозаправочные станции, станции технического обслуживания

автомобилей, базы дорожной техники, асфальтобетонные заводы, автостоянки.

Автодороги являются источником поступления в атмосферный воздух опасных для здоровья человека продуктов эксплуатационного износа дорожного полотна, а также шин и тормозных колодок в процессе движения по дорогам автомобилей [4].

Так как автотранспорт является основным источником загрязнения атмосферы, ниже представлено распределение вклада автомобильного транспорта в общем объеме выбросов по субъектам Российской Федерации (табл. 1.1) на основании данных [1].

Из анализа этой таблицы видно, что в значительной части субъектов РФ эмиссии от автомобильного транспорта составляют более половины от валовых выбросов. В части субъектов выбросы автотранспорта достигают 70-90 %.

Таблица 1.1

Распределение вклада автомобильного транспорта в общий объем выбросов по субъектам Российской Федерации [1]

Субъект РФ	Вклад, %	Субъект РФ	Вклад, %
1	2	3	4
Центральный ФО		Южный ФО	
Белгородская обл.	48,6	Республика Адыгея	84,5
Брянская обл.	66,1	Республика Калмыкия	91,0
Владимирская обл.	75,6	Республика Крым	85,1
Воронежская обл.	71,4	Краснодарский край	40,5
Ивановская обл.	81,8	Астраханская обл.	70,9
Калужская обл.	79,0	Волгоградская обл.	66,1
Костромская обл.	66,4	Ростовская обл.	88,9
Курская обл.	64,6	г. Севастополь	91,5
Липецкая обл.	31,3	Приволжский ФО	
г. Москва	93,5	Республика Башкортостан	48,4
Московская обл.	78,3	Республика Марий Эл	60,5
Орловская обл.	78,2	Республика Мордовия	71,7
Рязанская обл.	63,5	Республика Татарстан	49,2

1	2	3	4
Смоленская обл.	61,1	Удмуртская республика	44,4
Тамбовская обл.	65,1	Республика Чувашия	69,4
Тверская обл.	82,6	Пермский край	52,8
Тульская обл.	64,8	Кировская обл.	55,0
Ярославская обл.	61,4	Нижегородская обл.	77,8
Северо-Западный ФО		Оренбургская обл.	35,0
Республика Карелия	40,2	Пензенская обл.	80,6
Республика Коми	14,1	Самарская обл.	59,3
Архангельская обл.	44,7	Саратовская обл.	67,8
Вологодская обл.	25,7	Ульяновская обл.	78,9
Калининградская обл.	80,7	Сибирский ФО	
Ленинградская обл.	46,6	Республика Алтай	88,7
Мурманская обл.	21,8	Республика Тыва	81,6
Новгородская обл.	57,5	Республика Хакасия	34,5
Псковская обл.	67,0	Алтайский край	56,2
г. Санкт-Петербург	84,7	Красноярский край	11,3
Ненецкий автономный округ	5,9	Иркутская обл.	28,2
Уральский ФО		Кемеровская обл.	14,5
Курганская обл.	71,5	Новосибирская обл.	68,5
Свердловская обл.	38,6	Омская обл.	47,1
Тюменская обл.	49,2	Томская обл.	31,8
Ханты-Мансийский автономный округ	16,1	Дальневосточный ФО	
Ямало-Ненецкий автономный округ	9,4	Республика Бурятия	56,2
Челябинская обл.	41,3	Республика Саха (Якутия)	28,6
Северо-Кавказский ФО		Забайкальский край	53,8
Республика Дагестан	94,7	Камчатский край	57,1
Республика Ингушетия	95,7	Приморский край	57,7
Кабардино-Балкарская республика	96,9	Хабаровский край	59,2
Карачаево-Черкесская республика	73,7	Амурская обл.	40,5
Республика Северная Осетия-Алания	87,7	Магаданская обл.	51,0
Чеченская республика	88,4	Сахалинская обл.	40,9
Ставропольский край	75,6	Еврейская автономная обл.	46,4
-	-	Чукотский автономный округ	17,7

Железнодорожный транспорт. По данным [3], в России рабочий парк груженных железнодорожных вагонов (в среднем в сутки) составляет примерно 417 тыс. ед., рабочий парк пассажирских вагонов – 23,3 тыс. ед. По железным дорогам общего пользования в Российской Федерации перевозится порядка 1384 млн. т грузов и отправляется 1121 млн. чел пассажиров, по железнодорожным путям организаций (промышленный железнодорожный транспорт) перевозится около 3 млрд. т грузов.

Несмотря на высокий грузо- и пассажирооборот, загрязнение атмосферного воздуха железнодорожным транспортом в целом значительно меньше по сравнению с автомобильным.

Основная причина этого состоит в том, что более 85 % грузов и 80 % пассажиров перевозятся посредством электрической тяги, а наибольшая доля загрязняющих веществ поступает от стационарных источников железнодорожного транспорта [2].

Среди передвижных источников выбросов в атмосферу выделяются [2]:

- магистральные и маневровые локомотивы, притрассовый автотранспорт, строительные, путевые и ремонтные машины (выбросы отработавших газов);
- пассажирские вагоны с печным отоплением (выделение продуктов сжигания каменного угля);
- вагоны с токсичными и пылящими грузами, нефтепродуктами (поступление загрязняющих веществ при перевозке и перегрузке);
- рефрижераторные секции и вагоны (выбросы от автономных дизелей, обеспечивающих работу холодильных установок).

Около 80 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных объектов поступает в результате сжигания топлива в котлоагрегатах (котельных, кузнечных производствах). Как правило, при каждом ремонтном предприятии железнодорожного транспорта имеется собственная котельная,

работающая на газе или мазуте. Количество эксплуатируемых котельных на железнодорожном транспорте составляет около 10 % от их общего количества в России [2].

Локомотивные, вагонные депо, предприятия промышленного железнодорожного транспорта, заводы по ремонту подвижного состава имеют производства и осуществляют технологические процессы по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава. Компоненты и структура загрязняющих веществ у них в основном совпадают.

В локомотивных депо производится загрузка сухого песка в тормозную систему локомотива. Данный процесс сопровождается выделением пылевидных частиц в воздушную среду.

Специфическими для железнодорожного транспорта являются предприятия по подготовке и пропитке шпал (поступление загрязняющих веществ в результате использования антисептика для пропитки шпал), щебеночные заводы (выделение минеральной пыли с содержанием диоксида кремния свыше 70 %), промывочно-пропарочные станции (поступление загрязняющих веществ в процессе очистки цистерн).

Железные дороги являются источником поступления в окружающую среду металлической пыли, содержащей железо, марганец, хром, в процессе истирания рельсов и бандажей колесных пар в процессе торможения.

Воздушный транспорт. По данным [3], в России насчитывается 7 тыс. ед. гражданских воздушных судов. Посредством воздушного транспорта перевозится порядка 1,3 млн. т грузов и 107,8 млн. чел. пассажиров.

Как источник воздействия на атмосферу воздушный транспорт имеет ряд отличительных особенностей по сравнению с другими видами транспорта:

- использование в основном газотурбинных двигателей и керосина в качестве топлива обуславливает иную структуру выбросов отработавших газов;

- полеты самолетов на больших высотах и с высокими скоростями обуславливают рассеивание продуктов сгорания в верхних слоях атмосферы и на больших территориях, что снижает степень их влияния на живые организмы.

Воздушные суда загрязняют приземный слой атмосферы отработавшими газами авиадвигателей вблизи аэропортов и более верхние слои атмосферы на высотах крейсерского полета. На отработавшие газы авиационных двигателей приходится 87 % всех выбросов гражданской авиации, включающих также выбросы спецавтотранспорта и стационарных источников. Большая часть этих веществ (примерно 2/3) выбрасывается на высотах более 900 м, и поэтому их вредное воздействие на живые организмы считается не столь значительным [2].

Существенное влияние на воздушную среду как стационарные источники оказывают несколько десятков крупных аэропортов России, которые имеют серьезную авиационно-техническую базу, большие аэровокзальные комплексы, склады горюче-смазочных материалов, котельные, мусоросжигательные станции и т.п.

Водный транспорт. По данным [3], в России насчитывается около 2718 ед. морских судов торгового флота и 24339 ед. речных и озерных судов. Посредством морского транспорта перевозится порядка 24,6 млн. т грузов и 11714,4 тыс. чел. пассажиров, с помощью внутреннего водного транспорта – 118,5 млн. т грузов и 12,7 млн. чел. пассажиров.

Водный транспорт как передвижной источник загрязнения атмосферы несет опасность в виде выбросов отработавших газов судовых энергетических установок, выбросов при работе вспомогательных утилизационных котлов и инсинераторов. Кроме этого, при транспортировке нефти и нефтепродуктов происходит испарение летучих органических соединений.

Стационарные источники загрязнения атмосферы на водном транспорте – морские и речные порты. Загрязнение атмосферного воздуха здесь происходит в процессе погрузки/разгрузки, хранения грузов, ремонта судов и портового

оборудования, швартовки судов. В портовых районах наблюдается повышенная запыленность воздушной среды.

Среди основных «нетранспортных» стационарных источников загрязнения атмосферы по степени воздействия на атмосферу можно выделить *производства по добыче полезных ископаемых*, имеющие вклад в общий объем выбросов от стационарных источников 28 % (4581,4 тыс. т [1]). Существенную долю в добывающей промышленности составляет нефтегазовый сектор. По данным Министерства энергетики РФ в 2019 г. суммарная добыча газа¹ (природного и попутного нефтяного) в Российской Федерации достигла рекордного за последние 19 лет уровня – 737,8 млрд куб. м., объем национальной добычи нефтяного сырья² составил в абсолютном выражении 561,2 млн т. Кроме этого, в России в 2019 г. было добыто 441,4 млн т. угля³.

В процессе освоения нефтяных и газовых месторождений наиболее активное воздействие на природную среду осуществляется в пределах территорий самих месторождений, трасс линейных сооружений (в первую очередь магистральных трубопроводов), в ближайших населенных пунктах (городах, поселках).

Газодобывающее предприятие предназначено обеспечить добычу, сбор и подготовку газа и газового конденсата к дальнейшему транспорту. Работа установок на объектах добычи и промысловой обработки газа сопровождается выделением в атмосферу загрязняющих веществ за счет технологических выбросов от печей регенерации осушителей и антигидратных ингибиторов, установок аминовой сероочистки, печей-подогревателей, котельных, газоперекачивающих агрегатов, факельных установок для сжигания газов. Возможны также выделения газа вследствие негерметичности оборудования и

¹ <https://minenergo.gov.ru/node/1156>

² <https://minenergo.gov.ru/node/910>

³ <https://minenergo.gov.ru/node/435>

выбросы, связанные с отклонением от технологического режима (сброс с предохранительных клапанов, аварийный сброс) [5].

Добыча нефти сопровождается поступлением в атмосферу больших объёмов попутного газа, значительная часть которого сжигается в факельных установках [6]. Источниками выделения паров нефти служат процессы перелива нефти, например, налив в автоцистерны, а также неплотности соединений технологического оборудования [7].

Основной проблемой воздействия на атмосферу предприятий угледобывающей отрасли является выделение шахтного газа, в составе которого присутствует метан, способствующий усилению парникового эффекта [8].

Поступление загрязняющих веществ в атмосферу при добыче минерального сырья и эксплуатации шахт, карьеров, приисков происходит в процессе подготовки (взрывные работы) и выемки горных пород, их транспортировке, разгрузке, отвалообразованию и складированию, обогащению. В ходе данных процессов происходит значительное образование и рассеивание пыли. При работе котельных и производственных машин в атмосферу поступают отработавшие газы.

Особую проблему представляют отходы обогащения, которые после осушения легко подвергаются разрушению ветром и переносятся по воздуху на большие расстояния, а вблизи источников добычи образуют пыльные бури [9].

Обрабатывающие производства также являются одними из ведущих источников загрязнения атмосферы и составляют 22 % в общем объеме выбросов от стационарных источников (3756,2 тыс. т [1]). Среди них наиболее серьезную проблему в плане загрязнения воздушной среды представляют предприятия черной и цветной металлургии.

В черной металлургии основными источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу являются процессы производства окатышей и агломератов, коксохимическое, ферросплавное и литейное производства. Уровень последствий для атмосферы зависит от сырьевого фактора, состояния фондов,

энергоёмкости производств и прочего. Предприятия черной металлургии России выбрасывают в атмосферу в восемь раз больше пылевидных частиц, нежели аналогичные предприятия в Европе и Северной Америке.

Степень воздействия цветной металлургии на состояние природной среды в целом аналогична нагрузке на окружающую среду предприятий черной металлургии. Предприятия цветной металлургии характеризуются выбросами веществ 1 и 2 классов опасности. Особенностью данной отрасли является значимое поступление в атмосферу тяжелых металлов [10].

Одним из составляющих обрабатывающей отрасли является производство строительных материалов, которое связано с выделением в атмосферу значительных объемов пыли, сажи, газообразных выбросов. В основном это цементно- и асфальтобетонные, известковые, деревообрабатывающие производства, заводы по выпуску керамзита, кирпича, бетонной смеси, сборных железобетонных изделий, домостроительные комбинаты и т.д.

Заметное влияние на состояние атмосферы оказывает химическая промышленность, степень воздействия которой определяется специализацией и используемой сырьевой базой, которая может быть весьма разнообразной и зависит от природных и экономических особенностей отдельных регионов.

1.2.2. Природные источники загрязнения атмосферы

Одним из самых мощных природных источников загрязнения атмосферы можно назвать ***вулканические извержения***. Эти крайне редкие и резкие по своей природе события происходят в течение относительно короткого времени, но последствия их воздействия порой могут растянуться на годы. Помимо оседания вулканического пепла на больших площадях земной поверхности, продукты мощных вулканических извержений поступают в стратосферу и сохраняются в ней на

протяжении года и более, изменяя химический состав воздуха и воздействуя на радиационный фон и климат Земли [11].

Значительные проблемы ежегодно на разных континентах доставляют *природные пожары*. Наблюдаемые в последнее время на территории Северной Евразии теплые сезоны с аномальной жарой отмечаются сильными пожарами в различных регионах. Лесные пожары представляют собой почти неуправляемое горение биомассы. При этом в атмосферу поступает большое число различных органических и неорганических веществ, активно участвующих в химических процессах, что может изменить состав и физические свойства приземной атмосферы не только в региональном, но и в глобальном масштабах. [12].

Не менее значимой природной причиной загрязнения атмосферы являются процессы *выноса пыли (аэрозолей)* различного состава и размеров из степных или опустыненных регионов во время пыльных бурь, а также в сухую жаркую погоду в отсутствие сильного ветра. При этом мелкодисперсные аэрозоли в составе пыли могут присутствовать в атмосфере длительное время и распространяться по воздуху на большие расстояния. В условиях наблюдаемого изменения климата все чаще отмечается частота и продолжительность засухливых периодов и интенсификация процессов опустынивания территорий [13].

Пыльцу растений, микроорганизмы, споры грибов также можно рассматривать в качестве загрязнителей атмосферного воздуха. В последние годы присутствие этих биологических агентов в атмосфере стало вызывать повышенный интерес в связи с их взаимодействием с антропогенными примесями, присутствующими в воздушной среде, и повышением их негативного влияния на здоровье человека, которое выражается, прежде всего, в росте аллергической заболеваемости [14]. Наблюдаемые климатические изменения, которые, прежде всего, выражаются в увеличении температуры воздуха, приводят к появлению в атмосфере некоторых регионов пылицы

несвойственных данной местности растений [15], что провоцирует неблагоприятные последствия для населения.

1.3. Состояние атмосферного воздуха в Российской Федерации

Анализ динамики уровня валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Российской Федерации с 2000 по 2018 гг. на основании данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат)¹ показывает, что в целом по стране масса выброшенных веществ в 2018 г. приблизительно соответствуют уровню выбросов 2000 г.

При этом период в 2001-2008 гг. характеризовался заметным увеличением поступления загрязняющих веществ как от стационарных, так и передвижных источников. Однако затем наметилась устойчивая тенденция к снижению техногенного воздействия на атмосферу в основном за счет стационарных источников с минимальными значениями эмиссии, приходящимися на 2014-2016 гг. Данная ситуация обусловлена переходом части предприятий на более современные оборудование и технологии, в том числе и в отношении природо- и ресурсосбережения. Кроме этого, экономический кризис 2014-2015 гг., вероятно, привел к сокращению производственных мощностей ряда предприятий. Относительно передвижных источников, особенно автотранспорта, в последние годы напротив наметилась неблагоприятная динамика к росту выбросов в связи с заметным ростом автопарка, в частности, легковых автомобилей, несмотря на повсеместный переход на более качественное моторное топливо и увеличение доли импортных транспортных средств (табл. 1.2).

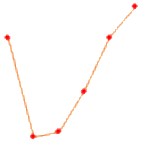
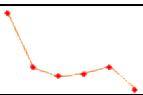
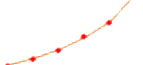
В 2018 году наблюдения за загрязнением атмосферы в России выполнялось в 246 городах и на 667 станциях, из них

¹ <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>

регулярные наблюдения проводились в 221 городе на 611 станциях. Наибольшая доля городов с регулярными наблюдениями находится в Приволжском федеральном округе (17,5%), наименьшая – в Северо-Кавказском федеральном округе (3,3%) [1].

Таблица 1.2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух
в Российской Федерации в 2013-2018 гг., тыс. т
(по данным Росстата)

Выброшено загрязняющих атмосферу веществ ВСЕГО	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Тенденция
	32063	31228	31269	31617	32068	32327	
в том числе:							
стационар- ными источниками	18447	17452	17296	17349	17477	17068	
передвиж- ными источниками	13617	13776	13973	14268	14591	15259	

По данным Росгидромета, в 2018 году в 40 % городов России, охваченных сетью наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, уровень загрязнения атмосферы оценивался как повышенный, высокий и очень высокий.

Наиболее распространенными загрязнителями атмосферы в городах являются взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, бенз(а)пирен, формальдегид, фенол, фторид водорода, хлорид водорода, аммиак, сероводород, этилбензол.

В 143 городах России в 2018 г. среднегодовая концентрация одного или нескольких веществ превышала предельно допустимые концентрации (ПДК), в 37 городах максимальные концентрации превышали 10 ПДК. Превышение порога в 1 ПДК

наблюдается, в основном, по взвешенным веществам, диоксиду азота, формальдегиду и бенз(а)пирену; превышение в 10 ПДК отмечается по бенз(а)пирену, сероводороду, этилбензолу, диоксиду азота, свинцу, ксилолу [1].

При этом порядка 56 млн. человек проживают в условиях неудовлетворительного состояния атмосферного воздуха, когда средние за год концентрации примесей хотя бы по одному веществу превышали ПДК; 12,6 млн. человек проживают в условиях, когда максимальные концентрации примесей хотя бы по одному ингредиенту превышали 10 ПДК.

Рассмотрим ситуацию с загрязнением атмосферного воздуха в 2018 году по федеральным округам Российской Федерации [1].

В *Центральном федеральном округе* высоким уровнем загрязнения атмосферы характеризовались 2 города: Воронеж и Курск. В целом по округу общий объем выбросов загрязняющих веществ составил 5 375,1 тыс. т. В разрезе субъектов ЦФО наибольший показатель 1 028,4 тыс. т общего объема выбросов был отмечен в Московской области, при этом 78,3 % составили выбросы от передвижных источников загрязнения. Костромская область характеризовалась наименьшим показателем – 96,1 тыс. т, из них выбросов от передвижных источников 66,8 %.

В *Северо-Западном федеральном округе* городов с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха зарегистрировано не было. Общий объем выбросов по всему округу составил 3 249,2 тыс. т. В разрезе субъектов СЗФО наибольший показатель объемов выброса в Республике Коми – 569,0 тыс. т., из них 14,2 % от передвижных источников, а наименьший показатель в Ненецком автономном округе – 77,7 тыс. т., из них 5,9 % от передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха.

В *Южном федеральном округе* 4 города (Астрахань, Батайск, Новочеркасск, Ростов-на-Дону) характеризовались высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. Общий объем выбросов загрязняющих веществ по округу составил 2 818,1 тыс. т. В разрезе субъектов ЮФО: в Краснодарском крае наибольший показатель выбросов – 1 392,2 тыс. т., из них 59,3 %

– от передвижных источников, а наименьший показатель выбросов загрязняющих веществ (38,9 тыс. т.) – в г. Севастополе, из них 91,6 % – от передвижных источников.

В *Северо-Кавказском федеральном округе* 2 города: Владикавказ и Махачкала характеризовались высоким уровнем загрязнения атмосферы. Общий объем выбросов загрязняющих веществ в целом по округу составил 1 073,8 тыс. т. Наибольший показатель общего объема выбросов отмечен в Ставропольском крае (395 тыс. т.), при этом выбросы от передвижных источников составили 75,9 %. Наименьший показатель отмечен в Республике Ингушетия – 34,8 тыс. т., из них 95,7 % – от передвижных источников.

В *Приволжском федеральном округе* городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы не отмечено. Общий объем выбросов составил 5 606,9 тыс. т. В разрезе субъектов округа наибольший показатель общего объема выбросов – в Республике Башкортостан (886,2 тыс. т.), из них 48,6 % – от передвижных источников. Наименьший показатель (96,1 тыс. т.) – в Республике Марий Эл, из них 60,6 % составляют выбросы от передвижных источников.

В *Уральском федеральном округе* 2 города (Златоуст и Магнитогорск) характеризовались высоким уровнем загрязнения атмосферы. Общий объем выбросов загрязняющих веществ в целом по округу составил 5 221,5 тыс. т. В разрезе субъектов: в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра отмечен наибольший показатель выбросов (1 648,1 тыс. т.), из них 16,5 % – от передвижных источников, а наименьший показатель выбросов загрязняющих веществ (137,9 тыс. т.) – в Курганской области, где 71,8 % – от передвижных источников.

В *Сибирском федеральном округе* 26 городов (Абакан, Ангарск, Ачинск, Байкальск, Барнаул, Бийск, Братск, Зима, Иркутск, Искитим, Кемерово, Красноярск, Кызыл, Лесосибирск, Минусинск, Назарово, Новокузнецк, Новосибирск, Норильск, Прокопьево, Саянск, Свирск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Черногорск, Шелехов) характеризовались высоким и очень

высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. В целом по округу общий объем выбросов загрязняющих веществ составил 6 925,1 тыс. т. В разрезе субъектов СФО наибольший показатель (2 618,6 тыс. т) общего объема выбросов был отмечен в Красноярском крае, при этом 11,4 % составили выбросы от передвижных источников. Республика Тыва характеризовалась наименьшим показателем – 20,7 тыс. т, из них выбросов от передвижных источников загрязнения атмосферы – 81,6 %.

В *Дальневосточном федеральном округе* 10 городов (Биробиджан, Благовещенск, Гусиноозерск, Петровск-Забайкальский, Селенгинск, Улан-Удэ, Уссурийск, Чегдомын, Чита, Южно-Сахалинск) характеризовались высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. В целом по округу общий объем выбросов составил 2 056,9 тыс. т. В разрезе субъектов ДФО наибольший показатель общего объема выбросов отмечен в Приморском крае и составил 434,8 тыс. т., из них 58,4 % – от передвижных источников. Наименьший показатель (28,2 тыс. т) – в Чукотском автономном округе, из них 17,7 % – выбросы от передвижных источников.

Сравнение уровней загрязнения атмосферы в городах на территориях федеральных округов свидетельствует о том, что больше половины городов, а именно 57 %, с высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха расположены в Сибирском федеральном округе.

Согласно данным наблюдений Росгидромета в 2018 году [1], среднегодовые концентрации *взвешенных веществ* превышали 1 ПДК в 52 городах России. Городов, где максимально разовые концентрации взвешенных веществ превышали 10 ПДК не выявлено. Значения средних из максимальных концентраций были отмечены в интервале 1,2-1,7 ПДК.

В 50 городах среднегодовые концентрации *диоксида азота* превышали ПДК, а в 1 городе максимальные разовые концентрации превышали 10 ПДК. Значения средних из максимальных концентраций были отмечены в интервале 1,2-1,7 ПДК.

Средние за год концентрации бенз(а)пирена превышали ПДК в 56 городах, в 32 городах максимальные разовые концентрации превышали 10 ПДК, а в 49 городах концентрации бенз(а)пирена превышали 5 ПДК. Значения средних из максимальных концентраций превысили ПДК в 8,2 раза.

Сверхнормативному загрязнению атмосферы формальдегидом было подвержено 46 городов, где среднегодовые концентрации превышали ПДК. Не было выявлено городов, где максимальные разовые концентрации превышали 10 ПДК. Значения средних из максимальных концентраций были отмечены в интервале 1,2-1,7 ПДК.

Значения средних из максимальных концентраций по аммиаку, оксиду углерода и сероуглероду зарегистрированы в интервале 1,2-1,7 ПДК, по этилбензолу значения средних из максимальных концентраций превысили ПДК в 4,3 раза.

В табл. 1.3 представлены города, где максимально разовые концентрации загрязняющих веществ превышали ПДК 2 и более раз, кроме того максимальные разовые концентрации этилбензола были отмечены в Омске, оксида углерода – в Новочеркасске, формальдегида – в Белоярском.

В Искитиме с 2013 по 2018 года наблюдается рост концентраций всех основных загрязняющих веществ. По сравнению с 2017 годом концентрация бенз(а)пирена в 2018 году увеличилась в 3 раза.

В городах Ангарск и Абакан по сравнению с 2017 годом выросли среднегодовые концентрации формальдегида, оксида азота и бенз(а)пирена в 1,5 раза.

В Магнитогорске в 2018 году уменьшились концентрации бенз(а)пирена по сравнению с 2017 годом, что способствовало снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха с «очень высокого» до «высокого».

В Тюмени было обнаружено превышение ПДК по окиси углерода, в некоторых случаях было зафиксировано 20-кратное превышение норм.

Таблица 1.3

Перечень городов Российской Федерации с
зарегистрированными случаями высокого загрязнения
атмосферного воздуха (максимальные разовые концентрации
отдельных примесей более 10 ПДК_{мр}) в 2018 г. [1]

Город	Примесь	Кол-во случаев	Макс. конц. ПДК
1	2	3	4
Абакан	Бенз(а)пирен	4	29,2
Ангарск	Бенз(а)пирен	7	55,6
Архангельск	Бенз(а)пирен	2	13,9
Ачинск	Бенз(а)пирен	2	13,4
Барнаул	Бенз(а)пирен	6	52,2
Братск	Бенз(а)пирен	8	35,6
Зима	Бенз(а)пирен	8	111,0
Иркутск	Бенз(а)пирен	5	25,3
Искитим	Бенз(а)пирен	2	19,7
Казань	Диоксид азота	2	14,4
	Сероводород	2	14,9
Кемерово	Бенз(а)пирен	3	20,5
Красноярск	Бенз(а)пирен	23	30,6
Кызыл	Бенз(а)пирен	7	116,1
Лесосибирск	Бенз(а)пирен	2	59,5
Магнитогорск	Бенз(а)пирен	2	11,2
Минусинск	Бенз(а)пирен	5	89,9
Назарово	Бенз(а)пирен	3	17,3
Новокузнецк	Бенз(а)пирен	8	30,0
Новосибирск	Бенз(а)пирен	8	20,8
Оренбург	Сероводород	20	22,6
Петровск- Забайкальский	Бенз(а)пирен	2	22,6
Рязань	Сероводород	2	18,8
Свирс	Бенз(а)пирен	5	43,8
Селенгинск	Бенз(а)пирен	3	22,4
Улан-Удэ	Бенз(а)пирен	20	36,9
Усолье-Сибирское	Бенз(а)пирен	8	49,4
Чегдомын	Бенз(а)пирен	3	14,1
Черемхово	Бенз(а)пирен	7	33,5
Черногорск	Бенз(а)пирен	4	36,7

1	2	3	4
Чита	Бенз(а)пирен	14	56,8
	Сероводород	2	12,3
Шелехов	Бенз(а)пирен	7	43,2

Примечание: приведены наибольшие разовые концентрации примесей, деленные на максимальную разовую (ПДК_{мр}).

В городах Российской Федерации наибольшие концентрации бенз(а)пирена были зарегистрированы в холодный период года с началом отопительного сезона, так как его выбросы в атмосферу в основном происходят в результате сгорания топлива.

Число городов Российской Федерации с высоким и очень высоким загрязнением атмосферы в 2018 году выросло на 4,5 % или на 2 города по сравнению с 2017 годом и уменьшилось на 65,9 % или на 89 городов относительно уровня 2010 года. Такое резкое уменьшение количества городов не связано со снижением загрязнения атмосферы, а явилось результатом изменения значения среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК_{сс}) по формальдегиду в 2014 году с 0,003 мг/м³ на 0,01 мг/м³, что привело к занижению оценки уровня загрязнения атмосферы.

В 2018 году в Приоритетный список Российской Федерации (список городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха), отраженный в табл. 1.4, были включены 22 города, что на 1 город или 4,8 % выше уровня 2017 года и на 38,9 % или на 14 городов ниже показателя в 2010 года. Если учесть действующую до 2014 года ПДК_{сс} для формальдегида, то в Приоритетный список на 2018 год были бы включены 34 города [1].

Все города из Приоритетного списка находятся в Азиатской части территории России, характеризующейся особо неблагоприятными метеорологическими условиями для рассеивания примесей, в виде приземных инверсий и туманов, способствующие накоплению примесей у поверхности земли, в первую очередь бенз(а)пирена.

Таблица 1.4

Города с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы и вещества, его определяющие, в 2018 г. [1]

Город	Вещества	Город	Вещества
Абакан	БП, Ф, NO ₂ , CO, BB	Новокузнецк	БП, BB, HF, NO ₂ , CO
Ангарск	БП, NO ₂ , O ₃ , PM10, Ф	Норильск	NO ₂ , SO ₂ , NO, BB, БП
Барнаул	БП, BB, NO ₂ , Ф, CO	Петровск-Забайкальский	БП, BB, SO ₂ , NO ₂ , CO
Братск	БП, CS ₂ , Ф, BB, HF	Свирск	БП, BB, NO ₂ , SO ₂ , CO
Зима	БП, NO ₂ , Ф, HCl, CO	Селенгинск	БП, O ₃ , Ф, BB, PM10
Иркутск	БП, BB, PM10, O ₃ , SO ₂	Улан-Удэ	БП, PM2.5, BB, PM10, Ф
Искитим	БП, BB, NO ₂ , CO, сажа	Усолье-Сибирское	БП, BB, Ф, NO ₂ , SO ₂
Красноярск	БП, Ф, NO ₂ , NH ₃ , BB	Черемхово	БП, NO ₂ , BB, SO ₂ , CO
Кызыл	БП, BB, сажа, Ф, NO ₂	Черногорск	БП, Ф, NO ₂ , BB, CO
Лесосибирск	БП, BB, Ф, NO ₂ , CO	Чита	БП, BB, Ф, NO ₂ , фенол
Минусинск	БП, NO ₂ , Ф, BB, CO	Шелехов	БП, HF, O ₃ , PM10, BB

Примечание: БП – бенз(а)пирен, BB – взвешенные вещества, PM – взвешенные частицы фракций PM10 и PM2.5, Ф – формальдегид, CO – оксид углерода, CS₂ – сероуглерод, HCl – хлорид водорода, HF – фторид водорода, NH₃ – аммиак, NO₂ – диоксид азота, NO – оксид азота, O₃ – приземный озон, SO₂ – диоксид серы. Выделены вещества с наибольшим вкладом в уровень ЗА.

Состояние атмосферного воздуха в мегаполисах Москва и Санкт-Петербург

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха обоих городов является автомобильный транспорт, доля валовых

выбросов которого составляет порядка 94 % в Москве и 85 % в Санкт-Петербурге. Доля выбросов подвижных источников железнодорожного транспорта составляет менее одного процента [1, 16].

Стационарные источники загрязнения атмосферы на территории мегаполисов представлены, в основном, предприятиями по обеспечению электрической энергией, газом и паром; по забору, очистке и распределению воды; по сбору неопасных отходов; по ремонту автотранспортных средств; транспортировке и хранению; обрабатывающими производствами, предприятиями торговли.

Рис. 1.1, 1.2 демонстрируют динамику вклада основных типов источников в общую массу выбросов загрязняющих веществ в данных городах в 2010-2018 гг.



Рис. 1.1. Выбросы загрязняющих веществ от основных типов источников в Москве в 2010-2018 гг., тыс. т [1]

Структура выбросов по основным веществам от стационарных источников и автотранспорта в Москве и Санкт-Петербурге представлена в табл. 1.5.

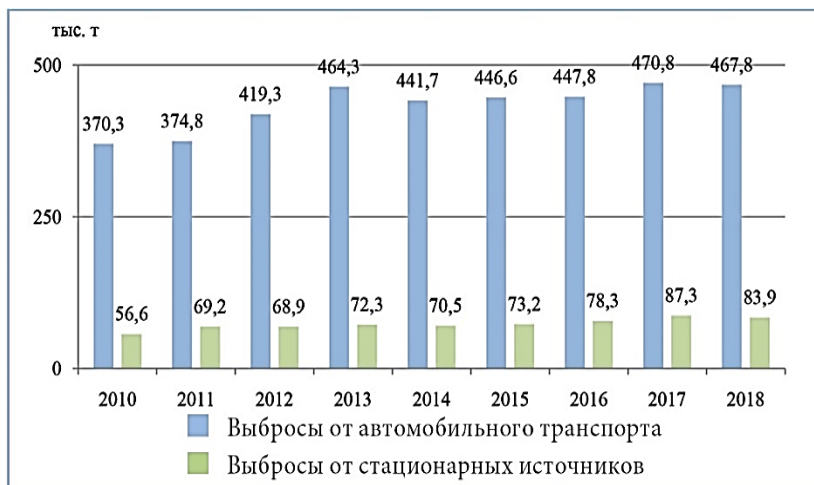


Рис. 1.2. Выбросы загрязняющих веществ от основных типов источников в Санкт-Петербурге в 2010-2018 гг., тыс. т [1]

Таблица 1.5

Структура выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и автотранспорта в г. Москва и Санкт-Петербург (по данным за 2017 г.), тыс. т [1, 16, 17]

Загрязняющее вещество	Выбросы загрязняющих веществ			
	Стационарные источники		Автотранспорт	
	Москва	СПб	Москва	СПб
Оксид углерода	8,3	26,8	710,1	379,8
Оксиды азота	31,0	26,4	147,9	39,6
Диоксид серы	4,0	2,5	19,7	2,3
ЛОС	11,2	5,5	88,8	45,5
Твердые частицы	1,5	3,2	9,9	0,9
Прочие	4,4	22,9	9,8	2,7

Примечание: данные в таблице по автотранспорту не учитывают выбросы от истирания дорожного покрытия, шин и тормозных колодок автомобилей, масса которых сопоставима с выбросами с отработавшими газами.

На территории г. Москвы в настоящее время действует развитая сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха¹, которая насчитывает несколько десятков стационарных постов и несколько мобильных станций контроля. Исследованию подлежат около 20 веществ, характерных для антропогенных источников г. Москвы, на территориях жилой застройки, вблизи транспортных магистралей и промышленных объектов.

По данным за 2018 год [18], в Москве отмечены превышения среднегодовых концентраций (в сравнении с ПДКсс) по таким веществам как диоксид азота, озон, стирол. Близки к ПДК уровни содержания микрочастиц PM₁₀, PM_{2,5}. Нередко отмечаются превышения среднесуточных значений предельно допустимых уровней содержания в воздухе оксида и диоксида азота, озона и мелкодисперсных частиц PM₁₀, PM_{2,5}. Превышения концентраций указанных веществ составляют в среднем 3 ПДКсс, по мелким частицам – до 5 ПДКсс. Превышения максимально разовых концентраций отмечались по оксиду углерода, оксиду и диоксиду азота, мелкодисперсным частицам и сероводороду. Наибольшие превышения максимально разовых ПДК фиксировались по частицам PM₁₀, PM_{2,5}. В целом загрязнение атмосферного воздуха в Москве оценивается как повышенное.

Что касается состояния атмосферного воздуха непосредственно на территориях промышленных зон, в Москве по состоянию на конец 2018 г. 55 промышленных предприятий оснащены системами локального экологического мониторинга, которые периодически фиксируют превышения нормативов предельно допустимых выбросов.

На территории Санкт-Петербурга также функционирует сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, насчитывающая более 30 постов наблюдений. В 2018 году в Санкт-Петербурге по данным [16] отмечается повышенный уровень загрязнения атмосферы (среднегодовые концентрации)

¹ <https://mosecom.mos.ru/vozdux/>

по диоксиду азота, оксиду углерода и озону. Превышения достигают 1,5-5 ПДКсс. В отдельные месяцы средние концентрации бенз(а)пирена превышали допустимые нормативные значения, достигало ПДК содержание в воздухе формальдегида. Также в городе отмечались повышенные концентрации оксида азота, озона, мелкодисперсных частиц (фиксировались максимальные разовые значения, превышающие ПДК до 4 раз), аммиака (превышение ПДК до 3 раз), фенола (превышение ПДК_{мр} почти в 2 раза). Содержание в воздухе хлористого водорода, сероводорода, бензола, толуола, ксилолов, этилбензола, тяжелых металлов не превышали санитарных норм. В целом же загрязнение воздушной среды в городе можно охарактеризовать как повышенное.

Состояние атмосферного воздуха в районе оз. Байкал [19]

На Байкальской природной территории основными источниками загрязнения атмосферы являются выбросы предприятий теплоэнергетики, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, химической, легкой промышленности, а также транспорта. На данной территории выделяются 3 экологические зоны, в каждой из которых проводятся наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха.

Центральная экологическая зона: наблюдения ведутся в 4 населенных пунктах Иркутской области – г. Байкальске, г. Слюдянке, п. Култук и п. Листвянке.

Буферная экологическая зона: мониторинг проводился в 3 крупных населенных пунктах Республики Бурятия – г. Улан-Удэ, г. Гусиноозёрске, п. Селенгинске, а также в г. Петровск-Забайкальский Забайкальского края.

Экологическая зона атмосферного влияния: наблюдение проводится в 5 городах Иркутской области – Иркутске, Шелехове, Ангарске, Усолье-Сибирском и Черемхово.

Уровень загрязнения атмосферы в городах на территории *центральной экологической зоны* по данным на 2017 год в целом оценивался как «низкий», кроме г. Байкальск, где уровень

загрязнения определен как «повышенный» по комплексному индексу загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА).

Средние за год концентрации оксида азота, оксида углерода, диоксида серы не превысили ПДК. В п. Листвянка среднегодовые концентрации взвешенных веществ превысили ПДК в 1,2 раза. В г. Слюдянка наблюдалось превышение 1 ПДК по диоксиду азота. По бенз(а)пирену наибольшая из среднемесячных концентраций достигала в г. Байкальск 1,8 ПДК, в п. Листвянка и г. Слюдянка – 1,4 ПДК, в п. Култук – 2,8 ПДК.

В п. Листвянка максимально разовые концентрации взвешенных веществ превышали ПДК в 1,2 раза, а в г. Слюдянка было зарегистрировано превышение ПДК по диоксиду азота в 1,9 раза. Максимальные разовые концентрации оксида азота, оксида углерода, диоксида серы и сероуглерода не превышали ПДК.

Наблюдения в городах, находящихся на территории *буферной экологической зоны*, свидетельствуют об очень высоком уровне загрязнения атмосферного воздуха в городах Улан-Удэ, Петровск-Забайкальский, п. Селенгинск и высокий – в г. Гусиноозёрск. Взвешенные вещества и бенз(а)пирен являются определяющими веществами в оценке очень высокого уровня загрязнения атмосферы в п. Селенгинск и г. Улан-Удэ. Очень высокий уровень загрязнения в г. Петровск-Забайкальский определяется только концентрациями бенз(а)пирена.

Среднегодовые концентрации в г. Улан-Удэ превышают ПДК бенз(а)пирена в 7 раз, взвешенные вещества – в 1,8 раза; в п. Селенгинске ПДК превышают концентрации бенз(а)пирена в 7 раз, взвешенные вещества – в 1,4 раза, формальдегид – в 1,3 раза; в г. Гусиноозёрске зафиксировано превышение ПДК взвешенных веществ в 2 раза; в г. Петровск-Забайкальский среднегодовые концентрации бенз(а)пирена превышают ПДК в 5 раз.

Превышение максимальной разовой ПДК зарегистрировано во всех населенных пунктах на территории *буферной экологической зоны*: в г. Улан-Уде по бенз(а)пирену превышение в 31 раз, по взвешенным веществам – в 3,5 раза, по диоксиду азота – в 1,2 раза, по формальдегиду – в 1,1 раза; в п. Селенгинск – по

бенз(а)пирену – в 21 раз, по взвешенным веществам – в 4 раза, по формальдегиду – в 1,1 раз; в г. Гусиноозёрске ПДК превышено по взвешенным веществам более чем в 3 раза, по диоксиду азота – в 1,3 раза; в г. Петровск-Забайкальский – по бенз(а)пирену превышение в 19 раз. В течение нескольких лет г. Улан-Удэ и п. Селенгинск входят в Приоритетный список городов России с наибольшим загрязнением воздуха.

На территории *экологической зоны атмосферного влияния* в г. Ангарск уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивался как высокий, а в городах Черемхово, Шелехов, Усолье-Сибирское и Иркутск – как очень высокий. Веществами, определяющими загрязнение атмосферы, являются оксид и диоксид азота, бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода.

Среднегодовые концентрации бенз(а)пирена превышали ПДК в 3-7 раз во всех городах данной территории. Среднегодовые концентрации диоксида азота в городах Иркутск и Ангарск превысили 1 ПДК; концентрации взвешенных веществ в городах Усолье-Сибирское, Иркутск и Шелехов превысили ПДК в 1,2, 1,7 и 1,4 раза соответственно; концентрации формальдегида превысили 1 ПДК в городах Иркутск и Усолье-Сибирское. Среднегодовые концентрации диоксида серы, оксида углерода, оксида азота, аммиака не поднялись выше ПДК. Во всех городах на территории экологической зоны атмосферного влияния максимальные из среднемесячных концентраций бенз(а)пирена превышали ПДК в 14-57 раз.

В городах Иркутск, Шелехов, Усолье-Сибирское, Ангарск максимально разовые концентрации взвешенных веществ превышали ПДК в 2-3 раза, а в г. Черемхово – достигли уровня ПДК. Во всех городах максимально разовые концентрации диоксида азота, оксида углерода, формальдегида превышали ПДК в 2-6 раз, в 1,1-1,9 раза и в 1,4-2 раза соответственно. Также во всех городах, кроме г. Черемхово, было зарегистрировано превышение ПДК по диоксиду серы в 1,5-3,5 раза; по оксиду

азота – до 3 раз. Максимально разовая концентрация аммиака трехкратно превышала ПДК в городе Ангарск.

Загрязнение атмосферного воздуха в Арктической зоне Российской Федерации [1]

В части городов и населенных пунктов Арктической зоны России отмечается тенденция к уменьшению уровня загрязнения атмосферы. Однако наблюдается увеличение концентраций взвешенных веществ в Анадыре и Воркуте, формальдегида – в Мончегорске и Мурманске. Качество атмосферного воздуха в 11 населенных пунктах характеризовалось низким уровнем, г. Архангельска – повышенным уровнем, г. Норильска – очень высоки уровнем. Норильск ежегодно включается в Приоритетный список России с наибольшим уровнем загрязнения с учетом значительных выбросов диоксида серы.

1.4. Загрязнение атмосферы и изменение климата

Изменение климата является чрезвычайно актуальной проблемой. Согласно данным Росгидромета [20], на территории России в последние десятилетия потепление климата происходило быстрее и масштабнее, чем в среднем по Земному шару.

На этом фоне увеличиваются частота и интенсивность опасных гидрометеорологических явлений (шквалы, смерчи, ураганы, сильные ливни с грозами, градом и шквалистым ветром, сильные засухи, наводнения, лесные пожары, волны жары и т.д.), повышается частота неблагоприятных погодных условий.

Важно отметить, что климатические изменения уже начинают значимо влиять на многие сферы экономики – сельское и лесное хозяйство, энергетику, транспорт, строительство, защиту окружающей среды, жилищно-коммунальное хозяйство. Усиливаются угрозы здоровью человечества, особенно в загрязненной атмосфере.

Рейтинги угроз, публикуемые в ежегодных отчетах Всемирного экономического форума, однозначно указывают на высокую значимость погодно-климатического фактора в устойчивом развитии общества. В отчете о глобальных рисках за 2019 г. отмечено следующее [21]:

первую позицию в пятерке главных глобальных рисков, ранжированных *по вероятности*, занимают экстремальные погодные явления. За ними следуют неудачи в смягчении воздействия на климат и в адаптации, затем – стихийные бедствия;

в списке рисков, ранжированных *по масштабу оказываемого воздействия*, после оружия массового поражения, занимающего первую позицию, неудачи в смягчении воздействия на климат и в адаптации занимают вторую позицию, экстремальные погодные явления – третью. Водный кризис и стихийные бедствия занимают, соответственно, четвертую и пятую позиции.

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176, отмечено, что «на территории Российской Федерации за год регистрируется в среднем около 950 опасных гидрометеорологических явлений (наводнения, засуха, сильный ветер, сильные осадки и другое), наносящих значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. По экспертным оценкам, материальный ущерб от опасных гидрометеорологических явлений в отдельные годы может достигать 1 процента валового внутреннего продукта».

Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р, среди основных проблем пространственного развития Российской Федерации отмечено «негативное влияние глобальных климатических изменений, в том числе таяния вечной мерзлоты и увеличения числа опасных

гидрометеорологических явлений, на социально-экономическое развитие территорий Российской Федерации». По данным МЧС [22] наиболее разрушительными для России являются наводнения, лесные пожары и аномальная жара. Согласно данным [23] 90 % самых тяжелых экономических потерь приходится на опасные гидрометеорологические явления: паводки, наводнения, сильный ветер, ливневые дожди, град, засухи, оставляя таким стихийным бедствиям, как извержения вулканов, цунами и землетрясения, лишь 10 %.

Глобальный характер и значимость проблемы климатических изменений и их последствий для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития общества дают все основания для ее отнесения в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642, к категории, так называемых, больших вызовов.

В связи с существенной ролью причин антропогенного характера в современном изменении климата [24] исключительно важную роль приобретает Парижское соглашение по климату, ставящее цель сдерживание роста глобальной температуры ниже 2°C по сравнению с доиндустриальным периодом, с продолжением усилий по ограничению роста температуры до 1,5°C [25].

Таким образом, проявления и последствия изменения климата становятся постоянно действующим фактором, влияющим на развитие современного общества. При этом частота и интенсивность этих угроз имеют вполне четкую тенденцию к увеличению.

1.4.1. Следствия загрязнения атмосферы

Опасность загрязнения атмосферы состоит не только в том, что в чистый воздух попадают вредные вещества, изменяя ее

состав и свойства, но и в изменении климата Земли, вызываемом загрязнениями.

Изменение природного состава воздуха

На процессы жизнедеятельности на Земле в наибольшей степени влияет изменение кислородного баланса и повышение концентрации углекислого газа. Это ведет к двум прогнозируемым последствиям: нехватке кислорода и парниковому эффекту.

Нехватка кислорода обусловлена, с одной стороны, сокращением его поступления из природных источников, а с другой - неуклонным увеличением его потребления. Основными причинами сокращения поступления кислорода в атмосферу является интенсивное загрязнение поверхностных вод Мирового океана и уменьшение общей площади лесных массивов.

За последние 25-30 лет транспорт и промышленность взяли из атмосферы больше кислорода, чем использовано человечеством за весь исторический период существования цивилизации.

Нарушение кислородного баланса будет иметь глобальные последствия. Подсчитано, что при 5%-ном ежегодном приросте потребления свободного кислорода на технологические нужды более чем через 100 лет его содержание в гомосфере может снизиться до критического для человека предела – до 17% (по массе).

Парниковый эффект

Для последних десятилетий характерны климатические аномалии. Среднегодовая температура за последнее столетие выросла примерно на полградуса. Во многих местах отмечены сильные региональные аномалии в виде засух или, наоборот, необычайно обильных осадков, наводнений и т.д. За 100 лет уровень Мирового океана увеличился на 10...15 мм. Частично это объясняется его тепловым расширением, частично – таянием ледников.

В материалах МГЭИК указывается, что с вероятностью 99% указанные аномалии вызваны изменением химического состава

атмосферного воздуха вследствие роста концентрации углекислого газа и, следовательно, усиления парникового эффекта.

В настоящее время в атмосферу выбрасывается более 25 млрд. т CO_2 , при этом 45% дает сжигание угля, 40% – нефти и 15% – газа. При таких темпах годовое потепление для суши будет около 1 ккал / см^2 в год. Исходя из этого к 2025 г. вероятное повышение средней глобальной температуры составит 2,5°C, а к 2050 г. – 3-4°C. При этом рост температуры будет несколько выше для Северного полушария Земли. Расчеты показывают, что увеличение средней глобальной температуры приведет к значительному изменению атмосферной циркуляции и условий увлажнения почвы. Последствием потепления будет подъем уровня Мирового океана на 0,5-1,5 м, что приведет к затоплению значительных прибрежных территорий, увеличению частоты и силы тайфунов, ураганов, торнадо и других глобальных явлений.

Предотвратить глобальное потепление можно только комплексными мерами: широким внедрением «зеленых» энергосберегающих технологий и устройств; экономией ископаемых видов топлива; форсированием научных и опытно-конструкторских работ в области новых, альтернативных источников энергии; изменением стиля жизни населения.

Разрушение озонового слоя

В атмосфере озон встречается у земной поверхности и на высотах до 80 км, однако максимальная его концентрация наблюдается в озоносфере, которая располагается в средних широтах на высоте 20-25 км. Озоновый слой, поглощая коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца, сохраняет все живое на Земле и предопределяет тепловой режим, а также динамику атмосферы.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение – это электромагнитное излучение с длинами волн в диапазоне 1 400 нм. Этот диапазон подразделен на три области: УФ-А – с длиной волны 315-400 нм, УФ-В – 280-315 нм, УФ-С – 1-280 нм.

Длинноволновое излучение УФ-А характеризуется слабым биологическим воздействием на организм человека. Средневолновое излучение УФ-В сильно воздействует на кожный покров и обладает противорахимным действием. Коротковолновое излучение УФ-С весьма отрицательно воздействует на тканевые белки, сетчатку глаза, разрушает кровяные тельца, а также вызывает мутацию молекул ДНК.

Защитные свойства озонового слоя определяются не только его толщиной, но и углом, под которым солнечная радиация падает на Землю. Из этого следует, что интенсивность коротковолнового УФ-излучения в тропиках больше, чем в других местах земной поверхности.

На протяжении многих лет в озоновом слое наблюдаются локальные уменьшения содержания озона – «озоновые дыры», которые возникают над разными территориями и висят над ними от нескольких дней до недель, частота их появления увеличивается (особенно над Антарктидой).

Причиной разрушения озонового слоя является попадание в него хлора и оксидов азота, которые содержатся в основном в промышленных выбросах и выбросах автомобилей. В этих процессах наиболее значимо первое вещество. По некоторым данным уменьшение концентрации озона на 1% вызывает увеличение заболеваемости раком кожи на 2%..

Для предотвращения разрушения озонового слоя необходим отказ от хлорсодержащих веществ. В 1987 г. 34 страны подписали Монреальский протокол об ограничениях производства хлорированных и фторированных углеводородов. Эта практика расширяется, и за этим направлением большое будущее.

В целом в последние десятилетия антропогенные факторы загрязнения атмосферы стали превышать по масштабам естественные, приобретая глобальный характер. Выбрасываемые в атмосферу вредные примеси не только уничтожают живую природу, отрицательно воздействуют на здоровье людей, но и способны изменить свойства самой атмосферы, что может

привести к нежелательным экологическим и климатическим последствиям.

1.4.2. Изменение климата на территории России

Результаты исследований и выводы об особенностях климата на территории Российской Федерации за последние десятилетия, приведенные в докладах [20, 23], позволяют обобщенно представить картину наблюдаемых климатических изменений.

Так, скорость современного роста глобальной температуры, вызванного в основном увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, составила за последние сорок лет около 0,17 °C за 10 лет. Температура на территории России растет значительно быстрее – 0,45 °C за 10 лет, и особенно быстро в Арктике, где скорость роста достигает 0,8 °C за 10 лет.

Годовые осадки в целом по территории России за последние сорок лет увеличиваются на 2,1 % за 10 лет. Особенно быстро растут весенние осадки – 5,9 % за 10 лет (в Восточной Сибири – до 15-20 % за 10 лет). Летом на Европейской территории России (ЕТР), за исключением северных регионов, наблюдается убывание количества осадков, существенное в южных областях.

Число дней со снежным покровом в среднем для России сокращается на 1,01 дня за 10 лет. Тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова проявляется на большей части ЕТР, на севере и юге Западной Сибири, Таймыре и северо-западе Республики Саха (Якутия). Сохраняется тенденция увеличения числа дней со снежным покровом в Забайкалье, на северном побережье Охотского моря, на южном и центральном Урале.

В лесах на территории России преобладают тенденции к уменьшению максимального за зиму запаса воды в снежном покрове (примерно на 2 мм за 10 лет). В то же время, положительные тренды наблюдаются в южных районах

Хабаровского края, в Приморье и на Сахалине. На Дальнем Востоке запас воды в снежном покрове в лесах увеличивается более чем на 7 мм за 10 лет.

Годовой сток большинства крупнейших рек России в последнее тридцатилетие в среднем выше, чем в предшествующее. Значительно увеличилась водность Волги, а также крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Основной причиной роста стока рек зимой на ЕТР, по-видимому, является рост количества осадков и рост повторяемости зимних оттепелей. В Приморье и на Северном Кавказе увеличиваются частота и рост высоких уровней воды при дождевых паводках. Возрастают также частота и мощность наводнений, обусловленных заторами льда на реках Восточной Сибири.

В последние десятилетия на многих участках криолитозоны происходит рост температуры верхнего слоя многолетнемерзлых грунтов, а в отдельных регионах отмечается увеличение глубины сезонного протаивания. Повысилась скорость таяния ледяного покрова Северного Ледовитого океана. Средняя скорость сокращения площади льда по отношению к периоду 1981-2010 гг. в 2016 г. достигла 13,3 % за десятилетие.

1.4.3. Экспертные оценки изменения климата в XXI в.

Экспертные оценки возможных климатических изменений неоднозначны. На сегодняшний день доминирует представление о глобальном потеплении климата, рассчитаны возможные его сценарии, при этом ряд ученых склоняется к мысли о начале глобального похолодания. Современная мировая наука предоставляет все более веские аргументы в подтверждение того, что парниковые газы, накопленные в атмосфере в результате хозяйственной деятельности человека, уже оказывают заметное влияние на климат. Согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), опубликованным в [27], «крайне вероятно (вероятность 95-100%), что антропогенное воздействие на климатическую

систему было доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины XX века». Вероятность усугубления антропогенных изменений климата в течение XXI века также превышает 90%. В течение XXI века средняя температура приземного воздуха в целом по России будет продолжать повышаться. Наибольшего потепления следует ожидать в Сибири и в северных регионах России, а также в Арктике. Особенную озабоченность научного сообщества вызывает высокая скорость наблюдаемых изменений климата, которая, как показывают прогностические оценки, будет нарастать [27, 28].

Изменения глобального климата проявляются не только как глобальное потепление (т.е. повышение глобальной приповерхностной температуры, среднего уровня океана, уменьшение площади снежного покрова на суше Северного полушария и др.): увеличиваются частота и интенсивность климатических аномалий и экстремальных гидрометеорологических явлений [28-30]. Например, при потеплении климата в Северном полушарии увеличится повторяемость аномальных состояний погоды, по меньшей мере, на локальном уровне. Возрастет вероятность таких погодных явлений, как штормы, тайфуны, ураганы, увеличится число дней особенно с высокой температурой воздуха, когда, как правило, наблюдается и повышенный уровень загрязнения атмосферы.

Существуют значительные неопределенности в оценках того, как ожидаемые климатические изменения будут протекать и какое влияние они окажут на экосистемы, экономическую деятельность и социальные процессы в разных регионах. Последствия глобального потепления для здоровья могут отличаться для жителей различных регионов России, сельчан и горожан, различных возрастных групп.

Так, рост температуры воздуха и снижение при этом количества осадков на юге европейской территории России, юге Урала в летний период может привести к увеличению сельскохозяйственных площадей, подверженных засухе и, как следствие, недостатку продуктов питания. Недостаток воды для

питьевых и санитарно-бытовых нужд, засоление почв и недостаток продуктов, опустынивание земель и вынос с них пыли, благоприятные условия для распространения насекомых повышают риски для здоровья населения этих территорий.

В северных регионах России ожидается значительное повышение температуры воздуха и протаивание вечномёрзлых грунтов, которое может нанести серьезный ущерб строениям и коммуникациям, что представляет собой определенную эпидемиологическую опасность.

В малонаселенных районах российского севера и Сибири изменение климата и состояния атмосферы может существенно сказаться на заболеваемости коренного населения непривычными для них болезнями, характерными для регионов более теплого климата.

Оценки изменения климата в XXI веке содержатся в докладе [28].

Наиболее вероятные оценки увеличения глобальной температуры в 2081-2100 гг. по отношению к 1986-2005 гг. в зависимости от климатического сценария для 5-95% общего числа климатических моделей будут составлять: 0.2-1.8°C (RCP2.6), 1.0-2.6°C (RCP4.5), 1.3- 3.2°C (RCP6.0), 2.6-4.8°C (RCP8.5).

Россия остается регионом мира, где потепление климата в течение XXI в. будет существенно превышать среднее глобальное потепление. Повышение температуры зимой на территориях всех федеральных округов Российской Федерации, кроме Северо-Кавказского и Южного, будет заметно превышать ее повышение в летний сезон. Абсолютный годовой максимум температуры как показатель экстремальности летней температуры воздуха может заметно увеличиться, в первую очередь, на юге ЕТР. В то же время следует ожидать заметного смягчения температурного режима в холодное время года, в основном из-за повышения наиболее низкой температуры воздуха на севере ЕТР, а в конце XXI в. – и на ее юге, где зимы станут бесснежными.

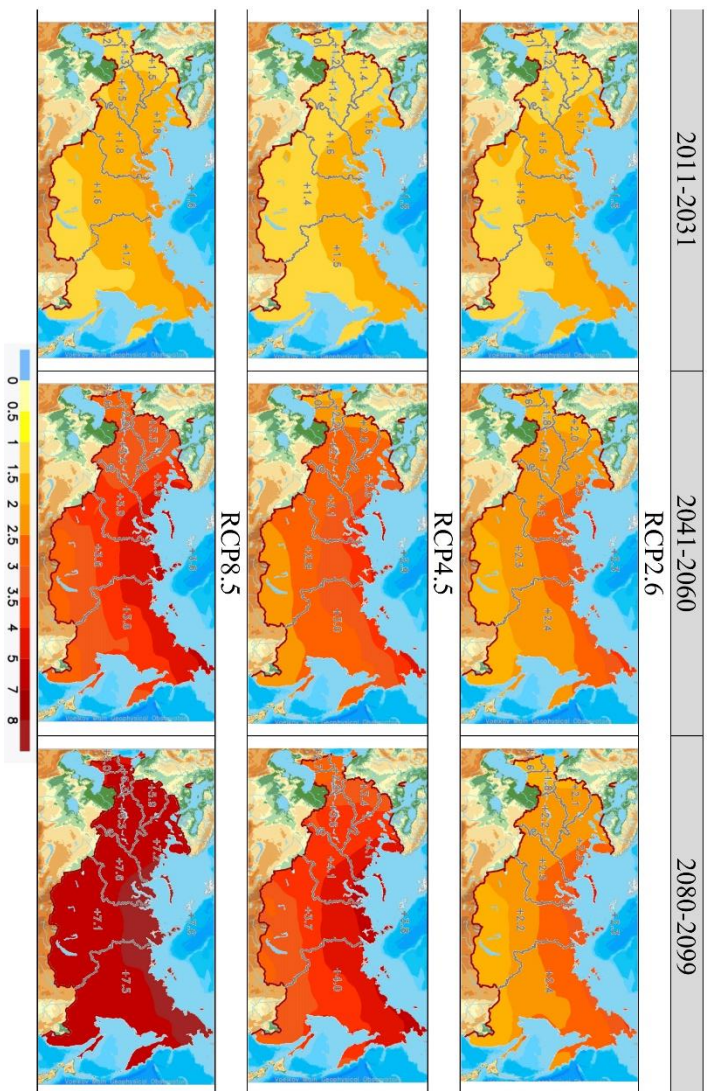


Рис. 1.3. Расчеты с помощью ансамбля глобальных климатических моделей изменения средних за 20 лет значений температуры приземного воздуха для различных периодов XXI века и для разных сценариев по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг. (по данным [31])

В течение всего XXI в. для всех сценариев изменения климата отмечается устойчивая тенденция увеличения количества осадков в зимний период на всей территории России. В летний период увеличение средних за сезон сумм осадков ожидается на большей части территории России, за исключением южных регионов, где к концу этого века ожидается уменьшение осадков до 25% по сравнению с концом XX в. Изменения осадков будут заметно различаться для разных федеральных округов зимой по величине, а летом как по величине, так и по знаку. На водосборах Лены и Енисея, а также рек Чукотки ожидается значимое увеличение стока.

Площади, занятые приповерхностной многолетней мерзлотой, по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 сократятся соответственно на 20 ± 7 и $25 \pm 8\%$ к середине XXI в. и на 31 ± 12 и $56 \pm 18\%$ к его концу. Модельные оценки однозначно указывают на уменьшение площади морского льда в российской Арктике и прилегающих к ней районах Северного Ледовитого океана на протяжении XXI в. и позволяют говорить о возможности исчезновения там многолетнего льда уже в первой половине этого века.

Климатическим центром Росгидромета представлены результаты расчетов будущих изменений климата на территории России с помощью ансамбля глобальных климатических моделей [31]. Для сценариев изменения содержания парниковых газов и аэрозолей в атмосфере RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5¹ приведены репрезентативные оценки изменения температуры приземного воздуха, суммарных осадков, разности осадков и испарения (средние за 20 лет значения климатических характеристик) для начала (2011-2030 гг.), середины (2041-2060 гг.) и конца (2080-2099 гг.) XXI века по отношению к базовому климатическому периоду 1981-2000 гг.

¹ RCP индекс сценария характеризует величину антропогенного радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно: 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 Вт/м² в RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5 соответственно.

На рис. 1.3 приведены изменения температуры – одного из основных показателей изменения климата. Видно, что для всех сценариев температура увеличивается. Однако по территории России этот процесс происходит весьма неравномерно. В целом эти результаты подтверждают выводы доклада [28]. Таким образом, согласно современным научно обоснованным прогнозам, наблюдаемые тенденции в изменении климата с высокой степенью вероятности сохранятся и, в ряде аспектов, усугубятся. Это, безусловно, отразится на характеристиках воздействия изменений климата на хозяйственные объекты и здоровье населения.

1.5. Исследование динамики дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке для оценки экологической безопасности регионов России

Для оценки экологической безопасности регионов России при обеспечении комплексного подхода к социально-экономическому развитию территорий и преимущественному развитию крупных и крупнейших городских агломераций (согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г.) высокую значимость приобретают оценки динамики (тенденций) дальнего (трансграничного) загрязнения атмосферы в ближайшие десятилетия.

Дальнее загрязнение атмосферы изучается на основе математического моделирования глобально-регионального распространения примесей в атмосфере [32, 33], имеющих малые скорости седиментации и вследствие этого значительное время находящихся во взвешенном состоянии и переносимых воздушными массами на большие расстояния, с помощью уравнения переноса примесей, учитывающего турбулентный обмен и взаимодействие примесей с окружающей средой и подстилающей поверхностью.

Следует отметить, что решение задачи дальнего загрязнения атмосферы может быть получено, по крайней мере, двумя способами [32, 33]. Первый, как известно, состоит в многократном решении уравнения переноса примеси с источниками различной интенсивности и различным местоположением. Другой способ основан на использовании однократного решения сопряженной задачи, с помощью которого можно оценить степень потенциальной опасности загрязнения атмосферы в заданной зоне от всех источников, расположенных в области решения задачи, при заданных сценариях метеорологического режима атмосферы.

Закономерности дальнего распространения примесей в свободной атмосфере изучены фрагментарно. В 80-х годах прошлого столетия был выполнен значительный цикл работ, посвященных распространению примесей при так называемой «ядерной зиме» [34-36]. Моделирование глобального переноса атмосферной примеси на основе сопряженных уравнений изучалось в работах [32, 37]. Сопряженные уравнения были использованы для исследования влияния глобального загрязнения на Арктическую зону [33], регионального загрязнения территории Армении [38]. Вопросы долгосрочных экологических количественных оценок риска/уязвимости на основе прямого и обратного моделирования и методов теории чувствительности с использованием доступной фактической информации о многолетней динамике климата и примеры расчетов областей риска для озера Байкал изучены в работе [39].

Однако вопросы динамики дальнего загрязнения регионов страны в XXI столетии в условиях изменяющегося климата не рассматривались. Более того, объективизация и количественная характеристика динамики загрязнения атмосферы регионов требуют введения неких интегральных показателей (индексов).

Подобные индексы – индексы загрязнения атмосферы – были разработаны [40-42], и с учетом данных индексов построен методический подход для изучения на основе математического моделирования особенностей динамики дальнего загрязнения

регионов в современных условиях, в ближайшей и отдаленной перспективах с учетом изменяющегося климата. Результаты и выводы, которые могут быть получены с помощью предложенного подхода, позволяют подготовить предложения по обеспечению экологической безопасности территорий и планированию экономического развития.

1.5.1. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы

Рассмотрим перенос общего содержания примеси в тропосфере в пределах $0 \leq z \leq H$, где H – высота тропопаузы. Пусть перенос примеси происходит со скоростью, характеризующей средний перенос в тропосфере. Для определенности будем считать, что это скорость движения воздуха на поверхности 500 гПа. Отметим также, что обобщение данного методического подхода на трехмерный случай осуществляется тривиально.

Для дальнего переноса особый интерес представляют примеси с малыми скоростями седиментации, которые значительное время находятся во взвешенном состоянии и переносятся с воздушными массами. В этом случае для примесей применимы положения теории турбулентности, используемые в моделях общей циркуляции для описания турбулентного обмена температуры и влажности [33].

Пусть $q = \sum q_i(\lambda, \psi, t)$ – интегральная интенсивность невесомой (седиментация отсутствует) примеси (концентрация), мигрирующей вместе с потоком воздуха в атмосфере над областью $\Omega(\lambda, \psi)$; λ, ψ – долгота и коширота сферической системы координат, t – время.

С достаточной точностью трансграничный перенос в средней атмосфере будет описываться двумерным уравнением [32, 33]

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{u}{a \sin \psi} \frac{\partial q}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial q}{\partial \psi} - \frac{1}{a^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mu \frac{\partial q}{\partial \lambda} - \\ - \frac{1}{a^2 \sin \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \mu \sin \psi \frac{\partial q}{\partial \psi} + \sigma q = I, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где u, v – составляющие скорости ветра по долготе и кошироте соответственно, a – средний радиус Земли, μ – коэффициент горизонтального турбулентного обмена, $\sigma \geq 0$ – параметр, обратный величине интервала времени, за который интенсивность примеси по сравнению с начальной уменьшится в e раз, и характеризующий степень поглощения примеси каплями тумана, ее химические превращения, радиоактивный распад и др., I – интенсивность источников.

В дальнейшем будем рассматривать ситуации, когда концентрация всех примесей в среде удовлетворяет соотношению $\sum q_i \ll \rho$, где ρ – плотность чистой среды. Это означает, что движение среды можно описывать как движение однофазной жидкости [33].

Закон сохранения массы атмосферы выражается двумерным уравнением неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{\partial v \sin \psi}{\partial \psi} = 0.$$

Уравнение (1) рассматривается на сфере (полусфере северного полушария) с начальными условиями:

$$q = q_0 \quad \text{при} \quad t = t_0. \quad (1.2)$$

При решении поставленной задачи фоновое загрязнение атмосферы не представляет интереса. Поэтому далее полагается, что $q_0 = 0$.

Задача (1.1), (1.2) рассматривается на интервале времени $t \in [0, T]$.

На основе тождества Лагранжа [32] задаче (1.1), (1.2) можно поставить в соответствие сопряженную задачу

$$\begin{aligned}
& -\frac{\partial q^*}{\partial t} - \frac{1}{a \sin \psi} \frac{\partial u q^*}{\partial \lambda} - \frac{1}{a \sin \psi} \frac{\partial v \sin \psi}{\partial \psi} \frac{q^*}{\partial \lambda} - \frac{1}{a^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mu \frac{\partial q^*}{\partial \lambda} - \\
& - \frac{1}{a^2 \sin \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \mu \sin \psi \frac{\partial q^*}{\partial \psi} + \sigma q^* = p,
\end{aligned} \tag{1.3}$$

$$q^* = 0 \quad \text{при} \quad t = T.$$

Функция p характеризует экологически значимые зоны G ($G \subset \Omega$), а q^* есть сопряженная функция [32].

Если в качестве основного рассматривать функционал

$$Q = (q, P) = \int_0^T dt \int_{\Omega} q p d\Omega,$$

то из тождества Лагранжа следует двойственная форма этого функционала [32]

$$Q = (q^*, I). \tag{1.4}$$

Выбирая различные функции p , можно получить различные функционалы и соответствующие сопряженные уравнения. Выберем

$$p = \begin{cases} 1/(T \cdot G), & \vec{r} \in G \\ 0, & \vec{r} \notin G \end{cases},$$

где $\vec{r} = (\lambda, \psi)$.

В этом случае функционал будет характеризовать интегральный по G эффект загрязнения атмосферы при условии, что источник выбросов находится в точке $\vec{r}_0 \in \Omega$. Количественное выражение этого эффекта есть

$$Q = \int_0^T dt \int_{\Omega} I q^* d\Omega. \tag{1.5}$$

Положим $I = \text{const}$ (для удобства записи ниже будем считать $I = 1$), тогда функционал (1.5) будет характеризовать загрязнение

атмосферы только вследствие влияния погодно-климатических процессов, что и требуется для достижения цели работы. В этом случае выражение (1.5) примет вид:

$$Q = \int_0^T dt \int_{\Omega} q^* d\Omega = \int_0^T dt \int_{\psi_{Ю}}^{\psi_{С}} d\psi \int_{\lambda_3}^{\lambda_B} q^* d\lambda. \quad (1.6)$$

где λ_3 , λ_B , $\psi_{Ю}$, $\psi_{С}$ – соответственно западная, восточная, южная и северная границы области Ω .

Расчеты по переносу примесей обычно проводятся на длительные сроки. Информация о поле скорости ветра и других метеовеличин, как правило, задается на основе фактического материала наблюдений, либо на основе результатов численного моделирования, в том числе с учетом климатических изменений.

Тогда анализ изменений во времени поля Q позволяет оценивать тенденции дальнего загрязнения атмосферы заданного региона в условиях изменяющегося климата.

Индексы загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности регионов

Следует отметить, что на практике визуально осуществлять анализ изменений во времени поля Q довольно сложно.

Для объективизации и количественной характеристики динамики загрязнения атмосферы целесообразно ввести индексы, характеризующие количество переносимой примеси в широтном или меридиональном направлениях. В качестве аналога удобно использовать подход А.Л. Каца к введению индексов циркуляции атмосферы [43].

Обозначим координаты центра области G через (λ_0, ψ_0) , при этом $\lambda_3 \leq \lambda_0 \leq \lambda_B$, $\psi_{Ю} \leq \psi_0 \leq \psi_{С}$, и рассмотрим интегралы (индексы)

$$\begin{aligned} M_3 &= \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\psi_{Ю}}^{\psi_{С}} d\psi \left(\int_{\lambda_3}^{\lambda_0} q^* d\lambda - \int_{\lambda_0}^{\lambda_B} q^* d\lambda \right), \\ M_M &= \frac{1}{Q} \int_0^T dt \int_{\lambda_3}^{\lambda_B} d\lambda \left(\int_{\psi_{Ю}}^{\psi_0} q^* d\psi - \int_{\psi_0}^{\psi_{С}} q^* d\psi \right). \end{aligned} \quad (1.7)$$

Безразмерный индекс M_3 ($-1 \leq M_3 \leq 1$), который целесообразно назвать зональным индексом загрязнения, показывает, в какой мере западно-восточный (при $M_3 > 0$) или восточно-западный (при $M_3 < 0$) перенос примеси влияет на загрязнение экологически значимой зоны G . Аналогично, индекс M_M ($-1 \leq M_M \leq 1$) показывает, в какой мере южный (при $M_M > 0$) или северный (при $M_M < 0$) перенос примеси влияет на загрязнение зоны G . Этот индекс соответственно следует называть меридиональным индексом загрязнения.

Высокому значению индекса M_3 не обязательно соответствует малый индекс M_M . В определенные периоды и сезоны имеет место усиление или ослабление одновременно обоих индексов.

Наконец, для наглядности удобно использовать еще один (обобщенный) индекс, количественно характеризующий направление, откуда идет загрязнение экологически значимой зоны G

$$M = \arccos \frac{M_3}{\sqrt{M_3^2 + M_M^2}}. \quad (1.8)$$

Таким образом, для оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы с учетом климатических изменений необходимо:

1) получить поля сопряженной функции q^* для заданных моментов времени и заданной зоны G путем решения сопряженной задачи (1.3) с фактическими или прогностическими полями метеовеличин. В частности, для учета климатических изменений могут быть использованы поля метеовеличин, полученные в рамках численного моделирования атмосферы по сценариям антропогенного воздействия, рекомендованным Межправительственной группы экспертов по изменению климата;

2) выполнить расчеты с помощью выражения (1.6) и визуализировать поля Q . В силу существенного субъективизма визуализация не является обязательной, но позволяет наглядно представить особенности дальнего загрязнения атмосферы;

3) выполнить расчеты с помощью выражений (1.7) и проанализировать полученные значения индексов M_3 и M_M . Их динамика полностью будет характеризовать тенденции дальнего загрязнения атмосферы над областью Ω при выборе G в качестве экологически заданной зоны. Эти результаты позволят обоснованно судить об уровне экологической безопасности региона G и при необходимости проводить мероприятия по охране атмосферы. Для наглядности удобно пользоваться обобщенным индексом (1.8).

Численная модель, реализующая решение сопряженной задачи

Для практического применения предложенного методического подхода необходима численная модель расчета полей сопряженных функций.

Описание некоторых вариантов численной модели, реализующей решение сопряженной задачи (1.3) в трехмерной постановке, дано в работах [44, 45]. Поэтому ниже отметим только некоторые особенности ее построения.

Областью решения задачи является Северное полушарие. Сеточная область численной модели составляет 90×360 узлов. Шаг сетки модели – 1° .

В дифференциальном уравнении в задаче (1.3) отсутствует учет недиагональных членов тензора турбулентной диффузии вследствие их слабой изученности. Не учитываются в явном виде также фотохимические процессы, коагуляция, поглощение каплями тумана и осадков, радиоактивный распад. Учет этих процессов осуществляется неявно.

Главными особенностями дифференциального уравнения в (1.3) является то, что оно описывает существенно положительные функции, имеющие большие пространственные градиенты. Поэтому для численного его решения согласно [46] вводилась знакопеременная функция $\sqrt{q^*}$, что избавило от первой особенности. Для преодоления второй применялась схема

второго порядка точности по горизонтальным координатам и по времени на основе двуциклического метода расщепления [32]. Решение полученных одномерных уравнений по горизонтальным координатам осуществлялось методом факторизации для трехточечных уравнений [47]: по λ циклической прогонкой (по кругу широты), а по ψ – обычной прогонкой с однородными граничными условиями на экваторе.

Горизонтальный коэффициент турбулентности определяется аналогично [33].

Поля ветра и других метеовеличин при расчетах берутся либо из реанализов, либо из результатов сценарных расчетов изменения климата. Это обеспечивает возможность оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата.

1.5.2. Оценка динамики загрязнения атмосферы регионов России в первой половине XXI века

Для оценки экологической безопасности атмосферного воздуха в регионах России в первой половине XXI века выполнено исследование динамики дальнего загрязнения атмосферы экономических районов Российской Федерации в 1980-2050 гг. с учетом изменений климата [42].

В настоящее время в Российской Федерации насчитывается 12 экономических районов¹, полностью или частично совпадающих с границами федеральных округов. Поскольку некоторые районы (Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Дальневосточный) имеют большую пространственную протяженность, прежде всего, с севера на юг, и на данных территориях отмечается существенная дифференциация видов экономической деятельности, обусловленная климато-

¹ Общероссийский классификатор экономических регионов. ОК 024-95. Утв. постановлением Госстандарта России от 27.12.1995 № 640. (ред. от 27.12.2018).

географическими условиями, при проведении расчетов данные территории были разделены на несколько частей.

В частности, отдельно выделены северные части указанных районов выше 70° северной широты, входящих в Арктическую зону РФ. Сюда вошла территория западнее п-ова Таймыр, п-ов Таймыр и зона восточнее п-ова Таймыр. В Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском районах также выделены зоны между 60° и 70° с. ш. и оставшиеся территории южнее 60° с. ш., так как ориентировочно по ней проходит разделение зон экономической деятельности. Дальневосточный экономический район также разделен на 3 зоны: западную (республика Саха (Якутия), восточную (Чукотский АО, Магаданская обл., Камчатский край) и юго-восточную (Амурская обл., Хабаровский край, Приморский край, Сахалинская обл.)

В итоге указанного разделения выделено 19 экологически значимых зон, для которых проводилась оценка динамики дальнего загрязнения атмосферы. Для каждой из этих зон рассчитаны сезонные (январь, апрель, июль, октябрь) и годовые обобщенные индексы M с 1980 по 2050 гг. с шагом 5 лет. При этом проводилось две серии расчетов с учетом двух характерных сценариев изменения климата в XXI столетии, принятых Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) – «умеренного» (RCP4.5) и «жесткого» (RCP8.5) [48], которые соответствуют различному уровню выбросов и концентраций парниковых газов в атмосфере, оказывающих влияние на климат. В качестве необходимых полей метеовеличин использовались данные реанализов [49, 50] для периода 1980-2015 гг. и данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН для периода 2020-2050 гг. (по сценариям RCP4.5 и RCP8.5) [51].

На рис. 1.4, 1.5 представлены карты распределения среднегодового индекса M в 1980-2050 гг. с интервалом 5 лет с учетом различных климатических сценариев.

Проведенные расчеты показывают, что территория Российской Федерации в период 1980-2050 гг. характеризуется весьма неоднородной динамикой направлений поступления загрязняющих примесей.

Так, при сценарии изменения климата RCP4.5 минимальная динамика индекса M отмечается в Калининградской области и в южной части Западно-Сибирского района ниже 60° с. ш., свидетельствующая соответственно об устойчивом западном и западо-юго-западном переносе загрязняющих веществ. Вариации здесь не превышают 10° .

Небольшие изменения индекса M (от 10° до 30°) прослеживаются в Северо-Западном, Волго-Вятском и Центральном районах между З и ЗЮЗ направлениями, Уральском районе – между З и ЮЗ направлениями, а также в южной части Восточно-Сибирского района ниже 60° с. ш. в пределах ЗЮЗ и ЮЗ направлений.

Умеренные изменения направления поступления примеси (от 30° до 60°) с 1980 по 2050 гг. отмечаются в Центрально-Черноземном районе между З и ЮЗ, в северной части Восточно-Сибирского и Дальневосточного районов выше 70° с. ш. и западной части Дальневосточного района – между ЮЗ и Ю направлениями.

Выраженная динамика индекса M (от 60° до 100°) проявляется в Северо-Кавказском районе между З и Ю направлениями, в северной и центральной части Западно-Сибирского района – между ЮЗ и Ю направлениями, в Северном районе и центральной части Восточно-Сибирского района (между 60° и 70° с. ш.) между ЗЮЗ-ЮЮВ, в восточной части Дальневосточного района – между ЗЮЗ-ЮВ направлениями.

Сильные изменения в направлении поступления загрязняющих веществ наблюдаются в Поволжском районе (до 110°) в диапазоне З и ЮЮВ румбов и юго-восточной части Дальневосточного района (до 170°) в пределах З и В румбов. Существенная динамика индекса M на Дальнем Востоке в районе Приморья, очевидно, является следствием усиления

дальневосточного муссона. В Поволжье к столь резким вариациям индекса M , вероятно, может приводить влияние особенностей атмосферной циркуляции, обусловленной пестрым рельефом.

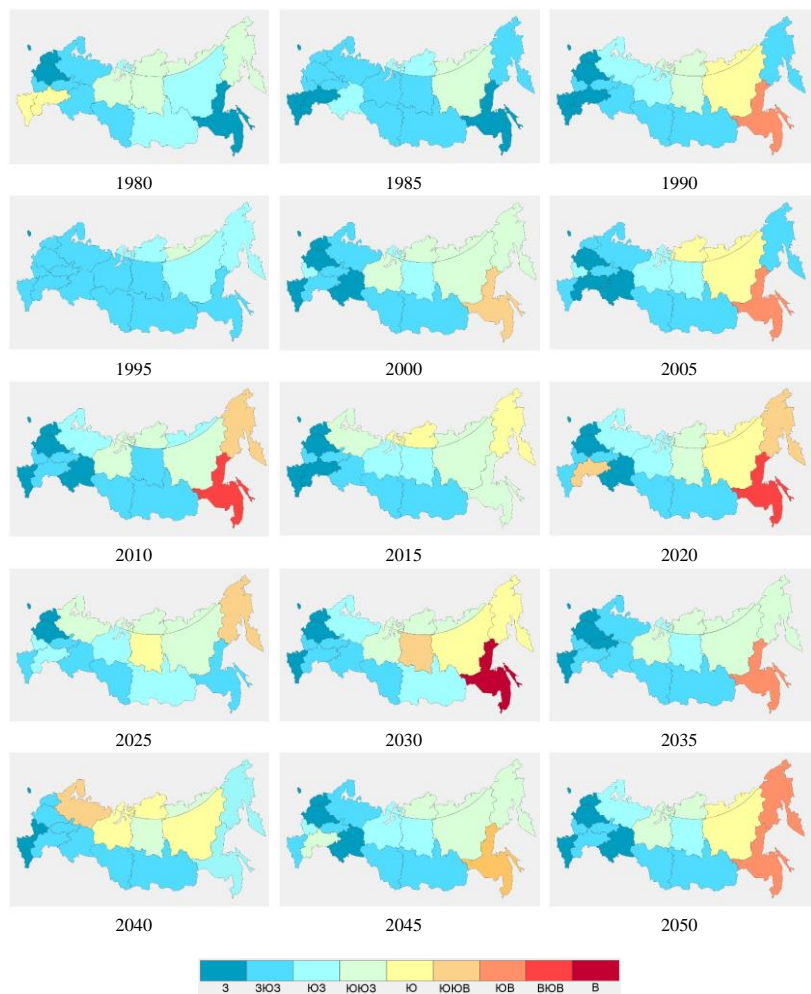


Рис. 1.4. Динамика распределения индекса M в 1980-2050 гг. при сценарии изменения климата RCP 4.5

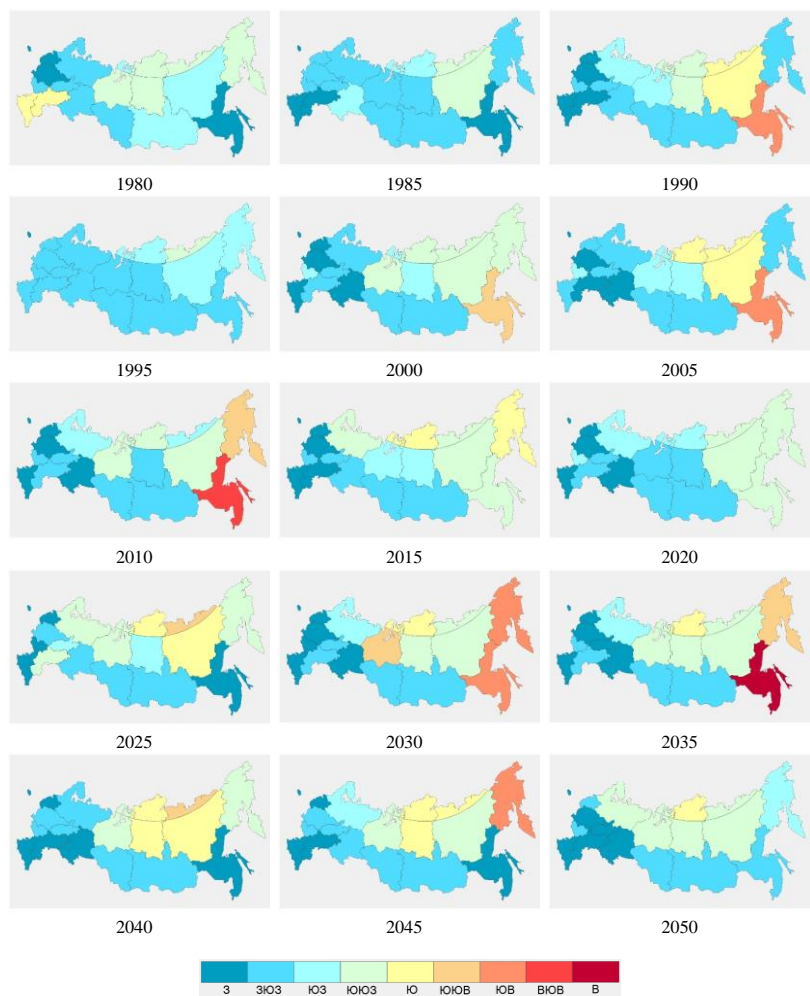


Рис. 1.5. Динамика распределения индекса M в 1980-2050 гг. при сценарии изменения климата RCP 8.5

При климатическом сценарии RCP8.5 минимальные изменения направления поступления загрязняющих веществ (менее 10°) характерны для территорий Калининградской

области и юга Западной Сибири, где стабильно господствует соответственно западный и западо-юго-западный перенос.

Небольшие изменения индекса M (от 10° до 30°) проявляются в Северо-Западном и Центральном районах между З и ЗЮЗ направлениями и на юге Восточно-Сибирского района между ЗЮЗ и ЮЗ направлениями.

Умеренные вариации индекса M (от 30° до 60°) прослеживаются в Центральном-Черноземном и Уральском районах между З и ЮЗ, Северном районе между ЗЮЗ и ЮЮЗ, Волго-Вятском районе между ЗЮЗ и ЮЗ, в северной части Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов выше 70° с. ш., западной части Дальневосточного района – между ЮЗ и Ю направлениями, а также в северной (выше 70° с. ш.) части Дальневосточного района между ЮЗ и ЮЮВ направлениями.

Выраженная динамика индекса M (от 60° до 100°) проявляется в Поволжском и Северо-Кавказском районах между З и Ю направлениями, в центре Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов соответственно между ЗЮЗ-ЮЮВ и ЗЮЗ-Ю направлениями.

В восточной и юго-восточной части Дальневосточного района отмечаются сильные изменения направления переноса примеси – с западо-юго-западного до юго-восточного (вариации – до 110°) и с западного до восточного (вариации – до 170°) соответственно.

Анализ наблюдаемых и возможных изменений индекса M по экономическим районам Российской Федерации на протяжении 70 лет при различных климатических сценариях свидетельствует о его весьма сложной динамике. В отдельные годы для некоторых территорий наблюдаются существенные вариации направлений (румов), откуда идет загрязнение рассматриваемых экологически значимых зон, в которых сложно выявить закономерности. В целом, для обоих сценариев в большей части районов характерны умеренные и выраженные изменения индекса M , которые, однако, по-разному распределены по территории страны.

На рис. 1.6 представлена оценка повторяемости направлений поступления загрязняющих примесей по годам за период 1980-2050 гг. в экономические регионы указанных выше зон. Анализ полученных результатов, несмотря на имеющиеся отличия по сценариям, позволяет отметить общие тенденции изменения направлений поступления загрязняющих веществ с З-ЗЮЗ на ЮЮЗ-В, что свидетельствует об усилении меридионального (южного) переноса примеси в загрязнение атмосферы российских регионов.

Отмеченная динамика заметно выражена в районах Сибири и Дальнего Востока и незначительно на Европейской территории России и Урале. При «жестком» климатическом сценарии (RCP8.5), несмотря на общую тенденцию к южному переносу примесей, становится заметной определенная дисперсия направлений, откуда осуществляется загрязнение регионов, указывающая на усиление загрязнения атмосферы с запада в отдельных районах, в основном в центре и на юге ЕТР.

Таким образом, наибольшую опасность в плане дальнего загрязнения атмосферы экономических районов и макрорегионов Сибири и Дальнего востока в ближайшие десятилетия будут представлять источники, расположенные южнее данных территорий; районов и макрорегионов ЕТР и Урала – источники, расположенные западнее и южнее.

Полученные выводы важны для разработки предложений по обеспечению экологической безопасности регионов при планировании пространственного развития Российской Федерации, в особенности – экономического развития территорий страны, влияющих на загрязнение атмосферы экологически значимых зон.

В частности, требуется определенная осторожность при планировании на территории страны размещения новых промышленных объектов, выбрасывающих в атмосферу загрязняющие вещества. Кроме этого, повышается актуальность контроля трансграничного загрязнения атмосферы со стороны ближайших стран Европы, Средней и Юго-Восточной Азии.

Годы	З	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ
Реализ						
1980	3	4			2	
1985	3	5	1			
1990	5	3	1			
1995	1	≥6				
2000	5	3	1			
2005	4	4	1			
2010	5	3	1			
2015	5	3	1			
Сценарий RCP 4.5						
2020	4	3	1			1
2025	3	3	2	1		
2030	4	4	1			
2035	5	4				
2040	3	5				1
2045	4	3	1	1		
2050	5	3	1			
Сценарий RCP 8.5						
2020	5	2	2			
2025	4	2	1	2		
2030	≥6	2	1			
2035	≥6	2	1			
2040	5	4				
2045	4	4	1			
2050	≥6	2		1		

Годы	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ
Реализ					
1980	1	2	3		
1985	4	2			
1990	2	1	3		
1995	4	2			
2000	2	2	2		
2005	2	3		1	
2010	3	3			
2015	2	2		2	
Сценарий RCP 4.5					
2020	2	2	2		
2025	1	2	2	1	
2030	1	1	3		1
2035	2	2	2		
2040	2		1	3	
2045	2	3	1		2
2050	2	1	3		
Сценарий RCP 8.5					
2020	4	2			
2025	2	1	2	1	
2030	2		1	2	1
2035	2		3	1	
2040	2		2	2	
2045	2		2	2	
2050	2		3	1	

Годы	З	ЗЮЗ	ЮЗ	ЮЮЗ	Ю	ЮЮВ	В
Реализ							
1980	1		1	2			
1985	1	1		2			
1990		1		2		1	
1995		1	2	1			
2000				3	1		
2005		1		2		1	
2010			1	1	1		1
2015				3	1		
Сценарий RCP 4.5							
2020				2	1		1
2025		1		2	1		
2030				1	2		1
2035				3		1	
2040			2	1	1		
2045				3	1		
2050				2	2		
Сценарий RCP 8.5							
2020				4			
2025	1			1	1		
2030				2		2	
2035				2	1		1
2040	1			1	1		
2045	1			1	1	1	
2050		1	1	2			

а)

б)

в)

Рис. 1.6. Оценка повторяемости направлений поступления загрязняющих примесей в 1980-2050 гг. в регионы: ЕТР и Урала (а), Западной и Восточной Сибири (б), Дальнего Востока (в)

Глава 2.

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Интегральным показателем, комплексно оценивающим ситуацию территории, является качество жизни населения. Этот показатель, как отмечалось во введении, наиболее часто характеризуют рядом параметров, в том числе по здоровью, наблюдаемому и ожидаемому состоянию окружающей среды, условиям жизни и др. Понятно, что загрязнение атмосферы ведет к снижению качества жизни населения.

Значительная часть населения российских городов проживает в условиях повышенного риска для здоровья вследствие загрязнения атмосферного воздуха. При этом загрязнение атмосферы не всегда увеличивает число случаев заболеваний, но повышает тяжесть и ухудшает исход болезней в виде повышенной инвалидизации и летальности.

Основными источниками загрязнения атмосферы во многих городах России являются транспорт и промышленные объекты. Последствия этого техногенного воздействия на атмосферу для здоровья могут реализовываться спустя годы и десятилетия.

К факторам, влияющим на качество среды обитания, относятся не только источники техногенного загрязнения, но и зависящие от атмосферных режимов и климатических изменений метеорологические условия, определяющие характер рассеивания примесей в атмосфере. Наблюдаемое изменение климата ведет к изменению уровня погодно-климатической комфортности и повышению частоты экстремальных погодных явлений, способных значительно усугублять и без того напряженную экологическую обстановку, что приводит к росту заболеваемости и дополнительной смертности.

Все более актуальной становится проблема влияния на здоровье человека так называемых биогенных примесей, таких,

как пыльца растений, вызывающая ряд аллергических заболеваний. При возможном изменении климата ожидается сдвиг сроков начала и окончания пыления аллергенных растений в сторону увеличения продолжительности сезона, повышение концентрации пыльцы в воздухе, расширение ареала распространения аэроаллергенов; возможно появление ранее нехарактерных для данной местности аллергозаболеваний.

Дополнительной проблемой является взаимодействие биогенных и техногенных примесей в воздушной среде. Это приводит к накоплению на поверхности пыльцы воздушных поллютантов и повышению агрессивности пыльцы по отношению к человеческому организму, что проявляется в увеличении частоты и тяжести аллергических патологий.

Все это происходит на фоне резкого снижения в последние годы уровня массового медицинского обслуживания и вызывает ощутимые экономические потери как со стороны государства, так и со стороны населения, то есть граждан (личные финансовые потери).

2.1. Влияние загрязнения атмосферы и погодноклиматических условий на здоровье населения

2.1.1. Влияние атмосферных примесей на заболеваемость населения

Загрязнение атмосферного воздуха сказывается на состоянии здоровья многих людей и, как показывают наблюдения, связано с распространением различных видов заболеваний. Влияние загрязнения внешней среды на организм человека изучается последние десятилетия [1].

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 медиков вызывает субпороговое и пороговое действие химических факторов техногенного загрязнения, обуславливающих неспецифические патологические процессы, снижение защитно-приспособительных сил организма.

Загрязнение атмосферного воздуха занимает одно из приоритетных мест по дозовому воздействию и биологическим ответным эффектам для здоровья человека. Например, только с выбросами автомобильного транспорта в воздух поступает более двадцати вредных для человека веществ [2, 3].

Загрязнение окружающей среды оказывает влияние как на распространенность, так и на тяжесть отдельных заболеваний [4]. Так, если в экологически неблагополучном регионе наблюдается невысокая заболеваемость, то при этом часто течение болезней и прогноз по инвалидности оказывается более тяжелым, чем на относительно чистых территориях. В частности, данная тенденция прослеживается при сопоставлении показателей заболеваемости с высокой концентрацией в атмосферном воздухе отдельных компонентов, например, при повышенном содержании свинца [5].

В последние годы возросла доля исследований, направленных на выявление этиологической и/или патогенетической роли химического загрязнения атмосферы в ряде заболеваний. Принцип этих исследований заключается в выявлении связи между загрязнением воздуха (концентрациями загрязняющих веществ) и уровнем заболеваний, изменений в состоянии здоровья детского и взрослого населения; изучается распределение заболеваемости по районам с различной степенью техногенной нагрузки. В некоторых работах изучается воздействие конкретного источника со своими специфическими выбросами, как правило, какого-либо крупного промышленного предприятия на здоровье населения, проживающего в зоне его влияния. В ходе такого исследования выявляются характерные экологически обусловленные заболевания.

В то же время данные исследования носят фрагментарный характер. Это, в первую очередь, связано с неполным охватом городов сетью наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха. В некоторых населенных пунктах измерения концентраций вредных веществ в воздухе не проводятся вовсе. Кроме того, значительную трудность для исследователей представляет получение данных по состоянию здоровья населения, или эта информация не всегда объективна. По этой причине пока не удастся составить полноценную картину зависимости различных заболеваний от тех или иных источников и видов выбросов, а также пространственного распределения экологически обусловленных заболеваний по территории Российской Федерации.

Согласно данным работ [6-10], одно из ведущих мест по экологической обусловленности занимают *болезни органов дыхания*, связанные с широким спектром источников промышленных выбросов и в большой степени автотранспорта.

В работе [8] выявлены положительные связи между загрязнением атмосферного воздуха диоксидом серы и диоксидом азота и обращаемостью населения за медицинской помощью по поводу отдельных болезней органов дыхания. Проведенные в г. Новодвинске эпидемиологические исследования показывают качественное соответствие длительного воздействия диоксида азота в атмосферном воздухе и увеличение числа случаев респираторных заболеваний у детей. Негативные клинические последствия воздействия диоксида азота в концентрациях 380-560 мкг/м³ на астматиков проявляются в виде усиления реакции дыхательных путей на такие провоцирующие обострение факторы, как холодный воздух, аллергены, физические нагрузки.

Полученные результаты исследований в г. Воронеже и области [6] показали, что в наиболее загрязненных районах города достоверно чаще встречаются все исследуемые виды патологии дыхательной системы по сравнению со среднегородским уровнем. Среди районов Воронежской области

группа под действием повышенного уровня загрязнения воздуха также имеет достоверно более высокую распространенность болезней органов дыхания по сравнению с группой районов с низким уровнем загрязнения. Анализ парной корреляции между показателями заболеваемости детей, проживающих на территории городского округа города Воронежа с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, и среднегодовыми концентрациями загрязняющих веществ показал достоверные положительные связи между показателями индекса загрязнения атмосферы и заболеваемостью детей болезнями органов дыхания (в том числе, астмой) [10].

Анализ результатов социально-гигиенического мониторинга и заболеваемости хроническим бронхитом и бронхиальной астмой в Санкт-Петербурге за 2003-2008 годы [7] показал, что в условиях высокого индекса загрязнения атмосферы первичная заболеваемость взрослого населения хроническим бронхитом неуклонно растет. Кроме этого, установлено, что такие типичные загрязнители городского воздуха, как оксид углерода и оксиды азота в комбинации с хлористым водородом и фенолом способствуют развитию бронхиальной астмы. В [9] установлено, что показатели заболеваемости детей в районах Санкт-Петербурга с высокой интенсивностью движения транспорта пневмониями, хроническими болезнями миндалин и аденоидов, хроническими и неуточненными бронхитами, хроническими фарингитами, назофарингитами, синуситами и ринитами статистически значимо превышают среднегородские показатели заболеваемости детского населения.

В Москве в связи с увеличением загрязнения атмосферы значительно возросла заболеваемость болезнями органов дыхания, особенно хроническими формами. Динамика увеличения уровня заболеваемости прослеживается с 1990 г. и коррелирует с ростом количества автотранспорта (коэффициент корреляции составляет 0,991 ($p < 0,05$)). Выбросы автотранспорта обладают раздражающим действием на дыхательные пути и

играют значительную роль в развитии как острых, так и хронических форм заболеваний [11].

По данным [12] вклад загрязнения воздуха в развитие заболеваемости органов дыхания у населения составляет в зависимости от возраста до 40%.

При выявлении региональных особенностей распространенности аллергических болезней органов дыхания у детей установлено [5], что высокая заболеваемость бронхиальной астмой и аллергическим ринитом отмечается в наиболее урбанизированных промышленных регионах России – в Северо-Западном, Центральном, Уральском и Приволжском Федеральных округах; низкая аллергическая заболеваемость – в Южном, Сибирском и Дальневосточном округах. Значительная распространенность данных заболеваний установлена на территориях с преимущественным загрязнением атмосферного воздуха такими веществами, как формальдегид, свинец, диоксид серы, оксиды азота.

Вслед за болезнями органов дыхания распространение на урбанизированных территориях, получили *болезни системы кровообращения*. В частности, одно из исследований [13] показывает, что на городских территориях (г. Киров), характеризующихся повышенным содержанием в воздухе взвешенных веществ мелкодисперсной фракции, среди взрослого населения отмечается статистически значимый ($p < 0,05$) высокий по сравнению с контрольным районом общий уровень первичной заболеваемости и распространенности болезней, характеризующихся повышенным кровяным давлением, ишемической болезни сердца, а также cerebroваскулярных болезней.

Также показано статистически значимое повышение уровня патологий сердечно-сосудистой системы (за счет болезней, связанных с повышенным артериальным давлением) у детского населения Санкт-Петербурга в районах с высокой интенсивностью автотранспортных потоков и обусловленным этим высоким загрязнением атмосферы [9].

В [14] показано, что комплексное воздействие аэрополлютантов приводит к увеличению агрегации тромбоцитов, свертываемости крови, что способствует развитию ишемической болезни сердца.

Отмечается также кардиотоксическое действие таких загрязнителей, как соединения серы, азота и углерода, фенол, формальдегид, особенно в составе пылегазовых композиций.

Болезни крови и кроветворных органов. Проведенные на территории г. Иркутска исследования [15] показали, что техногенное загрязнение воздуха наряду с возможным алиментарным дефицитом служит этиологическим фактором, предрасполагающим к широкому распространению анемий у взрослого городского населения. Получены выводы о том, что уровень загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота, серы и оксидом углерода напрямую достоверно воздействует на показатель первичной заболеваемости взрослого городского населения ($r = 0,85-0,98$; $p < 0,05$).

Болезни эндокринной системы. В связи с тем, что щитовидная железа очень чувствительна к любым отклонениям в воздействиях окружающей среды, была оценена распространенность тиреотоксикоза среди населения города Воронежа и Воронежской области. Установлено [6], что в промышленно развитых районах г. Воронежа распространенность тиреотоксикоза достоверно превышает аналогичный показатель в контрольном районе и средний показатель по городу. Распространенность тиреотоксикоза в Воронежской области в районах с высокой степенью загрязнения воздуха также достоверно (в 2 раза) выше соответствующего показателя в районах с низким уровнем загрязнения атмосферы.

Выполненное в Брянской области исследование зависимости заболеваемости *болезнями кожи и подкожной клетчатки* (атопический и контактный дерматиты) населения, проживающего на экологически неблагополучных территориях, позволило выявить прямую зависимость между уровнем и структурой данных заболеваний и степенью техногенного

загрязнения воздуха [16]. Анализ заболеваемости атопическим дерматитом детского населения в Российской Федерации показал, что одни из самых высоких уровней заболеваний отмечаются в городах Европейской территории России – наиболее урбанизированной части страны [5, 9].

Отдельного внимания заслуживает проблема *онкологической заболеваемости*. Анализ заболеваемости лейкозами детей в России в зависимости от техногенного загрязнения окружающей среды, выполненный в Медицинском радиологическом научном центре [17], показал, что такие факторы как химическое загрязнение атмосферы, а также поверхностных вод и токсические промышленные отходы имеют четкую корреляционную связь с частотой заболеваемости лейкозом детей. Определено 11 областей России (из 65 проанализированных), где заболеваемость детей лейкозами значительно превышает таковую по стране в целом. При этом ни в одной из этих областей нет атомных электростанций, но они отличаются наличием развитой тяжелой, добывающей и обрабатывающей промышленности.

В ходе исследований [18], выполненных в Воронежской области, определены уровень, структура и территориальная распространенность заболеваемости детей от 0 до 14 лет злокачественными новообразованиями. При этом выявлена связь между комплексным загрязнением окружающей среды и детской онкозаболеваемостью. В результате наиболее сильная корреляция ($r = 0,8$) установлена между коэффициентом суммарного загрязнения атмосферного воздуха и злокачественными новообразованиями почек.

В работе, проведенной в Татарстане, отмечены выраженные корреляции ($r = 0,66-0,84$) между уровнем загрязнения атмосферы автомобильными выхлопами в крупных городах и заболеваемостью населения, в особенности детского, различными новообразованиями [19].

Анализ заболеваемости детей нозологическими формами новообразований в Санкт-Петербурге в районах с высокой

транспортной нагрузкой выявил более высокие показатели по сравнению с контрольными районами [9].

В условиях загрязнения среды обитания *органы пищеварения* часто оказываются центральным органом-мишенью и вовлекаются в патологический процесс, особенно в детском возрасте. Уровень гастроэнтерологической заболеваемости у детей в условиях загрязнения окружающей среды в 2-4 раза выше по сравнению с уровнями территорий без объектов промышленного производства [20]. При этом отмечается более обширное поражение желудочно-кишечного тракта, увеличение частоты тяжелых форм гастритов и гастродуоденитов, приводящих к развитию язвенной болезни, множественных эрозий и перерождению слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки; возникает устойчивость к консервативной терапии. Следствием этого является повышенный риск инвалидизации с детства и снижение качества жизни [21].

Так, исследование в Пермском крае [22] показало, что у детей с заболеваниями гастродуоденальной сферы, проживающих в условиях комплексного внешнесредового воздействия тяжелых металлов и ароматических углеводородов, выявлены нарушения биохимических и иммунологических показателей, отражающих дисбаланс окислительно-восстановительных процессов, развитие гепатобилиарного и интоксикационного синдромов, иммунного воспаления.

Оценка влияния производственных выбросов в атмосферу (аммиак, пыль, бенз(а)пирен, диоксид азота, сернистый газ) на здоровье населения, выполненная в Кирове (рассматриваемый источник – промышленно-энергетический комплекс города) и Благовещенске (Благовещенский район, Башкортостан, рассматриваемый источник – биохимкомбинат), показала, помимо связи с вышеперечисленными классами болезней, сильную зависимость ($r = 0,8-0,95$) между техногенным загрязнением воздуха и заболеваниями *нервной и мочеполовой систем* [23, 24].

На территории г. Воронежа проведен сравнительный анализ заболеваемости *органов репродуктивной сферы женщин и состояния новорожденных* в районах с различной степенью загрязнения воздуха [6]. Полученные данные показывают, что техногенное воздействие на окружающую среду неблагоприятно влияет на состояние репродуктивной функции женщин, вызывая нарушения вплоть до бесплодия. Нарушение здоровья женщины-матери не может не сказываться на состоянии новорожденных. Во всех неблагополучных в экологическом отношении районах достоверно чаще встречаются случаи недоношенности и рождения детей с врожденными аномалиями.

Необходимо отметить роль техногенного загрязнения окружающей среды, прежде всего, загрязнения атмосферы в развитии *инфекционного и эпидемического процессов*. Исследования, проведенные в городах Иркутской области (Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское, Братск) [4], показали, что в промышленных городах с неблагоприятной экологической обстановкой имеет место неблагоприятная эпидемиологическая ситуация по целому ряду инфекций (острые инфекции дыхательных путей; вирусные гепатиты А, В, С; различные виды дизентерии, сальмонеллез, коклюша и дифтерии). При этом течение инфекционных заболеваний отличается более длительным течением и утяжелением процесса как у взрослых, так и у детей по сравнению с населением контрольных, «условно чистых» территорий.

Установлено влияние загрязнения атмосферного воздуха на интенсивность эпидемического процесса краснухи в районе размещения предприятий целлюлозно-бумажной промышленности (Архангельская область) [25]. Показано, что комплексное загрязнение воздушной среды различными поллютантами, включающее высокие концентрации метилмеркаптана в атмосферном воздухе селитебной зоны в течение ряда лет, способствует формированию более высокого уровня заболеваемости инфекциями с аэрозольным механизмом передачи возбудителя (краснуха, ветряная оспа, ОРЗ).

Одним из негативных биологических эффектов, связанных с напряженной экологической обстановкой, является увеличение заболеваемости туберкулезом. Установлено [26], что, несмотря на то, что туберкулез – инфекционное и социально-значимое заболевание, заболеваемость находится в определенной зависимости от экологического неблагополучия окружающей среды.

Существенное влияние техногенного загрязнения атмосферы проявляется также в повышении *опасности для здоровья биогенных примесей* – повышении аллергической заболеваемости в связи с усилением аллергенности пыльцы растений [27]. Так как пыльца обладает высокой сенсibilизирующей активностью, на урбанизированных территориях происходит накопление солей тяжелых металлов в пыльцевых зернах. Доказано, что некоторые виды сорных растений обладают способностью накапливать свинец, цинк, медь, никель, особенно в зонах с существенным превышением предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почве, источником которых являются металлообрабатывающие и металлдобывающие предприятия, автотранспорт, удобрения различной химической природы и т.д. Кроме того, пыльца способна сорбировать на своей поверхности различные химические вещества из атмосферного воздуха. Результаты исследования [28] свидетельствуют о многократном увеличении содержания в пыльце тяжелых металлов (ртути и свинца) в районах расположения крупных промышленных и транспортных объектов по сравнению с экологически чистыми территориями. При этом сорбированные на поверхности пыльцевых зерен загрязняющие вещества способствуют снятию барьеров слизистых оболочек, нарушению дифференцировки лимфоцитов в сторону Th2-цитокинового ответа, развитию и более тяжелому течению аллергии. Так, показано, что появление в пыльце высоких концентраций солей тяжелых металлов может существенно влиять на формирование сенсibilизации и аллергической заболеваемости в Московском регионе.

В целом, несмотря на относительно небольшое число работ по изучению влияния загрязнения атмосферы на здоровье населения, можно увидеть по основным классам болезней на популяционном уровне зависимости между загрязнением атмосферного воздуха и нарушением здоровья. Это обусловлено раздражающим, цитотоксическим и сенсибилизирующим эффектами химических веществ при ингаляционном поступлении в организм [24]. Из проанализированных работ видно, что наибольшее распространение имеют болезни органов дыхания, в том числе аллергического свойства, системы кровообращения, а также новообразования. Показана существенная роль техногенного загрязнения атмосферы в развитии инфекционного и эпидемического процессов.

Необходимо добавить, что в ряде исследований изучалась также временная динамика заболеваемости населения. Показано, что практически по всем исследуемым заболеваниям наблюдается тенденция к росту наряду с повышением уровня загрязнения атмосферы.

Так как наступление конкретного заболевания все же нельзя однозначно связать с неблагоприятной экологической обстановкой, в оценке возможного влияния на здоровье может использоваться понятие *риска для здоровья*, которое включает канцерогенный риск и опасность возникновения различных неонкологических заболеваний.

Инструмент оценки риска все прочнее входит в медико-экологическую практику [29, 30]. Проведенные в российских городах работы по оценке риска для здоровья от загрязнения атмосферного воздуха в основном показывают повышенные или высокие уровни индивидуального канцерогенного риска (выше $1 \cdot 10^{-5}$, иногда выше $1 \cdot 10^{-4}$), что говорит о необходимости разработки и принятия мер по снижению данного риска. Опасность различных неонкологических заболеваний в большинстве населенных пунктов также характеризуется как повышенная. Индекс (коэффициент) опасности часто превышает приемлемое значение «1» и может достигать уровня 20 и выше.

В частности, масштабное исследование [9], проведенное в Санкт-Петербурге, показало, что продукты износа дорожно-автомобильного комплекса и отработавшие газы автомобилей создают, в основном, повышенные уровни канцерогенного риска на уровне $10^{-5} - 10^{-4}$ (популяционный риск для 480 тыс. чел составляет около от $2,9 \cdot 10^{-5}$ до $3,4 \cdot 10^{-4}$), что характерно для большинства крупных городов. Вместе с тем в районах с высокой интенсивностью транспортных потоков, 2500 авт./час и выше, значения риска находятся на уровне 10^{-2} (популяционный риск для 511 тыс. чел составляет $6 \cdot 10^{-2}$), что соответствует канцерогенной опасности значительно выше приемлемой.

Ведущее место среди канцерогенов занимают хром и формальдегид, а также соединения тяжелых металлов (свинца, кобальта, никеля и кадмия). Риск развития неканцерогенных эффектов, рассчитанный как коэффициент опасности по 25 загрязнителям, колеблется от 2 до 5 (средняя опасность) в районах с умеренной интенсивностью транспорта и достигает значений 15-22 (чрезвычайно высокая опасность) в районах с высокой транспортной нагрузкой. Неканцерогенная опасность обусловлена, прежде всего, воздействием тяжелых металлов и формальдегида. Основными системами, за счет которых риск высокий, являются органы дыхания и иммунная система.

Оценка риска здоровью от загрязнения атмосферы для населения г. Новодвинска, проживающего в районе крупного промышленного центра – Архангельского целлюлозно-бумажного комбината, показала повышенные уровни опасности заболеваний органов дыхания (индекс опасности равен 3,5) [31].

Оценка риска для здоровья населения, проживающего в условиях воздействия загрязнения, формируемого объектами нефтедобычи (Пермский край, Кокуйское нефтяное месторождение), [32] показала неприемлемые для населения уровни канцерогенной опасности в диапазоне $10^{-4} - 10^{-3}$ и повышенные и высокие уровни неканцерогенной опасности в диапазоне 1,1-13,6 для систем крови, органов дыхания, нервной, иммунной, мочеполовой систем.

Результаты оценки канцерогенного риска для здоровья населения промышленно развитых городов Свердловской области [33] свидетельствуют о высоком уровне опасности онкологических заболеваний, обусловленным загрязнением атмосферы предприятиями металлургической промышленности, топливно-энергетического комплекса и транспорта.

В целом, согласно данным Роспотребнадзора [34], в 2018 году порядка 587 дополнительных случаев заболеваний на 100 тыс. всего населения по России ассоциируется с загрязнением атмосферного воздуха. Это заболевания органов дыхания, иммунной, нервной, мочеполовой, костно-мышечной, репродуктивной систем, систем кровообращения, крови и кроветворных органов, слизистой глаз, а также нарушения процессов развития организма.

Так, заболеваемость всего населения болезнями органов дыхания ассоциирована с загрязнением атмосферного воздуха окислами азота, формальдегидом, бенз(а)пиреном, гидроксibenзолом и его производными, аммиаком, хлором, дигидросульфидом и другими веществами в 41 субъекте Российской Федерации.

К приоритетным территориям по количеству заболеваний в данном классе, вероятно ассоциированных с аэрогенным фактором среды обитания, относятся Смоленская, Иркутская, Челябинская, Астраханская, Московская, Курганская, Псковская области, Республика Татарстан, Республика Саха (Якутия), Республика Калмыкия. При этом загрязнение атмосферного воздуха формирует здесь от 504 до 11863 дополнительных случаев заболеваний болезнями органов дыхания на 100 тыс. населения.

Таким образом, анализ результатов процитированных работ показывает исключительно высокую актуальность проблемы влияния загрязнения атмосферы на здоровье населения для многих территорий Российской Федерации.

2.1.2. Загрязнение атмосферы и здоровье населения в условиях изменяющегося климата

Проблема техногенного загрязнения атмосферы и обусловленных этим заболеваний приобрела в последнее время новое содержание в связи с наблюдаемым глобальным изменением климата и его региональными проявлениями [35, 36]. 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 оказывать влияние на показатели первичной заболеваемости, обострений и, в конечном итоге, смертности по некоторым заболеваниям, так как при подобных условиях происходит повышенное накопление в воздухе токсичных веществ (при одной и той же мощности выбросов) [37].

Например, даже при непродолжительном увеличении температуры в сочетании с повышенным уровнем загрязнения воздушной среды такими веществами, как диоксиды азота и серы, взвешенные вещества мелкодисперсной фракции, озон, возможен значительный ущерб здоровью населения в виде увеличения смертности, частоты обострений астмы, обструктивных заболеваний легких, пневмоний [8].

Кроме этого, наблюдаемые изменения климата приводят к повышению частоты экстремальных погодных явлений, способных значительно усугублять и без того напряженную экологическую обстановку, что приводит к заметному повышению заболеваемости и дополнительной смертности населения и ухудшению трудоспособности и демографической ситуации. Последствия экстремальных атмосферных условий наглядно демонстрирует лето 2010 г. [38, 39], когда продолжительные высокие температуры и резкое ухудшение качества воздушной среды оказали сильное воздействие на жизнь и здоровье населения, привели к огромным человеческим и

экономическим потерям. Причем значительное повышение концентраций токсичных химических веществ в воздухе было вызвано не только продуктами горения лесов и торфяников, но и неблагоприятными метеорологическими условиями, способствовавшими накоплению загрязнений в приземном слое атмосферы. Дополнительная смертность населения России в июле-августе 2010 г. составила по предварительным оценкам около 58 тысяч человек, что намного больше ежегодной смертности за счет дорожно-транспортных происшествий. Число дополнительных смертельных случаев только в Москве в 2010 г. по сравнению с июлем 2009 г. увеличилось почти в 1,5 раза [37, 39].

Наряду с вредными примесями, погодные условия и их изменения способны сами по себе оказывать неблагоприятное влияние на человека, снижая уровень комфортности окружающей среды и повышая восприимчивость к загрязнителям. Человеческий организм хорошо приспособлен к влиянию окружающей среды, однако способность безболезненно переносить колебания ее параметров у каждого индивидуальная. Она зависит от возраста, пола, состояния здоровья, тренированности, профессиональной деятельности и других факторов. Влияние погоды на организм человека многогранно и до конца не выяснено. Давно замечено, что погода сказывается на самочувствии отдельных лиц и групп людей и связана с распространением некоторых видов заболеваний. Даже среди практически здоровых лиц бывает до 35-45 % метеочувствительных.

Установлено, что изменения среднесуточной температуры воздуха, относительной влажности, колебания атмосферного давления, количества осадков и скорости ветра оказывают отрицательное влияние на состояние здоровья людей с болезнями сердечно-сосудистой системы и органов дыхания [40-42]. Это влияние проявляется обострениями таких заболеваний, как гипертония, ишемическая болезнь сердца, аритмии, бронхиальная астма и др. Данные по экстренной госпитализации

пациентов с инфарктом миокарда и инсультом показывают, что при увеличении суточного перепада температур на каждый 1 °С число инфарктов возрастает на 1,9 %, инсультов – на 4,9 %; при изменении среднесуточных показателей атмосферного давления число инфарктов и инсультов также увеличивается [37].

Неблагоприятные реакции со стороны человеческого организма наблюдаются при повышенной солнечной и геомагнитной активности в виде нарушений сердечно-сосудистой, эндокринной и нервной систем, системы крови. Действие гелиогеомагнитных факторов на организм вызывает адаптационный стресс с реакциями сосудистого тонуса, изменением показателей артериального давления, возрастанием коагуляции крови, нарушениями сердечного ритма, уменьшением сократительной силы сердца [38, 43]. Медицинские последствия этих воздействий приводят к росту числа гипертонических кризов, острых нарушений мозгового кровообращения, возникновению инфарктов миокарда и внезапной смерти. По некоторым данным [37], магнитные бури способствуют увеличению числа случаев инфаркта миокарда на 31 %, инсультов – на 23 %. При этом развитие обострений на действие гелиогеомагнитных и метеорологических факторов может носить по времени опережающий, немедленный или отсроченный характер [40, 44].

Исследование комплексного влияния на здоровье геомагнитной активности и метеоусловий показывает, что метеорологические факторы зависимы между собой, в то время как геомагнитная активность может рассматриваться как фактор, действующий независимо от земной погоды [40].

Заметное негативное влияние на здоровье оказывают экстремально высокие и низкие температуры воздуха, длительные периоды жары и холода, которые существенно повышают частоту обострений и смертность от сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний и диабета. Так, в августе 2003 г. период интенсивной жары повлек за собой до 44 тыс. смертей в Европе. В Москве наиболее заметные тепловые

волны, когда экстренная госпитализация и смертность достигали рекордно высоких значений, наблюдались летом 2001, 2002 и 2010 годов. Последствия длительной холодной погоды наглядно демонстрирует ситуация в январе-феврале 2006 г., когда в Москве аномально низкие температуры наблюдались в течение 26 дней и вызвали повышенную смертность населения среди пожилых людей. Показано, что во время температурных волн, когда высокая температура ($> +25$ градусов) или низкая температура (< -17 градусов) держится 5-7 дней, число сердечно-сосудистых катастроф возрастает на 23 % и 37 % соответственно по сравнению со средними значениями в сезон [37, 40].

В последние годы большое значение в исследовании влияниях экстремальных температур на человеческий организм приобретает использование различных биоклиматических индексов. Например, с помощью подобных индексов исследовано влияние периодов экстремально жаркой погоды («волны жары») на смертность населения одного из «жарких» городов России – Ростова-на-Дону [45]. Показано, что столь неблагоприятные последствия повышения температуры наиболее сильно отражается на больных с заболеваниями цереброваскулярной системы при достижении среднесуточной температурой значения $+23,2$ °C.

Существенную роль климатические изменения играют в усилении воздействия на человека биогенного загрязнения атмосферы. Для климата России характерна контрастная смена погодного режима, сочетание неблагоприятных климатических условий дважды в году (зимой и летом), что способствует изменению характера развития и течения аллергических и других иммуннопосредованных заболеваний.

Комплексное воздействие климатических условий и загрязнения окружающей среды может усиливать и/или видоизменять те возможные негативные последствия для организма человека, которые можно ожидать при воздействии этих факторов в отдельности. Согласно прогнозам Всемирной организации здравоохранения, уже в ближайшее время половина

населения планеты будет страдать аллергией, продолжится не только рост заболеваемости аллергией и бронхиальной астмой, но и будут преобладать более тяжелые формы клинического течения, появятся новые группы аллергенов.

К настоящему времени в ГНЦ Институт иммунологии ФМБА России накоплен опыт исследований по изучению влияния различных внешнесредовых факторов на заболеваемость населения аллергией [46]. На примере пациентов, проживающих в Московском регионе, установлено влияние погоднo-климатических условий на формирование, обострение и степень тяжести аллергических заболеваний. При этом техногенное загрязнение атмосферы оказывает дополнительное влияние на усиление аллергенности пыльцы, что способствует повышению аллергической заболеваемости на фоне воздействия погоднo-климатических условий. Появление в пыльце высоких концентраций солей тяжелых металлов может существенно влиять на формирование сенсибилизации и аллергической заболеваемости, что в условиях изменяющегося климата и, соответственно, смещения сроков палинации растений и интенсивности пыления может повышать опасность пыльцы по отношению к организму человека.

В современных условиях человек подвергается воздействию многочисленных факторов окружающей среды, которые по отдельности и в комплексе могут провоцировать развитие различных заболеваний. Поэтому исследования влияния окружающей среды на здоровье и связанных с этим рисков имеют важнейшее научно-практическое значение для разработки мероприятий по адаптации к меняющимся экологическим и климатическим условиям.

2.2. Социально-экономические последствия заболеваний для населения

Экологически обусловленные заболевания, как и другие болезни, вызывают у человека (индивида) не только дополнительные боль и дискомфорт, но и приводят к негативным экономическим последствиям: затраты на лечение, восстановление, поддержание здоровья в удовлетворительном состоянии, а также упущенный заработок. При этом возникает дополнительный индивидуальный экономический ущерб (личные финансовые потери) по сравнению с тем, как если бы данный индивид проживал на территории с удовлетворительным качеством воздушной среды. В свою очередь, ухудшение экономического благосостояния граждан снижает для них возможности дальнейшей профилактики заболеваний, что приводит к отрицательным эколого-социальным эффектам – снижению компенсаторных возможностей организма и, как следствие, ухудшению здоровья и демографических показателей.

Компенсация населению экологических неблагоприятных территорий такого рода убытков в настоящее время не предусмотрена (подробно этот вопрос рассмотрен в главе 4). 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 этим рассмотрим ниже социально-экономические аспекты нарушений здоровья для населения.

2.2.1. Социально-экономическая оценка заболеваний для населения

В настоящее время в России еще недостаточно широко развито направление по социально-экономической оценке заболеваемости, в частности, обусловленной загрязнением окружающей среды и связанного с этим ущерба. Работы,

посвященные оценке ущерба от заболеваний, затрагивают в основном расчет финансовых потерь общества в целом в результате воздействия факторов окружающей среды, не учитывая личные потери каждого гражданина, которые в условиях рыночной экономики возрастают.

В обычной практике стоимостная оценка заболеваний выполняется для обоснования выбора тех или иных методов лечения, лекарственной терапии, оценки затрат лечебно-профилактических учреждений и т.п. Оценка экономического ущерба от заболеваний, как правило, используется для изучения потерь общества, экономики разных уровней вследствие заболеваемости различных групп населения. Этот экономический инструмент позволяет оценить, например, эффективность реализации специальных экологических программ, направленных на снижение риска и заболеваемости в экологически неблагополучных районах. В то же время оценка индивидуального экономического ущерба от нарушений здоровья и негативных социальных эффектов практически не находит интереса. По-видимому, эта задача представляет немалую трудность, поскольку находится на стыке экономики, медицины и общественных наук, экологии.

Однако, на основе подхода к анализу стоимости болезни [47, 48] можно определить, например, структуру расходов, связанных с заболеваниями, для физических лиц (пациентов).

Рассмотрим совокупность затрат, связанных с осуществлением лечебно-диагностических, реабилитационных и профилактических мероприятий с точки зрения фармакоэкономики, и на основе этого определим экономическое бремя заболевания для самого пациента.

Согласно фармакоэкономическим исследованиям [47, 48], затраты, связанные с болезнью, делятся на прямые, непрямые (косвенные) и неосязаемые.

Прямые затраты – это затраты, напрямую связанные с заболеванием или вмешательством. Это ресурсы, которые должны использоваться в связи с заболеванием и, таким образом,

не могут быть использованы по-другому. Прямые затраты, в свою очередь, делятся на медицинские (непосредственные затраты на лечение) и немедицинские (накладные расходы).

К прямым медицинским затратам относятся:

затраты на диагностические, лечебные, реабилитационные и профилактические медицинские услуги, манипуляции и процедуры, в том числе оказываемые на дому (включая оплату рабочего времени медицинских работников);

затраты на лекарственные препараты;

затраты на содержание пациента в лечебном учреждении;

затраты на транспортировку больного санитарным транспортом;

плата за использование медицинского оборудования, площадей и средств (распределение фиксированных затрат из статей бюджета) и др.

К прямым немедицинским затратам относятся:

наличные («карманные») расходы пациентов (например, оплата сервисных услуг в медицинском учреждении);

затраты на немедицинские услуги, оказываемые пациентам на дому (например, услуги социальных служб);

затраты на перемещение пациентов (личным транспортом, общественным – не санитарным) и т.п.

Непрямые затраты – это затраты, косвенно связанные с заболеванием или вмешательством, и потерянные ресурсы (то есть те, которые не были произведены в связи с заболеванием).

К непрямым затратам относятся:

затраты за период отсутствия пациента на его рабочем месте из-за болезни или выхода на инвалидность, включая затраты на оплату листов нетрудоспособности, пособия по инвалидности и иные социальные выплаты, предусмотренные действующим законодательством;

«стоимость» времени отсутствия на работе членов семьи пациента, связанная с его болезнью;

экономические потери от снижения производительности на месте работы;

экономические потери от преждевременного наступления смерти и т.д.

Неосязаемые затраты – это затраты, связанные с болью, страданиями, дискомфортом, которые испытывает пациент вследствие заболевания и проходимого им курса лечения. Чаще всего эти затраты не учитываются, так как сложны для подсчета. К неосязаемым затратам относятся физические и психические страдания пациента, а также эмоциональные и социальные стороны его самочувствия.

Далее определим, какие из перечисленных выше затрат, возникающих в связи с заболеванием, в реальных условиях частично или полностью могут лечь на плечи пациента.

Среди прямых медицинских затрат пациентом из собственных средств могут возмещаться:

- затраты на диагностические, лечебные, реабилитационные и профилактические медицинские услуги, манипуляции и процедуры, в том числе оказываемые на дому;

- затраты на лекарственные препараты;

- затраты на содержание в лечебном учреждении;

- затраты на транспортировку санитарным транспортом.

Среди прямых немедицинских затрат пациенты часто оплачивают:

- расходы на оплату сервисных услуг в медицинском учреждении;

- немедицинские услуги, оказываемые пациентам на дому (например, услуги по уходу за больным);

- «стоимость» времени отсутствия на работе членов семьи пациента, связанная с его болезнью;

- затраты на перемещение пациентов (личным транспортом, общественным – не санитарным) и т.п.

К непрямым (косвенным) затратам пациента в результате заболевания относятся:

- издержки за период отсутствия на рабочем месте из-за болезни (лимитированная оплата листов нетрудоспособности и иных социальных выплат, предусмотренных действующим

законодательством, не покрывающих тот заработок, который индивид заработал бы, если бы не заболел – недополученный заработок);

экономические потери от снижения производительности на месте работы (упущенный заработок, например, в случае сдельной работы, премии) и т.д.

Как видно из приведенного выше, структура прямых и косвенных затрат пациента в связи с заболеванием в зависимости от ситуации может практически полностью совпадать со структурой затрат системы здравоохранения, работодателя, государства. Ведь, как известно из практики, совсем не редкость, когда затраты на диагностику, профилактику и лечение покрываются из личных средств пациента, частично или полностью, по причине недоступности качественных бесплатных медицинских услуг или невозможности их своевременного получения (несовершенства функционирования системы обязательного медицинского страхования) и т.п. Кроме этого, практически любой случай заболевания работоспособного лица связан со снижением доходов вследствие недополучения заработной платы и/или недопроизводством продукции, снижением производительности.

Приведем результаты некоторых исследований по экономической оценке заболеваемости, в том числе от загрязнения атмосферного воздуха, на популяционном и индивидуальном уровне.

В исследовании [49] (табл. 2.1) оценка экономического ущерба от заболеваемости в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферы включает, главным образом, стоимость лечения и стоимость потраченного на лечение времени, т.е. реальные экономические потери без адекватного учета боли и дискомфорта от болезней.

Из анализа данных табл. 2.1 следует, что населению районов, расположенных вблизи промышленных предприятий и транспортных объектов, может быть нанесен заметный

экономический ущерб вследствие повышенного загрязнения воздуха.

Среди более детальных оценок финансовых потерь гражданами от нарушений здоровья можно привести результаты нескольких исследований, где рассматривается стоимость лечения отдельных заболеваний и некоторых сопутствующих затрат.

Таблица 2.1

Оценка ежегодного ущерба от заболеваемости и других вредных эффектов для здоровья, вызванных загрязнением воздуха [49]

Категории эффектов для здоровья	Общий ежегодный ущерб, млрд. руб.
Хронический бронхит	2,1
Госпитализации	0,4
Экстренные посещения врача	0,7
Дни с ограниченной активностью (для взрослых)	4
Заболевания нижних дыхательных путей у детей	0,5
Респираторные симптомы (для взрослых)	0
Общая стоимость заболеваемости	7,7

Так, в работе [50] рассматривались ежегодные затраты пациента на фармакотерапию артериальной гипертензии (лекарственные препараты) в амбулаторных условиях, которые по данным на 2016 г. составляет около 12000 руб./год.

В работе [51] приводится стоимость симптоматической терапии поллиноза (аллергии на пыльцу) в период цветения для пациента, составляющая примерно 3000 руб. (по данным на 2011 г.). Следует отметить, что данная цифра касается терапии лишь одного эпизода обострения заболевания, который случается, как

правило, 1 раз в год в соответствии с календарем пыления растений¹. Однако в течение года многие пациенты проходят специальные поддерживающие курсы терапии и часто за свой счет [52]. Стоимость такого лечения может достигать десятков тысяч рублей.

В Приморском крае исследовались экономические затраты, связанные с аллергическими заболеваниями у детей, где в сумме расходов на диагностику и лечение рассмотрены в том числе расходы семьи ребенка, страдающего бронхиальной астмой или атопическим дерматитом [53]. По данным на 2005 г. среднегодовые затраты родителей на фармакотерапию аллергического заболевания ребенка составили в среднем 15000 руб. При этом дополнительные затраты семьи в связи с заболеванием (гипоаллергенное питание и белье, дополнительные платные консультации специалистов в случаях неэффективности лечения и т.д.) составляли еще приблизительно 10000 руб. в год. Очевидно, по этим данным с учетом инфляции можно представить затраты для взрослого пациента в связи с данными заболеваниями.

В статистическом сборнике Росстата «Здравоохранение в России» [54] представлены данные за 2018 год по расходам семей в городах на платные услуги в области здравоохранения и отдыха, согласно которым в среднем на 1 члена семьи данные расходы составили 67221,5 руб.

На основании представленных оценок и структуры затрат в связи с заболеванием можно сделать вывод, что для лиц, пребывающих на экологически неблагоприятных территориях, характерны дополнительные индивидуальные финансовые потери, связанные с затратами на лечение, профилактикой болезней и упущенным или недополученным заработком вследствие повышенной заболеваемости.

¹ <https://cetrine.ru/calendar/moscow.jpg>

2.2.2. Оценка ущерба, обусловленного риском для здоровья от загрязнения атмосферы

Для оценки потенциальных индивидуальных финансовых потерь граждан в связи с риском здоровью вследствие загрязнения атмосферного воздуха может быть использован подход, основанный на методических рекомендациях к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания МР 5.1.0029-11 [55] и опыта, изложенного в работе [56].

В соответствии с методологией анализа риска экономический ущерб от нарушений здоровья в результате воздействия загрязнения атмосферы определяется величиной возможных потерь в стоимостном выражении, обусловленных дополнительными случаями заболеваемости (иными показателями, оценивающими риск для здоровья, связанного с изучаемым фактором), которые могут иметь место в течение определенного периода времени.

Таким образом, исходными данными для определения экономического ущерба от нарушений здоровья вследствие возможного неблагоприятного воздействия загрязнения атмосферы являются:

- виды предполагаемых заболеваний, ассоциируемых с загрязнением атмосферного воздуха;
- прогнозируемое число случаев заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы (риск заболеваемости).

Введем в рассмотрение *индивидуальный экономический ущерб от рисков для здоровья при воздействии загрязнения атмосферы* (Y_{ind}), представляющий собой экономический ущерб от нарушений здоровья индивида, возникающий в результате различных видов заболеваний:

$$Y_{ind} = \sum_{i=1}^I Y_{ind}^i, \text{ руб./год}, \quad (2.1)$$

где Y_{ind}^i – экономический ущерб от i -го вида заболевания, руб./год; I – количество видов предполагаемых заболеваний от неблагоприятного воздействия загрязнения атмосферы.

Экономический ущерб от i -го вида заболевания индивида (Y_{ind}^i) определяется по следующей формуле:

$$Y_{ind}^i = \alpha^i \cdot R^i / 1000, \text{ руб./год}, \quad (2.2)$$

где α^i – цена риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания, руб./случай болезни; R^i – риск по i -му виду заболевания, число случаев болезни/год на 1 тыс. чел.

Цена риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания (α^i) рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$\alpha^i = \alpha_o^i + \Delta\alpha_c^i, \text{ руб./случай болезни}, \quad (2.3)$$

где α_o^i – объективная компонента цены риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания, руб./случай болезни; $\Delta\alpha_c^i$ – субъективная компонента цены риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания, руб./случай болезни.

Объективная компонента цены риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания (α_o^i) определяется в соответствии с возникающими при этом у индивида расходами или издержками в расчете на один случай болезни, в качестве которых могут быть:

- расходы на диагностические, лечебные, реабилитационные и профилактические медицинские услуги, манипуляции и процедуры (Z_{MVi});
- расходы на лекарственные препараты (Z_{Li});
- расходы на содержание в стационаре (Z_{CCi});
- расходы на транспортировку санитарным транспортом (Z_{CTi});
- расходы на сервисные услуги в медицинском учреждении (Z_{Cyi});

- расходы на немедицинские услуги, оказываемые на дому ($Z_{\text{Д}i}$);
- расходы на перемещение (личным транспортом, общественным – не санитарным) ($Z_{\text{ЛТ}i}$);
- издержки за период отсутствия на рабочем месте из-за болезни (недополученный заработок) ($Z_{\text{НЗ}i}$);
- экономические потери от снижения производительности на месте работы (упущенный заработок) ($Z_{\text{УЗ}i}$);
- «стоимость» времени отсутствия на работе членов семьи заболевшего ($Z_{\text{С1}i}, Z_{\text{С2}i}$);
- прочие расходы ($Z_{\text{ПР}i}$).

Так, суммарные расходы на лечение взрослого трудоспособного индивида можно оценить по формуле:

$$\alpha_o^i = Z_{\text{МВ}i} + Z_{\text{Л}i} + Z_{\text{СС}i} + Z_{\text{СТ}i} + Z_{\text{СУ}i} + Z_{\text{Д}i} + Z_{\text{ЛТ}i} + Z_{\text{НЗ}i} + Z_{\text{УЗ}i} + Z_{\text{ПР}i} + Z_{\text{С1}i} + Z_{\text{С2}i}, \text{ руб./случай болезни.} \quad (2.4)$$

Расходы на лечебно-диагностические медицинские услуги ($Z_{\text{МВ}i}$) и содержание в стационаре ($Z_{\text{СС}i}$) по i -му виду заболевания определяются по следующим формулам:

$$Z_{\text{МВ}i} = z_{\text{а}i} \cdot d_{\text{а}i} + z_{\text{с}i} \cdot d_{\text{с}i}, \text{ руб./случай болезни,} \quad (2.5)$$

$$Z_{\text{СС}i} = z_{\text{сст}i} \cdot d_{\text{с}i}, \text{ руб./случай болезни,} \quad (2.6)$$

где $z_{\text{а}i}$, $z_{\text{с}i}$ и $z_{\text{сст}i}$ – средние затраты, приходящиеся соответственно на один день лечения в амбулаторных условиях, в стационаре и содержания пациента в стационаре по i -му виду заболевания, руб./чел.-дн.; $d_{\text{а}i}$ и $d_{\text{с}i}$ – число дней лечения в амбулаторных условиях и в стационаре по i -му виду заболевания, чел.-дн./случай болезни.

При оценке затрат на лечение и содержание учитываются различия в стоимости лечения и содержания пациента в лечебно-профилактических учреждениях различной категории сложности.

Расходы на лекарственные препараты ($Z_{\text{Л}i}$), транспортировку санитарным транспортом ($Z_{\text{СТ}i}$), сервисные

услуги в медицинском учреждении (Z_{CVi}), немедицинские услуги, оказываемые на дому (Z_{Di}), перемещение (личным транспортом, общественным – не санитарным) ($Z_{ЛТi}$) могут определяться на основе статистических данных.

Издержки за период отсутствия на рабочем месте из-за болезни самого заболевшего (Z_{H3i}) и/или членов его семьи (Z_{C1i}) по i -му виду заболевания – это недополученная из-за отсутствия на рабочем месте часть заработной платы в связи с лимитированной оплатой листов нетрудоспособности и иных социальных выплат, предусмотренных действующим законодательством. Данные издержки определяются следующим образом:

$$Z_{H3i}, Z_{C1i} = (p - w_i) \cdot d_{ni}, \text{ руб. /случай болезни,} \quad (2.7)$$

где w_i – средний размер оплаты одного дня нетрудоспособности по больничным листам по i -му виду заболевания, руб./чел.-дн.; d_{ni} – среднее число целодневных потерь рабочего времени в расчете на один случай заболевания, чел.-дн./случай болезни; p – средний дневной размер оплаты труда в данном регионе / городе, руб./чел.-дн.

Потери от снижения производительности на месте работы (упущенный заработок) самого заболевшего (Z_{Y3i}) и/или членов его семьи (Z_{C2i}) по i -му виду заболевания определяются снижением дохода заболевшего из-за потери прибыли/премии вследствие нетрудоспособности, снижения производительности на месте работы (недопроизводства продукции, недооказания услуг, незаключения сделок и т.п.). Данные потери определяются следующим образом:

$$Z_{Y3i}, Z_{C2i} = t \cdot k \cdot d_{ni}, \text{ руб. /случай болезни,} \quad (2.8)$$

где t – средний дневной размер дохода на душу населения, руб./чел.-дн.; k – динамическая составляющая доходов населения (кроме фиксированного размера заработной платы: премии, оплата на сдельных условиях и т.п.), доли процентов; d_{ni} – среднее число целодневных потерь рабочего времени в расчете на один случай заболевания, чел.-дн./случай болезни.

Следует отметить, что данный вид потерь весьма сложен для подсчета и требует привлечения специальных социально-экономических исследований.

Прочие расходы по i -му виду заболевания ($Z_{\text{пр}i}$) могут быть связаны с временным или постоянным изменением образа жизни, обусловленным заболеванием: специальным питанием, профилактическими регулярными занятиями спортом / лечебной, поддерживающей физкультурой и т.п.

По ряду заболеваний возможны расходы, связанные с необходимостью перемены места жительства по медицинским показаниям (расходы на переезд и устройство, включая для трудоспособного населения трудоустройство на новом месте). Кроме того, для взрослого трудящегося населения при необходимости следует учитывать расходы на переквалификацию в связи с переходом на работу с более безопасными условиями труда, а также потерю части заработка в связи с переводом на более легкую, но менее оплачиваемую работу из-за частичной утраты трудоспособности.

Субъективная компонента цены риска потери здоровья индивида по i -му виду заболевания ($\Delta\alpha_c^{ij}$) дополняет объективную компоненту. Эта компонента отражает субъективное отношение человека к риску заболеть, испытывать при этом физический и психологический дискомфорт и позволяет учесть интересы человека, а также его родных и близких, независимо от того, представляет ли он «экономическую ценность» для общества.

Для выполнения оценки субъективной компоненты цены риска используются результаты специальных социологических исследований. Субъективная компонента цены риска потери здоровья может составлять примерно 10-20 % от объективной компоненты.

Таким образом, представленный подход к оценке индивидуальных финансовых потерь граждан в связи с риском здоровью вследствие загрязнения атмосферы предусматривает использование медико-биологических данных о влиянии загрязнения воздуха на здоровье (вероятность заболеваний).

Однако, при наличии неопределенностей относительно показателей риска воздействия загрязнения атмосферы для здоровья и невозможности количественного определения дополнительных случаев заболеваемости можно использовать менее точные показатели риска (полуколичественные и даже качественные). Так, при оценке риска неонкологических заболеваний применим коэффициент опасности (индекс или показатель опасности), представляющий собой соотношение между величиной экспозиции (фактической концентрацией примеси, дозой) и безопасным уровнем воздействия (предельно допустимой или референтной концентрацией, референтной дозой). В этом случае представленный способ оценки ущерба требует соответствующей коррекции для учета другого показателя, отражающего опасность загрязнения для здоровья.

Отметим также, что вопросы оценки экономического ущерба от воздействия на здоровье населения различных вредных внешних факторов рассматривались в работе [57]. Однако, на сегодняшний день данному вопросу в целом уделяется мало внимания.

Глава 3.

УГРОЗЫ КАЧЕСТВУ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ В XXI ВЕКЕ ОТ ЗАГРЯНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

Разорванность и фрагментарность российского экономического пространства – один из главных рисков безопасности, целостности и конкурентоспособности государства. В соответствии с Основами государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года направленность на приоритетное развитие регионов, стремление к однородности экономического пространства во многом становится фактором развития страны, катализатором перевода ее экономики на инновационную модель развития. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года как важнейший документ целеполагания в системе стратегического планирования, определенный 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», к основным проблемам пространственного развития страны среди прочих относит:

низкий уровень комфортности городской среды в большинстве городов, в том числе в большинстве крупных городских агломераций и крупнейших городских агломераций;

неудовлетворительное состояние окружающей среды в большинстве городов с численностью населения более 500 тыс. человек и промышленных городах;

негативное влияние глобальных климатических изменений, в том числе таяния вечной мерзлоты и увеличения числа опасных гидрометеорологических явлений, на социально-экономическое развитие территорий Российской Федерации.

Для обеспечения системного подхода в управлении пространственным развитием, позволяющего преодолеть социально-экономические диспропорции, снять инфраструктурные ограничения, максимально полно использовать потенциалы

регионов, необходим современный механизм стратегического планирования как инструмент воплощения региональных проектов инновационного характера на основе реальных инвестиций. При этом исключительную актуальность приобретает проблема соблюдения баланса между наращиванием экономического потенциала регионов и сохранением комфортной среды жизнедеятельности населения. Решение этой проблемы заключается в реализации мероприятий по улучшению экологической ситуации и в долгосрочной оценке (прогнозе) экологической безопасности регионов.

В связи с этим в рамках проблемы загрязнения атмосферы представляется крайне важным понимание степени влияния реализации тех или иных решений по экономическому развитию территорий на атмосферный воздух как среду обитания и, следовательно, на здоровье населения, т.е. на качество жизни. При этом, наряду с оценкой будущего антропогенного воздействия на атмосферу, очень важно принять во внимание влияние естественных природных факторов, обусловленных климатическими изменениями. Так, значительную роль в плане будущего загрязнения регионов России способно сыграть изменение общей циркуляции атмосферы вследствие наблюдаемых изменений климата, которое проявляется, в частности, в виде активизации меридионального (южного) переноса воздушных масс. В результате может происходить заметное перераспределение количества поступающих примесей и источников загрязнения регионов, что, в свою очередь, может изменить уровень опасности загрязнения атмосферы для здоровья населения на некоторых территориях.

В свете реализации Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., предусматривающей комплексный подход к социально-экономическому развитию территорий и преимущественное развитие крупных и крупнейших городских агломераций, высокую научно-практическую значимость приобретают оценки рисков здоровью населения, комфортности погодно-

климатических условий и оценки рисков социальной сфере в целом вследствие загрязнения атмосферы и воздействия климатических изменений при планировании развития регионов, экономических районов страны и обеспечении их экологической безопасности.

3.1. Исследование рисков здоровью населения вследствие загрязнения атмосферы в изменяющемся климате XXI века

Необходимость учета загрязнения атмосферы в изменяющемся климате при стратегическом планировании пространственного развития России может стать важной задачей при обеспечении надлежащего уровня качества жизни населения в XXI веке. Отметим ряд работ, направленных на оценку климатических рисков в целях устойчивого развития страны.

В работе [1] представлена комплексная оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории России на период до 2030 г. Отдельные оценки охватывают перспективу до 2050 г. Рассматриваются воздействия погодно-климатических изменений на динамику развития основных показателей экономики и регионы страны. Подчеркивается необходимость учета климатического фактора в программах развития экономики России.

Доклад [2] содержит результаты оценки климатических рисков на территории Российской Федерации на основе научных исследований, проводимых учреждениями Росгидромета и обобщенных Климатическим центром Росгидромета. Рассмотрены изменения климата на территории Российской Федерации и климатические риски для населения и экономики Российской Федерации.

В монографии [3] рассматриваются основные факторы процесса возникновения климатического риска опасных метеорологических явлений и медленных изменений климата.

Предлагается методика оценки уязвимости объектов в технической сфере, подверженных влиянию опасных явлений, а также способы определения допустимости климатического риска. Приводятся примеры различных вариантов идентификации, оценки и управления рисками с учетом нестационарности климата.

В [4] рассмотрены методические подходы к оценке природно-климатических рисков. Особое внимание уделено критериям оценки природно-климатических рисков, на основании детального анализа которых авторами разработана система количественных абсолютных и относительных индикаторов, характеризующих величину и интенсивность негативного антропогенного и техногенного влияния на климат. Также представлена авторская методика оценки двух групп показателей негативного воздействия экономики на климат - «энергоемкости» и «климатоемкости» – через построение карты климатических рисков.

В работах авторов [5-9] предложена методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов, выполнены оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы в XXI веке территорий Российской Федерации с учетом изменения климата, включая Арктику.

Статья [10] посвящена макроэкономическим оценкам последствий ожидаемых в XXI в. климатических изменений в Арктике для экономического роста и развития отдельных секторов экономики Арктической зоны Российской Федерации. Даны оценка и прогноз потенциала использования Северного морского пути в условиях климатических изменений. Проанализировано влияние изменений климата на потребление энергии и устойчивость объектов энергетической инфраструктуры. Представлены количественные оценки ожидаемых ущербов от изменений климата для зданий, сооружений, транспортной инфраструктуры.

Эти и другие работы направлены, прежде всего, на решение вопросов адаптации экономики страны и ее населения к проявлениям и последствиям изменения климата, но не затрагивают вопросы, связанные с загрязнением атмосферы.

Ниже приводятся результаты исследования рисков здоровью населения вследствие загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата в XXI веке, которые получены с помощью различных подходов, отвечающих целям стратегического планирования развития регионов страны. При этом рассматриваемые подходы можно условно разделить на две категории. Первая представляет собой скорее инструменты предварительной («грубой») оценки риска и позволяет в итоге выделить приемлемые с точки зрения экологической безопасности планы развития территорий, подлежащие дальнейшей проработке. Вторая категория – это способ более детальной оценки опасности для здоровья населения, создаваемой в результате реализации уточненных, конкретных вариантов развития города или региона. В целом, представленные ниже подходы могут быть использованы в задачах различной степени детализации, взаимно дополнять друг друга и получать на их основе различные по качеству результаты.

3.1.1. Методология оценки риска для здоровья от загрязнения атмосферного воздуха

Рассмотрим общую методологию оценки риска здоровью от загрязнения атмосферного воздуха, которая также лежит в основе методов исследования рисков для здоровья населения в целях стратегического планирования развития территорий Российской Федерации.

Основу методологии оценки риска для здоровья от загрязнения окружающей среды составляет подход, предложенный агентством по охране окружающей среды США (U.S. EPA) [11]. Данный подход широко применяется в мире, а также принят к использованию в Российской Федерации [12].

Оценка риска для здоровья человека, связанного с загрязнением окружающей среды, охватывает как оценку вероятности опасного загрязнения компонентов окружающей среды, так и определение вероятности возникновения того или иного заболевания или смерти человека.

Риск для здоровья человека, связанный с загрязнением окружающей среды, возникает при следующих необходимых и достаточных условиях: существование источника риска; присутствие данного источника риска в определенной, вредной для здоровья человека дозе или концентрации; подверженность человека воздействию упомянутой дозы токсичного вещества. Перечисленные условия образуют в совокупности реальную угрозу или опасность для здоровья человека.

В соответствии с таким представлением риска для здоровья можно выделить основные элементы процедуры оценки риска (ее этапы). Всего различают четыре основных этапа [13].

Первый этап – *идентификация риска* или выявление потенциальной опасности – включает определение токсичности химического вещества для человека.

Второй этап – *оценка экспозиции* – т.е. *реального воздействия токсического вещества на человека*, которое включает определение масштаба (реального уровня) воздействия, его частоты и продолжительности.

Третий этап – *оценка зависимости «доза-ответ»* – т.е. количественная оценка реакции организма на определенную дозу воздействия токсических веществ.

Заключительный этап процедуры оценки риска (результат предыдущих этапов) – *характеристика риска*, включающая количественное распределение риска во всевозможных разрезах (территориальном, временном, по загрязнителям и т.д.). При этом в характеристику риска может быть включено качественное описание ожидаемой реакции организма на воздействие рассматриваемых загрязнителей с данной интенсивностью. В частности, такое описание дается для неканцерогенов в методике по оценке условного (относительного) риска, представляющего

вероятность развития неблагоприятных эффектов и их выраженности (тяжести) в случае определенного превышения ПДК в течение заданного промежутка времени [14].

Помимо этого, для количественной оценки неканцерогенных эффектов, обусловленных воздействием химического загрязнения среды обитания, с учетом возраста и длительности воздействия в настоящее время разработаны методические рекомендации МР 2.1.10.0062-12, предусматривающие построение эволюционных моделей [15, 16].

Расчеты риска здоровью проводятся, исходя из принципа аддитивности действия загрязняющих веществ на организм человека, как в целом, так и по отдельным органам или системам.

В процедурах оценки риска принципиальное отличие существует для распознавания опасности развития канцерогенных и общетоксических эффектов.

Оценка риска в отношении канцерогенов прямо связывает вероятность онкологического заболевания и воздействие химического вещества. Специалисты полагают, что концентрация канцерогенов в окружающей среде не имеет пороговой величины, ниже которой человек мог бы считать себя в полной безопасности.

Оценка канцерогенного риска при загрязнении атмосферы базируется на использовании единичного фактора риска [11-12, 17-19], который характеризует вероятность онкологического заболевания на протяжении жизни человека вследствие воздействия химического вещества со среднегодовой концентрацией в воздухе, равной 1 мкг/м³:

$$r = \sum_{i=1}^N R_i \cdot q_i, \quad (3.1)$$

где r – индивидуальный риск онкологического заболевания; q_i – среднегодовая концентрация i -го вещества в атмосферном воздухе, мкг/м³; R_i – единичный фактор риска для i -го вещества, м³/мкг.

Характеристика канцерогенного риска основана на оценке дополнительного числа случаев рака на всем протяжении жизни,

возникшего вследствие воздействия канцерогена – дополнительный канцерогенный риск [11, 12, 17].

Возможное возникновение неонкологических заболеваний вследствие загрязнения воздуха характеризуется показателем (индексом) относительной опасности токсичного вещества, который представляет собой критический уровень содержания в атмосфере опасных веществ, воздействующих на человека в течение жизни. Перечень опасных веществ и соответствующие критические концентрации их в атмосфере приведены в Руководстве [12] и в других публикациях [11, 19, 20]. Критическими концентрациями могут являться ПДК (предельно допустимые концентрации) или референтные концентрации, отражающие безопасный уровень воздействия.

Оценка риска как вероятности развития общетоксических эффектов (острые и хронические неонкологические заболевания), обусловленных влиянием химических веществ, содержащихся в воздухе, проводится путем сравнения фактического уровня воздействия (концентрации) с показателем относительной опасности вещества (критической концентрацией):

$$h = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{H_i}, \quad (3.2)$$

где h – показатель (индекс) относительной опасности неонкологических заболеваний; H_i – показатель относительной опасности i -го вещества, мкг/м^3 .

Риск неонкологических заболеваний при наличии данных медико-биологических (эпидемиологических) исследований может определяться как дополнительное число случаев заболеваний, обусловленных влиянием загрязнения атмосферы. Параметры для расчета неканцерогенного риска, полученные в эпидемиологических исследованиях, могут также представляться в виде единичного эпидемиологического риска по аналогии с единичным канцерогенным риском [12].

Характеристика риска опирается на систему критериев приемлемости риска, принятую в ряде стран мира и

используемую в настоящее время в России [12]. Приемлемым уровнем суммарного показателя относительной опасности неонкологических заболеваний считается единица (чем величина h больше единицы, тем более значительную опасность может представлять анализируемое воздействие).

Для канцерогенного риска диапазон, равный $1 \cdot 10^{-6}$ и менее (один дополнительный случай онкологического заболевания на 1 млн. чел. населения) характеризует пренебрежимо малый уровень риска, который не требует никаких дополнительных мероприятий по его снижению, а лишь только регулярный контроль.

Диапазон риска более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$ соответствует предельно допустимому уровню риска, т.е. верхней границе приемлемого риска. Данный риск также подлежит регулярному контролю, а, кроме того, требует проведения дополнительных мероприятий по его снижению.

Если индивидуальный риск более $1 \cdot 10^{-4}$, но менее $1 \cdot 10^{-3}$, то этот уровень приемлем для профессиональных групп, но неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых мероприятий по снижению риска, различных оздоровительных мероприятий.

Уровень риска, равный $1 \cdot 10^{-3}$ и более, неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. При достижении данного диапазона риска требуются экстренные мероприятия по его снижению.

3.1.2. Исследование динамики риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы российских регионов в XXI веке

Задача изучения динамики риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы регионов России в XXI веке включает в себя:

- оценку потенциальной опасности загрязнения для каждого региона (района) от всех возможных воздействующих источников выбросов, расположенных как в рассматриваемом районе, так и за его пределами, включая источники трансграничного поступления примесей, при различных сценариях изменения климата;

- определение источников или областей расположения источников, представляющих наибольшую потенциальную опасность для здоровья населения рассматриваемого региона при различных сценариях изменения климата.

При решении данной задачи будем опираться на методологию оценки риска для здоровья, описанную в предыдущем параграфе. Таким образом, как было показано выше, показатели чувствительности организма человека к концентрации в атмосферном воздухе загрязняющих веществ являются известными *a priori* из результатов медико-биологических исследований. Главную трудность при решении поставленной задачи представляет оценка концентраций примесей на территориях изучаемых регионов, которая обусловлена рядом особенностей.

Первая особенность заключается в значительном количестве потенциальных источников и наличии различных механизмов загрязнения атмосферы. Помимо близлежащих и находящихся на территории данных районов источников эмиссии влияние на качество воздуха способны оказывать отдаленные (в том числе – трансграничные), но мощные источники выбросов в атмосферу. Так, например, в зону Байкальского региона при преимущественном западно-восточном переносе могут поступать примеси из района Кузбасса. Влиянием муссонной деятельности может быть обусловлено интенсивное поступление примесей в данный район со стороны Китая. При определенных мезомасштабных процессах, в инверсионных метеорологических условиях, перенос загрязнений в район озера Байкал может происходить в системе низкоуровневых атмосферных струйных течений в пограничном слое атмосферы [21].

Вторая особенность заключается в неопределенности относительно будущего воздействия на атмосферу: изменение количества, расположения и мощности источников выбросов.

Учитывая эти особенности, для оценки концентраций примесей с целью исследования динамики риска здоровью в данном случае целесообразно воспользоваться методическим подходом, изложенным выше в параграфе 1.5.1 и базирующимся на решении сопряженного уравнения переноса и диффузии примеси [34].

Так как исследование риска осуществляется для регионов страны, будем рассматривать эволюцию примеси q в атмосфере над северным полушарием (область Ω).

Выбрав в задаче (1.3) функцию p в виде:

$$p = \begin{cases} 1/(T \cdot G), & \vec{r} \in G \\ 0, & \vec{r} \notin G \end{cases},$$

где $\vec{r} = (\lambda, \psi)$, получим функционал

$$Q = \int_0^T dt \int_{\Omega} I q^* d\Omega, \quad (3.3)$$

который будет характеризовать интегральный по территории рассматриваемого региона G эффект загрязнения атмосферы за время T от источников, расположенных в области Ω .

При решении второй подзадачи – по определению областей расположения источников, представляющих наибольшую опасность для населения региона G – концентрацию примеси от источника, расположенного в отдельно взятой зоне k , принадлежащей области Ω , будет характеризовать функционал

$$Q_k = \int_0^T dt \int_{\Omega_k} I_k q_k^* d\Omega_k. \quad (3.4)$$

Исследование риска здоровью выполняется на основе осредненных за определенный период (как правило, за год) концентраций загрязняющих веществ. Поэтому функционалы (3.3), (3.4) принимают вид

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T dt \int_{\Omega} I q^* d\Omega, \quad (3.5)$$

$$Q_k = \frac{1}{T} \int_0^T dt \int_{\Omega_k} I_k q_k^* d\Omega_k. \quad (3.6)$$

С учетом (3.1), (3.2) запишем выражения для расчета риска здоровью:

для решения первой подзадачи

$$r_i = \frac{R_i}{T} \int_0^T dt \int_{\Omega} I_i q_i^* d\Omega \quad (\text{канцерогенный риск}), \quad (3.7)$$

$$h_j = \frac{1}{H_j \cdot T} \int_0^T dt \int_{\Omega} I_j q_j^* d\Omega \quad (\text{опасность неонкологических заболеваний}); \quad (3.8)$$

для решения второй подзадачи

$$r_{ik} = \frac{R_i}{T} \int_0^T dt \int_{\Omega_k} I_{ik} q_{ik}^* d\Omega_k \quad (\text{канцерогенный риск}), \quad (3.9)$$

$$h_{jk} = \frac{1}{H_j \cdot T} \int_0^T dt \int_{\Omega_k} I_{jk} q_{jk}^* d\Omega_k \quad (\text{опасность неонкологических заболеваний}). \quad (3.10)$$

Запишем также в общем виде выражения для расчета риска здоровью от i -го количества канцерогенных или j -го количества неканцерогенных примесей, выбрасываемых источниками области Ω :

$$r_i = \sum_{i=1}^N R_i Q_i \quad (\text{канцерогенный риск}) \quad (3.11)$$

$$h_j = \sum_{j=1}^M \frac{Q_j}{H_j} \quad (\text{опасность неонкологических заболеваний}). \quad (3.12)$$

Соответственно выражения для расчета рисков от источника k -й зоны области Ω :

$$r_k = \sum_{i=1}^N R_i Q_{ik} \quad (\text{канцерогенный риск}) \quad (3.13)$$

$$h_k = \sum_{j=1}^M \frac{Q_{jk}}{H_j} \quad (\text{опасность неонкологических заболеваний}). \quad (3.14)$$

Так как по условиям задачи информация о выбросах источников может быть неизвестна, далее будем рассматривать

источник с единичным выбросом. Положим $I = const$ (для удобства записи ниже будем считать $I = 1$), тогда выражения (3.7)-(3.14) будут характеризовать единичные нормированные риски от загрязнения атмосферы только вследствие влияния погодно-климатических процессов. В случае, если мощность источника станет известна (например, появится план, сценарий, стратегия развития региона или будет рассматриваться влияние на регион конкретного источника или группы источников), будет достаточно всего лишь соответствующие члены подынтегральных выражений в (3.5)-(3.10) или соответствующие слагаемые выражений (3.11)-(3.14) умножить на фактическое значение выбросов.

Для решения сопряженного уравнения переноса и диффузии примеси и получения полей сопряженных функций может использоваться численная модель, аналогичная описанной в параграфе 1.5.1.

Оценка динамики риска здоровью населения от загрязнения атмосферы регионов России в первой половине XXI века

На основе представленного выше подхода выполнено исследование динамики единичного нормированного неканцерогенного риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} для 20 городов, представляющих различные экономические районы Российской Федерации, частично или полностью совпадающие с границами федеральных округов, в 1980-2050 гг. с учетом изменения климата.

В связи с большой пространственной протяженностью и различными климато-географическими условиями для некоторых районов в расчет были включены несколько городов. Для исследования риска здоровью преимущественно выбирались города с численностью населения более 1 млн. чел. или максимальной численностью на интересующей территории: Мурманск и Архангельск (Северный район), Калининград

(Калининградская область), Санкт-Петербург (Северо-Западный район), Москва (Центральный район), Нижний Новгород (Волго-Вятский район), Воронеж (Центрально-Черноземный район), Волгоград (Поволжский район), Ростов-на-Дону и Владикавказ (Северо-Кавказский район), Челябинск (Уральский район), Салехард и Ханты-Мансийск, а также Новосибирск (Западно-Сибирский район), Норильск и Красноярск (Восточно-Сибирский район), Якутск, Анадырь, Петропавловск-Камчатский, Владивосток (Дальневосточный район).

Исследование риска для населения от загрязнения атмосферы микрочастицами обусловлено повышенной потенциальной опасностью данных веществ, которые, по сути, представляют собой смесь с разнообразными физическими и химическими характеристиками в зависимости от происхождения (продукты промышленности, сгорания топлива, транспорта, сельского хозяйства, природных пожаров, биологические агенты (микроорганизмы, пыльца и др.)), и возможностью их переноса на тысячи километров от источника из урбанизированных и промышленных районов, районов природных пожаров, газо- и нефтедобычи, государств ближнего зарубежья [22].

Для каждого города проводилась оценка динамики риска от загрязнения атмосферы PM₁₀, PM_{2.5} вследствие выбросов от всех возможных источников, расположенных как в районе конкретного города и региона, так и за его пределами, включая источники трансграничного поступления примесей. С этой целью для изучаемых городов рассчитаны среднегодовые значения неканцерогенных рисков в виде индексов относительной опасности неонкологических заболеваний по двум веществам – PM₁₀, PM_{2.5} с 1980 по 2050 гг. с шагом 5 лет. При этом проводилось две серии расчетов с учетом двух характерных сценариев изменения климата в XXI столетии – «умеренного» (RCP4.5) и «жесткого» (RCP8.5), соответствующих различному уровню воздействия на климатическую систему. В качестве необходимых полей

метеовеличин использовались данные реанализов [23, 24] для периода 1980-2015 гг. и данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН для периода 2020-2050 гг. (по сценариям RCP4.5 и RCP8.5) [25].

На рис. 3.1-3.7 представлены графики динамики риска по городам в 1980-2050 гг. с интервалом 5 лет с учетом различных климатических сценариев.

Проведенные расчеты показывают, что территория Российской Федерации в период 1980-2050 гг. характеризуется весьма неоднородной динамикой риска здоровью от загрязнения атмосферы с точки зрения влияния погодно-климатического фактора. При этом прогнозируемая динамика риска по климатическим сценариям не всегда продолжает тенденции, наблюдаемые по ретроспективным данным.

За прошедшие несколько десятилетий в более чем половине городов прослеживалась тенденция к снижению рассматриваемого риска. Заметное снижение (более 10 %) отмечено в Архангельске, Санкт-Петербурге, всех принятых в расчет городах Сибири. Особенно выражена данная тенденция в Мурманске – более чем на 20 %. В Калининграде, Москве и Якутске, напротив, получено совсем незначительное уменьшение уровня риска.

В трети изучаемых городов за прошедший период отмечается положительная динамика риска. Незначительный рост показателей опасности загрязнения атмосферы можно увидеть в Нижнем Новгороде, Воронеже, Волгограде, Владикавказе, Анадыре. Более заметное увеличение риска отмечено в Ростове-на-Дону и Петропавловске-Камчатском.

В двух городах – Челябинске и Владивостоке – динамика риска практически отсутствует.

В целом, с 1980 г. по настоящее время тенденция к снижению риска с учетом погодно-климатических процессов прослеживается в северной и центральной части Европейской территории России, на всей территории Западной и Восточной

Сибири и в материковой части Дальневосточного района. В южной части ЕТР и в некоторых прибрежных городах Дальнего Востока отмечается повышение уровня риска для здоровья.

При сценарии изменения климата RCP4.5 практически без динамики находится риск в городах Владикавказ и Салехард.

Незначительное снижение риска наблюдается в Якутске, продолжая общую отрицательную динамику прошлых десятилетий.

В остальных 17 городах при умеренном сценарии изменения климата намечается тенденция к увеличению риска здоровью от загрязнения атмосферы. Причем, на территории Европейской России, Урале и Дальнем Востоке данный тренд является малозначимым, в то время, как на большей части территории Сибири опасность для здоровья населения может заметно возрасти.

При климатическом сценарии RCP8.5 динамика риска по городам более разнообразна. Отсутствие тренда отмечается лишь Волгограде.

В более чем половине рассматриваемых городов на протяжении ближайших 30 лет ожидается повышение уровня риска здоровью. Незначительное увеличение риска характерно для городов Дальнего Востока, Новосибирска, Красноярска, Мурманска, Воронежа. Более заметная динамика показана в Москве и Санкт-Петербурге. Выраженные изменения (рост опасности более чем на 20 %) прогнозируются для Архангельска и Нижнего Новгорода. Таким образом, при данном сценарии возможно заметное увеличение уровня риска здоровью населения на большей части ЕТР (в центральных и северных городах).

Незначительное снижение риска ожидается на юге Европейской России (Ростов-на-Дону, Владикавказ), Урале (Челябинск) и севере Западной Сибири (Салехард). Заметная тенденция к снижению риска видна для сибирских городов Ханты-Мансийск и Норильск.

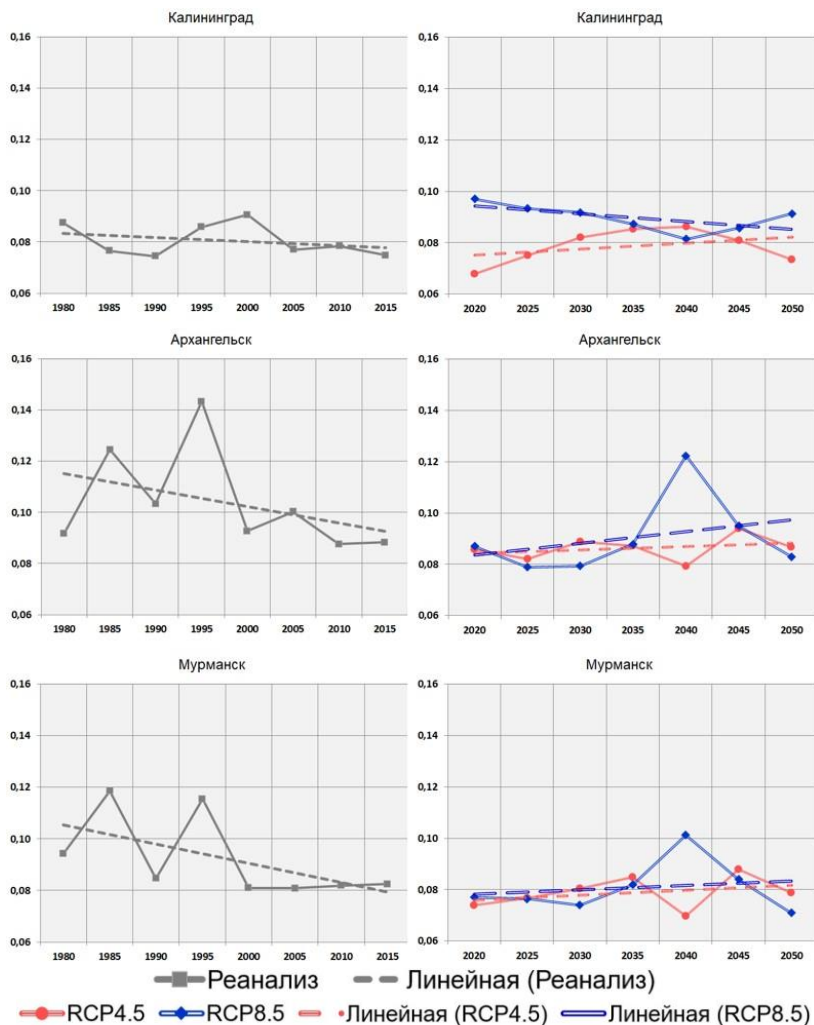


Рис. 3.1. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в городах Калининград, Архангельск, Мурманск вследствие загрязнения атмосферы частицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

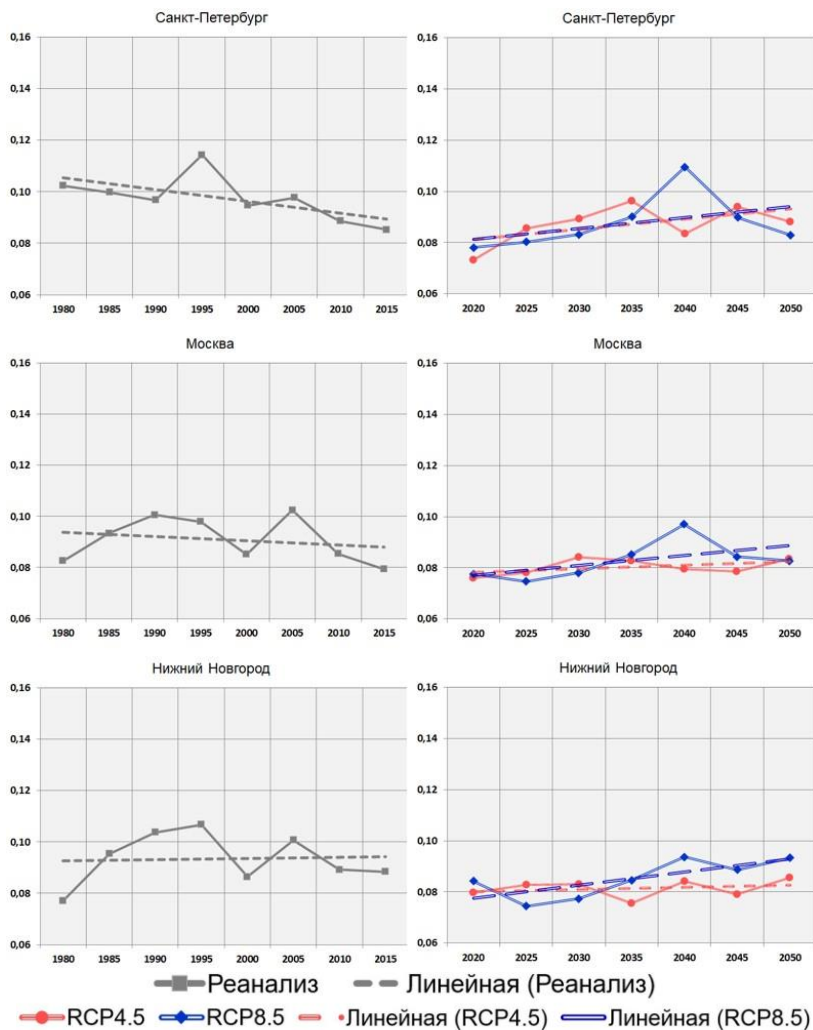


Рис. 3.2. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в гг. Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород вследствие загрязнения атмосферы частицами PM10, PM2.5 от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

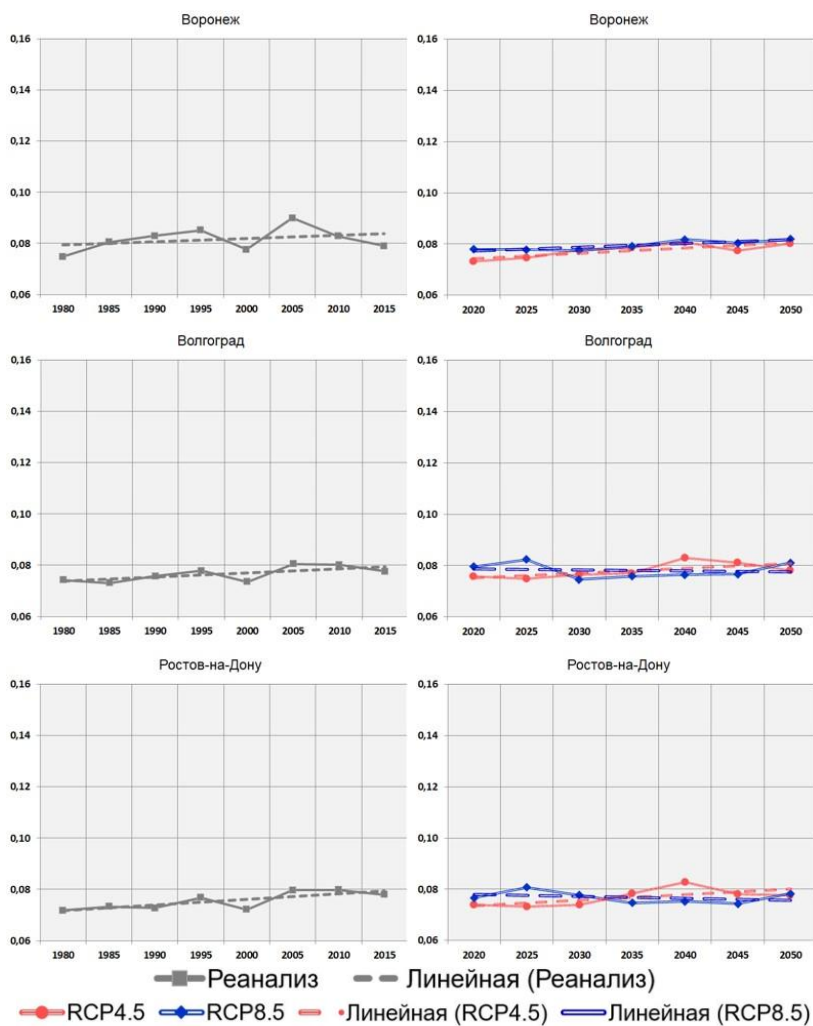


Рис. 3.3. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в городах Воронеж, Волгоград, Ростов-на-Дону вследствие загрязнения атмосферы частицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

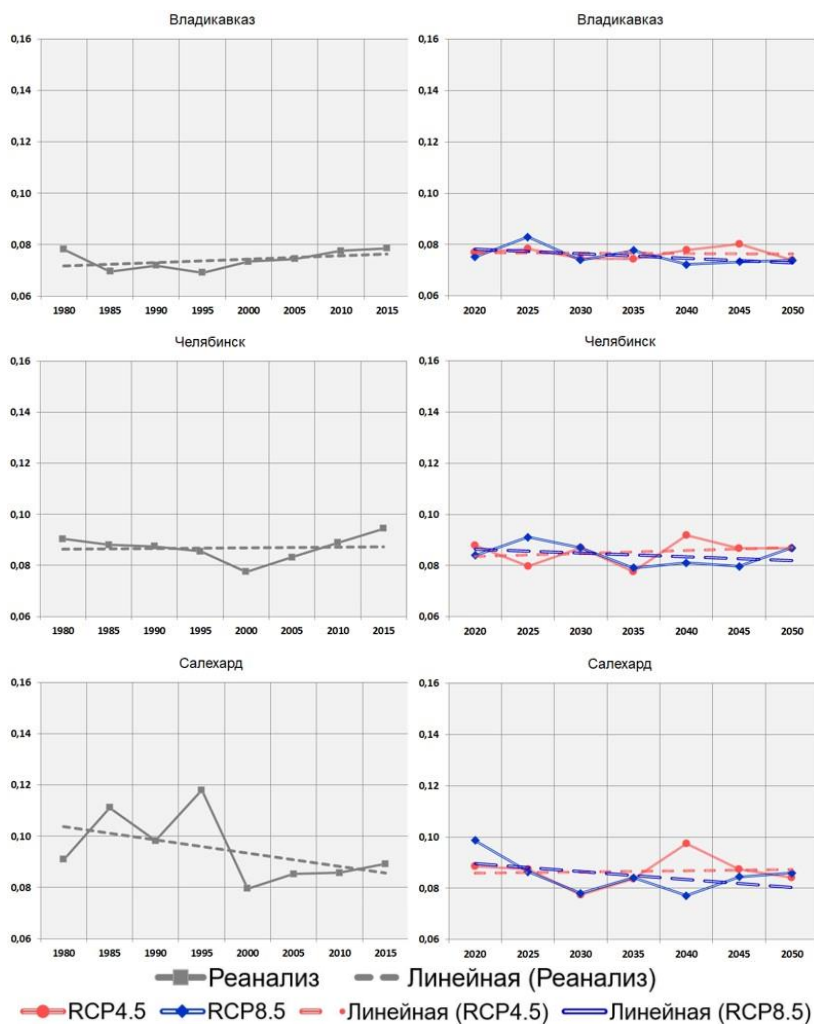


Рис. 3.4. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в городах Владикавказ, Челябинск, Салехард вследствие загрязнения атмосферы частицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

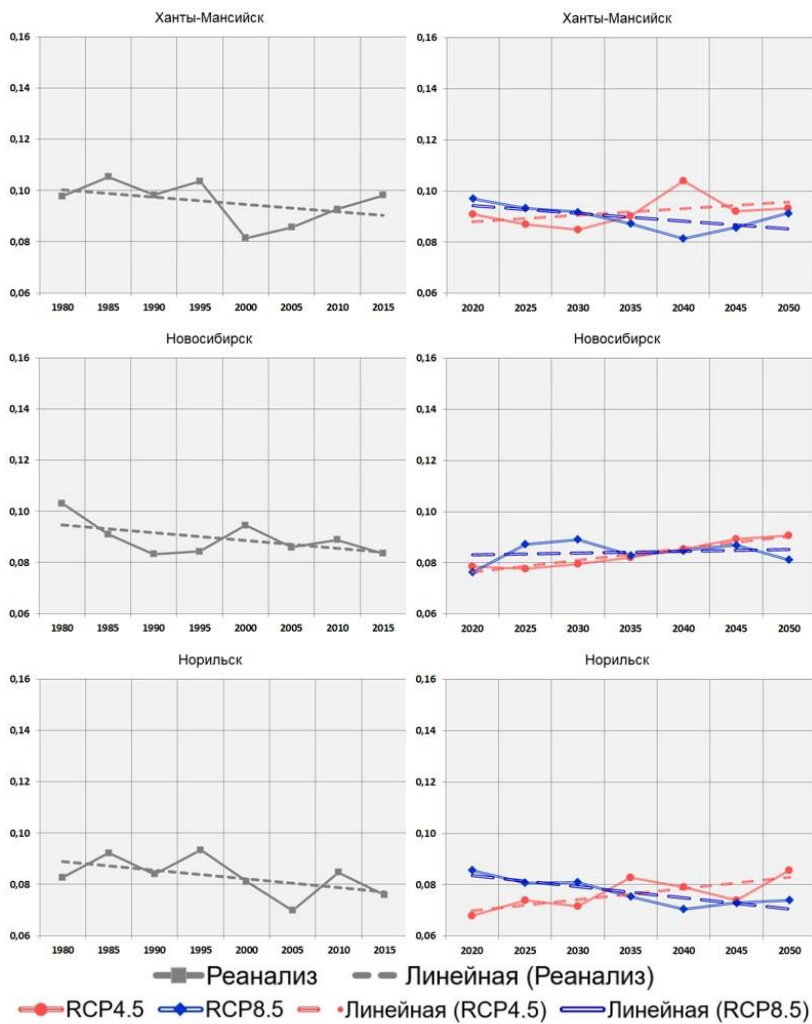


Рис. 3.5. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в гг. Норильск, Ханты-Мансийск, Новосибирск вследствие загрязнения атмосферы частицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

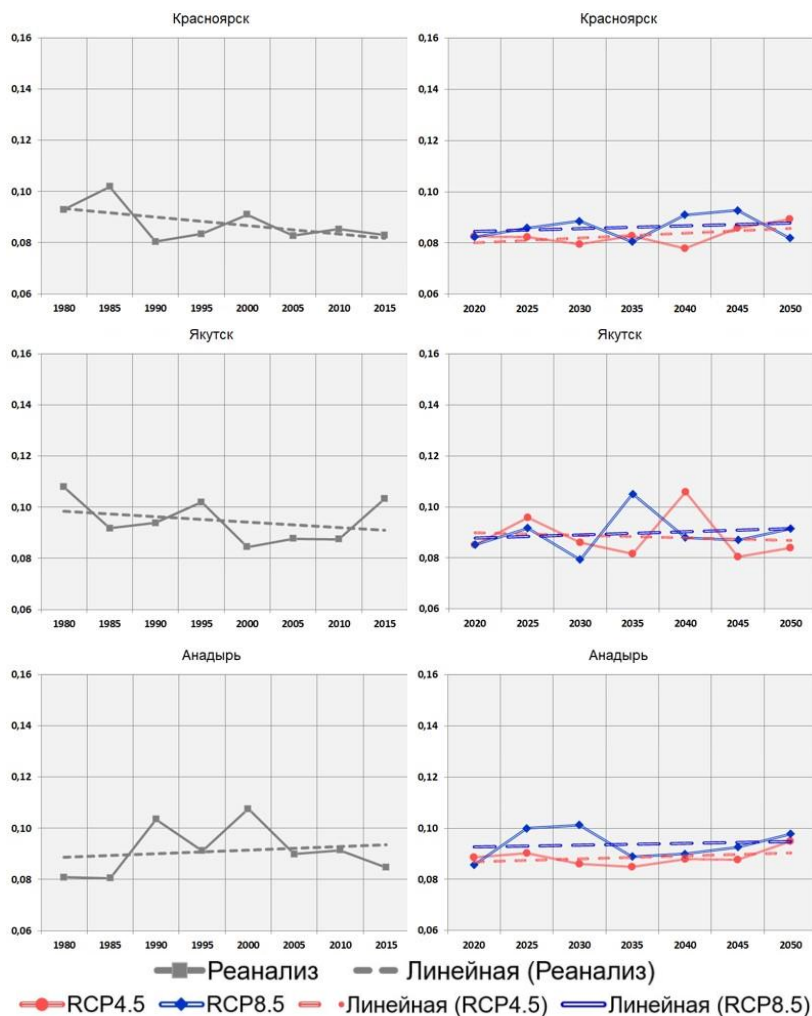


Рис. 3.6. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в городах Красноярск, Якутск, Анадырь вследствие загрязнения атмосферы частицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

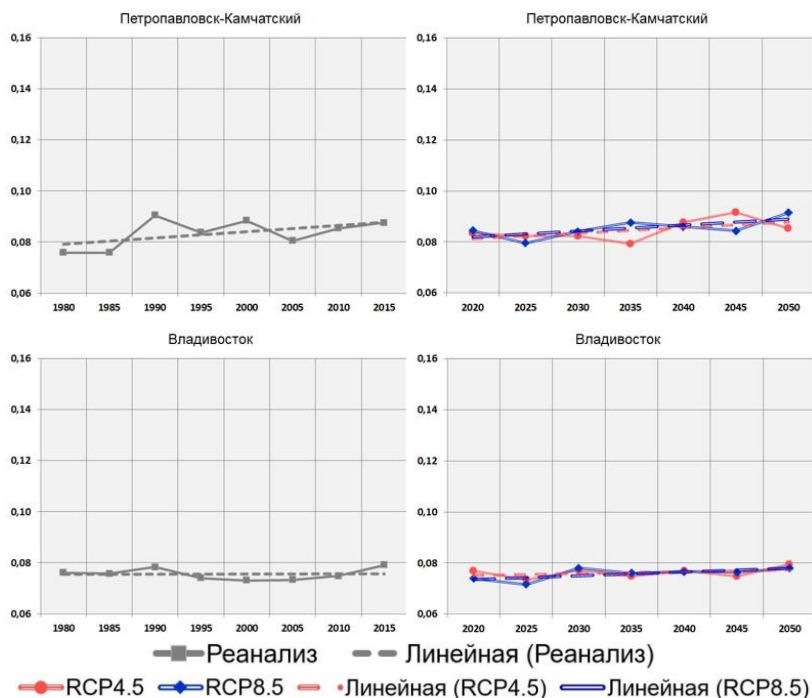


Рис. 3.7. Динамика единичного нормированного риска здоровью (индекса относительной опасности заболеваний) в городах Петропавловск-Камчатский и Владивосток вследствие загрязнения атмосферы частицами PM10, PM2.5 от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

В целом, для обоих сценариев по рассматриваемым городам характерны тенденции к незначительным и заметным, но вполне умеренным изменениям уровней риска для здоровья, которые, однако, по-разному распределены по территории страны. В связи с этими обстоятельствами и большой пространственной протяженностью страны, для дальнейшего анализа динамики единичного нормированного риска здоровью от загрязнения атмосферы рассматриваемые города были объединены в три

макрогруппы с учетом характерных климато-географических условий территорий их расположения: а) Европейскую территорию России (ЕТР) и Урал, б) Западную и Восточную Сибирь, в) Дальний Восток.

На рис. 3.8 представлена оценка тенденций единичного нормированного неканцерогенного риска (индекса относительной опасности неонкологических заболеваний) от загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} с точки зрения влияния погодно-климатических процессов за период 1980-2050 гг. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что за прошедшие четыре десятилетия в центре и на севере Европейской территории России, а также в Сибири и на западе Дальнего Востока отмечалась некоторая заметная тенденция к снижению рассматриваемого риска; в южных районах ЕТР и прибрежных районах Дальнего Востока, напротив, наблюдалась умеренная динамика к росту опасности для здоровья.

Исследование будущих трендов, несмотря на имеющиеся отличия по сценариям, показало общие тенденции к усилению опасности загрязнения атмосферы для человека на фоне прогнозируемых изменений климата. Однако, при «умеренном» климатическом сценарии (RCP4.5) повышение риска в основном выражено незначительно, за исключением Сибири и города федерального значения Санкт-Петербург. При «жестком» климатическом сценарии (RCP8.5), несмотря на общую направленность к повышению опасности, становится заметным определенный разброс в наблюдаемых тенденциях риска, его снижение в отдельных городах, в основном на юге ЕТР, севере и центре Сибири, что, в целом, согласуется с вариациями направлений поступления загрязняющих примесей при этом сценарии на данных территориях (см. параграф 1.5.2).

Необходимо также обратить внимание, что при «жестком» сценарии изменения климата в центральной и северной частях ЕТР, являющихся густонаселенными, повышение риска более заметно по сравнению с «умеренным» сценарием, в отдельных случаях данная динамика является выраженной.

Города	По данным реанализа в 1980-2015 гг.	Климатический сценарий RCP 4.5 в 2020-2050 гг.	Климатический сценарий RCP 8.5 в 2020-2050 гг.	
Европейская территория России и Урал				
Мурманск	25	7	6	
Архангельск	18	6	20	
Калининград	6	8	12	
Санкт-Петербург	14	16	17	
Москва	7	6	16	
Нижний Новгород	2	3	21	
Воронеж	5	8	5	
Волгоград	7	7	-	
Ростов-на-Дону	10	7	3	
Владикавказ	7	-	6	
Челябинск	-	5	5	
Западная и Восточная Сибирь				
Салехард	18	-	6	
Ханты-Мансийск	11	10	12	
Новосибирск	13	17	2	
Норильск	13	19	16	
Красноярск	14	6	4	
Дальний Восток				
Якутск	9	3	5	
Анадырь	6	5	2	
Петропавловск-Камчатский	10	7	9	
Владивосток	-	4	5	
-	< 10	10-20	20-30	- рост риска
	< 10	10-20	20-30	- снижение риска
без динамики	незначительная динамика	заметная динамика	выраженная динамика	

Рис. 3.8. Динамика единичного нормированного риска здоровью (в процентах) в городах РФ вследствие загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} от потенциальных близлежащих и удаленных источников в 1980-2050 гг.

В связи с тем, что риск для здоровья вследствие загрязнения атмосферы зависит не только от эмиссии источников, но и, в значительной степени, обусловлен погодно-климатическими

процессами, полученные оценки динамики риска тесно связаны с особенностями вариаций переноса примесей, выявленными в ходе исследования динамики загрязнения атмосферы регионов России в XXI столетии.

Помимо представленных результатов, также была решена вторая подзадача – по изучению пространственно-временной динамики областей расположения источников загрязнения атмосферы наиболее высокого риска по отношению к рассматриваемым городам при различных сценариях изменения климата («умеренного» (RCP4.5) и «жесткого» (RCP8.5).

На основе предложенного выше подхода по заданным климатическим сценариям выполнена оценка и построены карты динамики единичного нормированного неканцерогенного риска от загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} в 1980-2050 гг., который может создавать потенциальный источник выбросов, расположенный в различных областях относительно изучаемого города (в том числе и на его территории).

На рис. 3.9, 3.10 приведены примеры построенных карт для города Архангельска. Области различного цвета демонстрируют уровень риска, создаваемого источником в изучаемом городе при расположении источника в данной области. Расчеты выполнялись с шагом 5 лет на основе численной модели, аналогичной представленной в параграфе 1.5.1. Данные полей метеовеличин использовались аналогичные.

При обоих климатических сценариях на исследуемой территории отмечается тенденция к усилению в начале XXI века атмосферной турбулентности и, соответственно, улучшению условий рассеивания примесей на севере Европейской территории России. Как следствие в 2010-2025 гг. отмечается сужение зоны расположения источников, создающих максимальный уровень риска в районе Архангельска. Фактически область более высокого риска, отличающаяся на порядок, уменьшается по нескольким направлениям относительно Архангельска на сотни километров.

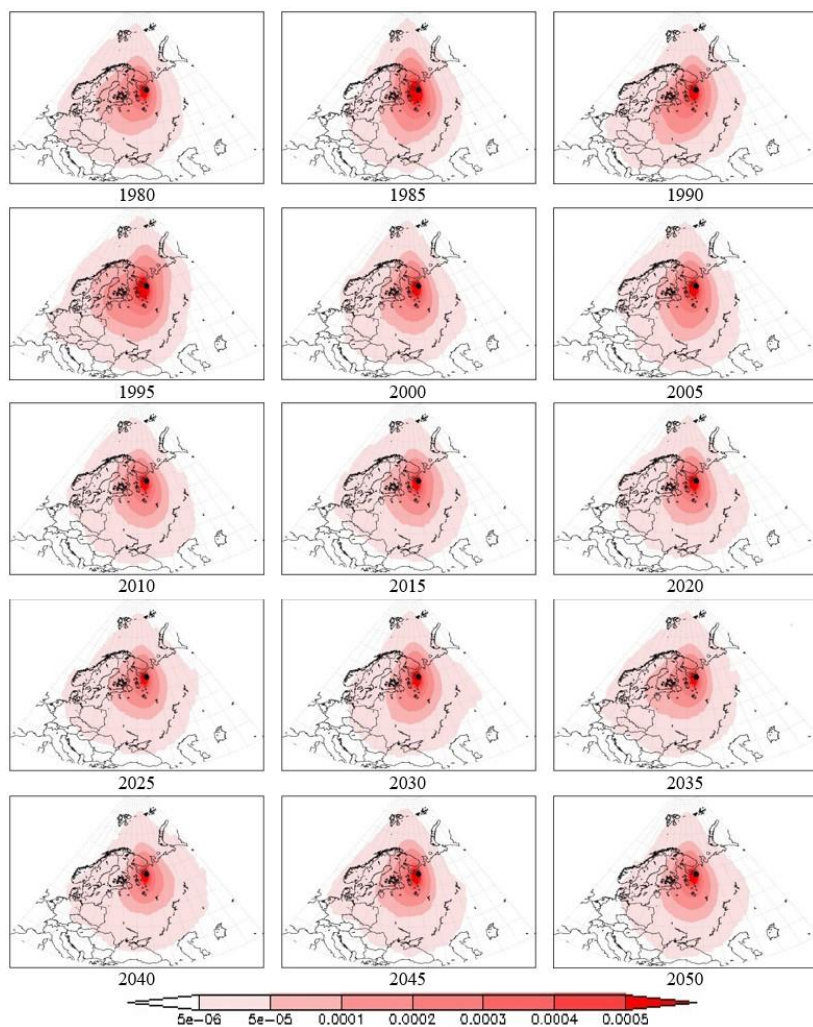


Рис. 3.9 – Динамика единичного нормированного риска здоровью в г. Архангельск в 1980-2050 гг. с шагом 5 лет от загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} потенциальным источником, расположенным в различных областях относительно города при сценарии климата RCP4.5 (г. Архангельск показан черной точкой)

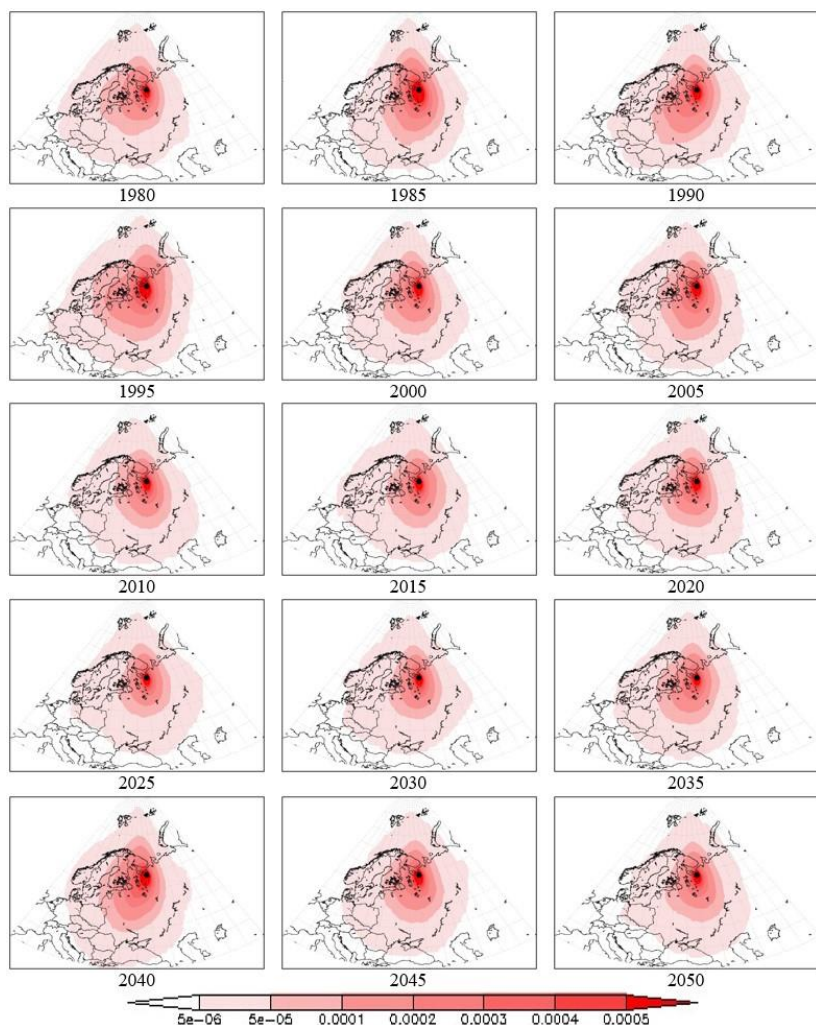


Рис. 3.10 – Динамика единичного нормированного риска здоровью в г. Архангельск в 1980-2050 гг. с шагом 5 лет от загрязнения атмосферы микрочастицами PM₁₀, PM_{2.5} потенциальным источником, расположенным в различных областях относительно города при сценарии климата RCP8.5 (г. Архангельск показан черной точкой)

Это означает, что на порядок снижается опасность для здоровья населения в районе Архангельска от удаленных источников выбросов микрочастиц. Однако, уже в 30-х годах текущего столетия намечается некоторая тенденция к увеличению риска от загрязнения атмосферы. При этом данная тенденция более выражена при «жестком» климатическом сценарии (RCP8.5).

Таким образом, можно отметить за период 1980-2050 гг. наличие определенной пространственно-временной динамики и межсценарной изменчивости уровней риска.

Необходимо подчеркнуть, что полученные оценки риска намного ниже приемлемого уровня (единицы). Это связано с тем, что оценивался единичный нормированный риск – риск, обусловленный выбросами PM₁₀, PM_{2.5} интенсивностью 1 г/с, производимыми всего одним источником, который, однако, может быть расположен в любой точке (зоне) рассматриваемой территории. Фактическое значение риска, как указывалось выше, можно получить путем умножения единичного нормированного риска на фактическое значение интенсивности источника.

Как и во второй половине XX в. в первой половине XXI столетия главное влияние на севере ЕТР (в районе Архангельска) ожидается от источников выбросов микрочастиц, расположенных на западном-юго-западном направлениях относительно города. При трансграничном загрязнении опасность представляют источники на территориях скандинавских государств, Прибалтики, стран Восточной и Центральной Европы, Украины и Беларуси. Однако, в XXI столетии вектор опасности по обоим сценариям смещается в сторону влияния источников, расположенных на южном направлении – в центре и на юге ЕТР (при трансграничном загрязнении – на территориях кавказских государств и Казахстана).

В целом, полученные в результате решения вышеприведенных задач выводы важны для разработки предложений по обеспечению экологической безопасности и

безопасности для здоровья населения городов и регионов страны, развитию здравоохранения при планировании пространственного развития Российской Федерации.

Учитывая известные неопределенности, свойственные долгосрочным оценкам, представленные результаты следует рассматривать как тенденции изменения риска для здоровья.

3.2. Исследование тенденций риска для здоровья населения вследствие загрязнения атмосферы в XXI веке на основе теории чувствительности

3.2.1. Общие положения

На определенных этапах стратегического планирования возникает необходимость рассмотрения различных вариантов развития территорий и анализа данных проектов на предмет обеспечения экологической безопасности и эффективного управления риском здоровью населения, в частности, от загрязнения атмосферного воздуха. При этом могут возникнуть вопросы, например, о принципиальной возможности реализации конкретного проекта развития транспорта, размещения промышленного объекта, изменения технологии и/или мощности действующих предприятий и т.п. С учетом прогнозируемой динамики климата, то есть условий рассеивания примесей в атмосфере, и возможного изменения мощности источников выбросов, решение данных вопросов предполагает выполнение оценки загрязнения атмосферы и обусловленного этим риска здоровью населения города / района / региона для нескольких вариантов эмиссии и метеорологических характеристик.

В процессе решения данной задачи можно воспользоваться различными моделями для оценки загрязнения атмосферы [26], среди которых наиболее совершенными представляются трехмерные химико-транспортные модели. При этом проведение многовариантных (сценарных) расчетов часто требует

относительно больших затрат времени для моделирования и мощных вычислительных ресурсов.

Учитывая эти обстоятельства, а также возможность рассмотрения при необходимости дополнительных вариантов развития ситуации с воздействием источников выбросов на атмосферу и изменением условий рассеивания примесей (других сценариев изменения климата), представляется целесообразным от методов прямого моделирования перейти к использованию методов теории чувствительности [27].

Чувствительность представляет собой реакцию системы (изменение ее состояния) на единичные изменения воздействующих (управляющих, возмущающих) параметров. В данном случае подход на основе теории чувствительности предполагает интегрирование конечно-разностных аналогов уравнений модели загрязнения атмосферы, записанных в вариациях относительно невозмущенного состояния [28-30], не требующих моделирования основного состояния при различных значениях метеопараметров и параметров источника. Уравнения в вариациях являются линейными и получаются в результате линеаризации исходной нелинейной системы в окрестности невозмущенного состояния и параметров.

Введем в рассмотрение понятие функции чувствительности. Следует отметить, что в выражениях по расчету канцерогенного риска (3.1) и опасности неонкологических заболеваний (3.2) уже явно учитываются функции чувствительности R и H . R_i – единичные факторы риска, которые физически являются функциями чувствительности организма на единичную концентрацию в воздухе канцерогенного вещества. H_i – референтные концентрации, представляющие собой функции чувствительности организма на минимальную концентрацию в воздухе неканцерогенного вещества, начиная с которой вещество может представлять опасность для здоровья. Среднегодовые концентрации примесей также можно представить в виде функций чувствительности по метеопараметрам и параметрам источника выбросов.

Преимущества применения методов теории чувствительности по сравнению с методами прямого моделирования, предусматривающими многократное интегрирование нелинейных уравнений гидротермодинамики при различных значениях исследуемых параметров, заключаются в следующем:

1) при малых различиях параметров подлежащие определению вариации характеристик среды рассчитываются как малые разности больших величин, что приводит к значительным ошибкам. В результате качество моделирования даже при использовании самых совершенных моделей быстро ухудшается со временем. В этой связи быстро ухудшается и значимость оценок, получаемых с помощью этих методов. В силу же линейности уравнений в вариациях представляется возможность, не прибегая к моделированию основного (невозмущенного) состояния, оценивать его вариации на больших масштабах времени, вплоть до климатических;

2) процесс получения оценок реакции атмосферы на различные воздействия предельно прост и состоит в перемножении заданных вариаций параметров модели и заранее рассчитанных функций чувствительности;

3) через возмущения параметров можно учитывать в моделях влияние возмущений естественного и антропогенного происхождения.

3.2.2. Применение методов теории чувствительности для исследования риска здоровью от загрязнения атмосферы

Введем, как и ранее, обозначения [31-33]: r – индивидуальный риск онкологических заболеваний, h – показатель (индекс) относительной опасности неонкологических заболеваний; Y – вектор параметров атмосферы (составляющие скорости ветра и др.), f – вектор параметров источника загрязняющего вещества (интенсивность), i, j – соответственно канцерогенное или неканцерогенное вещество.

В общем виде канцерогенный риск r определяется соотношениями

$$r = \sum_i r_i, \quad r_i = r_i(q_i(Y, f_i)), \quad (3.15)$$

где q_i – концентрация i -го канцерогенного вещества.

Относительная опасность неонкологических заболеваний h определяется следующим образом:

$$h = \sum_j h_j, \quad h_j = \frac{q_j(Y, f_j)}{q_{jm}}, \quad (3.16)$$

где q_j – концентрация j -го неканцерогенного вещества, q_{jm} – референтная концентрация или ПДК.

Определим термины [31-33]: вектор состояния и вектор параметров. Под вектором состояния понимается вектор, составляющими которого являются риски r_j и показатели относительной опасности неонкологических заболеваний h_j , обусловленные соответственно канцерогенными и неканцерогенными примесями q_i , q_j . Под вектором параметров понимается вектор, составляющие которого описывают управляющие воздействия на модель канцерогенного риска и опасности неонкологических заболеваний. В рассматриваемой постановке задачи вектор параметров α – это вектор параметров атмосферы Y и параметров источника f , т.е. $\alpha = (Y, f)$.

Будем рассматривать функции чувствительности [28, 31-33]: для канцерогенных примесей

$$G_i = \frac{\partial r_i}{\partial \alpha}, \quad (3.17)$$

для неканцерогенных примесей

$$G_j = \frac{\partial h_j}{\partial \alpha}. \quad (3.18)$$

Функции чувствительности представляют собой частные производные от решений уравнений (3.15) и (3.16) по составляющим вектора параметров в области невозмущенных решений [27]. С использованием функций чувствительности

процесс расчета рисков r_i сводится к перемножению вариаций параметров модели и заранее рассчитанных функций чувствительности. Показатели относительной опасности h_j вычисляются путем умножения частного от функций чувствительности на вариации параметров модели.

С учетом вида выражений (3.15) и (3.16) преобразуем правые части соотношений (3.17) и (3.18):

$$\frac{\partial r_i}{\partial \alpha} = \frac{\partial r_i}{\partial q_i} \cdot \frac{\partial q_i}{\partial \alpha},$$

$$\frac{\partial h_j}{\partial \alpha} = \frac{\partial h_j}{\partial q_j} \cdot \frac{\partial q_j}{\partial \alpha}.$$

Функции чувствительности (3.17) и (3.18) представим в виде:

для канцерогенных примесей

$$G_i = R_i \cdot Q_i, \quad (3.19)$$

для неканцерогенных примесей

$$G_j = (H_i)^{-1} \cdot Q_j, \quad (3.20)$$

где $R_i = \frac{\partial r_i}{\partial q_i}$; $Q_i = \frac{\partial q_i}{\partial \alpha}$; $H_j = \frac{\partial q_j}{\partial h_j}$, $Q_j = \frac{\partial q_j}{\partial \alpha}$.

Функции чувствительности R_i и H_i известны заранее (результаты медико-биологических исследований) [11, 12, 17-20]. Остается найти Q_i , Q_j . Для расчета полей функций чувствительности концентраций Q на единичные изменения источников выбросов и метеопараметров используются уравнения модели загрязнения атмосферного воздуха, записанные в вариациях относительно невозмущенного состояния [31, 33]. В процессе получения уравнений в вариациях выполняется линеаризация исходной нелинейной системы уравнений, описывающих задачу прогноза полей примесей. С этой целью используются представления векторов состояния и параметров в виде суммы невозмущенных значений $\bar{q}_0, \bar{\alpha}_0$ и малых возмущений $\delta q, \delta \alpha$:

$$q = \bar{q}_0 + \eta \cdot \delta q, \alpha = \bar{\alpha}_0 + \eta \cdot \delta \alpha$$

где η – вещественный параметр.

Если записать структуру модели в виде операторного уравнения

$$B \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right) + A(q, \alpha) = 0, \quad (3.21)$$

то уравнения в вариациях представляются в виде:

$$\lim_{\eta \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial \eta} \left[B \frac{\partial}{\partial t} (\bar{q}_0 + \eta \cdot \delta q) + A(\bar{q}_0 + \eta \cdot \delta q, \bar{\alpha}_0 + \eta \cdot \delta \alpha) \right] = 0, \quad (3.22)$$

где B – диагональная матрица; $A(q, \alpha)$ – нелинейный матричный дифференциальный оператор.

Полученные таким образом уравнения в вариациях при фиксированных невозмущенных значениях составляющих вектора состояния линейны. Уравнения в вариациях позволяют оценивать непосредственно функции чувствительности вектора состояния (концентрации) к единичным изменениям параметров атмосферы и источника выбросов.

Для вычисления функций чувствительности к вариациям заданной компоненты Y или f осуществляется последовательное решение (интегрирование по времени) уравнений в вариациях. При каждом таком решении одна из компонент вектора параметров полагается равной единице, остальные компоненты – нулю. Полученные таким образом результаты представляют собой трехмерные поля функций чувствительности вектора состояния (концентрации) к единичным вариациям соответствующего параметра на временном интервале, равном интервалу интегрирования уравнений в вариациях.

Полученные в результате реализации вышеописанного алгоритма поля функций чувствительности Q позволяют количественно оценивать изменения составляющих вектора состояния (Δq), соответствующих заданному полю вариаций параметров ($\Delta \alpha$):

$$\Delta q_i = Q_i \cdot \Delta \alpha; \quad \Delta q_j = Q_j \cdot \Delta \alpha; \quad \Delta \alpha = (\delta Y, \delta f)'. \quad (3.23)$$

Таким образом, выражения для расчета канцерогенного риска с учетом соотношений (3.17) и (3.19) приобретают вид

$$\Delta r_i = G_i \cdot \Delta \alpha = R_i \cdot Q_i \cdot \Delta \alpha, \quad (3.24)$$

для определения опасности неонкологических заболеваний используются соотношения (3.18) и (3.20):

$$\Delta h_j = G_j \cdot \Delta \alpha = (H_j)^{-1} \cdot Q_j \cdot \Delta \alpha. \quad (3.25)$$

Полученные выражения для расчета Δr_i и Δh_j составляют основу прогноза риска заболеваний человека вследствие загрязнения атмосферного воздуха.

3.2.3. Численная модель для реализации подхода

Для апробации представленного методического подхода разработана численная модель оценки загрязнения атмосферного воздуха для Московского региона, с помощью которой можно получить поля функций чувствительности Q (поля единичных концентраций, представляющие собой функции чувствительности к воздействию источников с единичным выбросом или единичному изменению метеорологических параметров).

Модель построена на основе уравнения, описывающего перенос и диффузию загрязняющей примеси, и позволяет выполнить оценку концентраций загрязняющих веществ с необходимой заблаговременностью, вплоть до нескольких десятилетий [33]. При долгосрочных оценках модель позволяет учесть влияние изменения климата и условий рассеивания примесей в атмосфере на концентрацию вещества на заданном интервале времени.

Исходной системой уравнений для расчета полей функции чувствительности Q является трехмерное уравнение переноса и диффузии примесей в атмосфере при наличии источника загрязнения [31, 34]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial q}{\partial z} + \sigma q - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial q}{\partial z} - \mu \nabla^2 q = f, \quad (3.26)$$

где q – концентрация примеси;

u, v, w – компоненты вектора скорости ветра вдоль осей x, y, z , соответственно;

w_g – скорость седиментации вещества;

σ – параметр, обратный величине интервала времени, за который интенсивность выделения примеси по сравнению с начальным значением уменьшается в e раз;

k, μ – вертикальный и горизонтальный коэффициенты турбулентности;

$$f = \sum_i F_{qi} \delta(x - x_i)(y - y_i)(z - z_i);$$

F_{qi} – интенсивность i -го источника примеси;

δ – дельта-функция Дирака;

∇^2 – оператор Лапласа.

Для решения уравнения (3.26) привлекаются граничные условия:

$$k \frac{\partial q}{\partial z} + (w_g - \beta)q = 0 \quad \text{при } z = z_0,$$

$$k \frac{\partial q}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = Z,$$

$$q|_{\Gamma} = 0 \quad \text{при } u_n < 0,$$

$$\frac{\partial q}{\partial n}|_{\Gamma} = 0 \quad \text{при } u_n \geq 0,$$

где β – параметр, характеризующий взаимодействие примеси с подстилающей поверхностью;

Γ – боковая поверхность области решения;

n – нормаль к Γ ;

z_0 – уровень шероховатости поверхности;

Z – верхняя граница области решения.

Задача (3.26) решается при начальном условии

$$q = q_0 \text{ при } t = 0.$$

Составляющие вектора скорости ветра удовлетворяют уравнению неразрывности в виде:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (3.27)$$

В уравнении (3.26) не предусмотрен учет недиагональных членов тензора турбулентной диффузии ввиду их слабой изученности. Не учитываются в явном виде также фотохимические процессы, коагуляция, поглощение вещества каплями тумана и осадков, радиоактивный распад. Учет этих процессов осуществляется неявно.

Параметр β с учетом определялся по формуле [37]:

$$\beta = w_g + 0,05 \text{ (м/с)}.$$

Скорость седиментации определялась по формуле Стокса.

Для расчета полей функций чувствительности Q при различных вариациях параметров модели представим уравнение (3.26) в вариациях относительно невозмущенного состояния.

Сначала запишем векторы состояния и параметров в виде суммы невозмущенных значений $\bar{q}_0, \bar{\alpha}_0$ и малых возмущений $\delta q, \delta \alpha$:

$$q = \bar{q}_0 + \delta q, u = \bar{u}_0 + \delta u, v = \bar{v}_0 + \delta v, w = \bar{w}_0 + \delta w,$$

$$f = \bar{f}_0 + \delta f.$$

Уравнение в вариациях получаем в процессе линеаризации исходного нелинейного уравнения (3.26):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \delta q}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \delta q}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \delta q}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \delta q}{\partial z} - w_g \frac{\partial \delta q}{\partial z} + \sigma \delta q - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \delta q}{\partial z} - \\ - \mu \nabla^2 \delta q = \delta f - \delta u \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} - \delta v \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} - \delta w \frac{\partial \bar{q}}{\partial z}. \end{aligned} \quad (3.28)$$

В том случае, если параметры атмосферы принимаются на уровне климатических, то есть вариации $\delta u = 0, \delta v = 0, \delta w = 0$, уравнение (3.28) принимает вид:

$$\frac{\partial \delta q}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \delta q}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \delta q}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \delta q}{\partial z} + \sigma \delta q - k \frac{\partial^2 \delta q}{\partial z^2} - \mu \nabla^2 \delta q = \delta f. \quad (3.29)$$

Численная модель оценки загрязнения атмосферы Московского мегаполиса реализована на ограниченной территории, имеющей вид прямоугольного параллелепипеда

$$\Omega = \{-X \leq x \leq X, -Y \leq y \leq Y, 0 \leq z \leq Z\},$$

ориентированного так, что оси x , y , z направлены соответственно на восток, север и вертикально вверх. При этом $z = z_m - r(x, y)$, где z_m – высота над уровнем моря, а уравнение $z = r(x, y)$ описывает рельеф.

Учитывая, что уравнение переноса и диффузии примесей описывает существенно положительные функции, имеющие большие пространственные градиенты, для решения такого типа уравнений применяют монотонные разностные схемы. Однако построение монотонных схем порядка точности выше первого сопряжено с рядом трудностей. Поэтому данное уравнение решается следующим образом. Вводится знакопеременная функция [35] $Q = \sqrt{q}$, что избавляет от первой особенности. Для преодоления второй применяется схема четвертого порядка точности по горизонтальным координатам и второго порядка – по вертикальной координате и времени на основе двуциклического метода расщепления [34, 35]. Решение получающихся при этом одномерных уравнений осуществляется по горизонтальным координатам методом прогонки для пятиточечных уравнений, а по вертикальной координате – методом прогонки для трехточечных уравнений [36-38].

Область Ω имеет размеры $108 \times 108 \times 0,25$ км³. Соответствующая сеточная область Ω_h составляет $36 \times 36 \times 3$ узлов с шагом ΔS по горизонтальным координатам 3 км. По вертикали счетные уровни располагаются на высотах (м): 1; 50; 250.

Нужно отметить, что в Московском регионе в конкретной точке – в центре Москвы – сходятся три различные географические местности [39]. В основе их различия лежат

рельеф, характер подстилающей поверхности, влагонасыщенность среды, система долин рек. В модели осуществлен учет за исключением влагонасыщенности всех перечисленных характеристик.

Расчет параметров пограничного слоя атмосферы осуществляется с учетом необходимости обеспечения долгосрочных оценок, которые определяются климатической метеорологической информацией по относительно небольшой территории. Это предопределяет совместный учет глобальной и мелкомасштабной информации о параметрах атмосферы.

Из уравнений (3.26), (3.29) следует, что концентрация примеси при фиксированных параметрах источника определяется скоростью ветра и интенсивностью турбулентного обмена. При прогнозе загрязнения воздуха и оценке связанных с ним рисков заболеваний основной интерес представляет определение ожидаемых концентраций в «жилом» слое, т.е. у земной поверхности и на уровне верхних этажей зданий. Этим определяется актуальность представления структуры пограничного слоя атмосферы (до высоты $H \approx 1 \div 1,5$ км) и особенно приземного слоя (от 0 до $h \approx 50 \div 100$ м). В пограничном слое на распределение метеовеличин доминирующее влияние оказывает подстилающая поверхность. В приземном слое сохраняются с высотой вертикальные потоки тепла и количества движения и одновременно значительно изменяются скорость ветра, температура и турбулентность.

В качестве метеопараметров на уровне 1 м, 50 м и 250 м используются данные наблюдений (реанализов) или результаты моделирования изменения климата.

Расчет температуры проводится с помощью линейной интерполяции по высоте с учетом рельефа. Расчет составляющих ветра выполняется по логарифмическим формулам [40] также с учетом рельефа.

Расчет вертикального коэффициента турбулентности k осуществляется по методу Берлянда [40]. Несмотря на простоту, этот метод описывает наиболее характерные условия в

атмосфере, которые осредненно представляются климатической информацией.

Горизонтальный коэффициент турбулентности μ с учетом [38, 40, 41] представляется в виде мелкомасштабной и среднемасштабной составляющих.

Вертикальная скорость движения воздуха рассчитывается с учетом эффектов орографии и приземного нелинейного трения [28].

Учет годового хода метеовеличин осуществляется за счет использования их среднемесячных характеристик. Для получения среднесуточных значений метеопараметров используется линейная интерполяция. Межгодовое (климатическое) изменение среднемесячных метеопараметров учитывается за счет использования данных реанализа или прогностических климатических данных.

3.2.4. Оценка тенденций риска для здоровья населения Московского мегаполиса от загрязнения атмосферы в XXI веке

Для исследования опасности загрязнения атмосферы для здоровья населения Московского мегаполиса в XXI веке с учетом возможных вариантов развития города и динамики климата выполнена оценка тенденций риска здоровью на территории г. Москвы в период 2005-2075 гг. [31]. При этом проводились расчеты относительной опасности неонкологических заболеваний (общего индекса опасности) и канцерогенного риска на 30- и 70-летний периоды в соответствии с принятым временем воздействия на человека для неканцерогенов и канцерогенов [11, 12].

В качестве источников выбросов рассматривались автотранспорт и промышленные зоны столицы, которые в модели были описаны одним площадным источником неправильной формы, интегрально представляющим информацию о выбросах передвижных и стационарных

источников, расположенных по всей территории Москвы. Такое укрупнение является вполне разумным с точки зрения пространственно-временного масштаба решаемой задачи. Высота источника составляет 1 метр, что обусловлено доминирующим влиянием автотранспорта в загрязнении городского воздуха.

В расчете участвовали пять загрязняющих веществ, данные о выбросах которых были доступны на момент проведения исследования [42] – диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, свинец (последние два вещества обладают также канцерогенным эффектом). При этом канцерогенный риск, учитывая перечень рассматриваемых загрязнителей, оценивался только от транспортных выбросов. Отметим, что согласно [43, 44], основными загрязнителями, обуславливающим канцерогенный риск от автотранспорта, являются бензол, формальдегид и 1,3-бутадиен. Относительная опасность неонкологических заболеваний от загрязнения атмосферы, в основном, формируется за счет формальдегида, бензола, а также диоксида азота и оксида углерода. Таким образом, в рамках исследования выполнена оценка тенденций риска по некоторым из основных соединений, формирующих опасность для здоровья населения.

Расчеты риска здоровью проводились, исходя из принципа аддитивности действия загрязняющих веществ на организм человека. Так как рассматривалось всего 5 загрязняющих веществ, наиболее целесообразным является расчет суммарного индекса опасности заболеваний без перехода к оценкам опасности поражений отдельных органов и систем.

В качестве прогностических метеорологических характеристик использовались результаты моделирования изменения климата в XXI столетии, полученные с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана в Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН [45]. Для расчетов, выполненных в 2009 г., использовались климатические данные по трем основным сценариям изменения

климата (A2, A1B, B1), разработанным Межправительственной группой экспертов по изменению климата [46], основанным на количестве сжигаемого человеком ископаемого топлива. Самые сильные климатические изменения показывает сценарий A2, наименее значимые – сценарий B1. A1B – сценарий умеренных изменений. Кроме этого, в расчетах риска рассматривался сценарий, когда климатические характеристики остаются без динамики на уровне начала XXI столетия.

Наряду со сценариями возможных изменений климата, предварительно были определены сценарии антропогенного воздействия на атмосферу на основе возможных вариантов развития промышленности и автотранспорта Москвы.

Развитие автотранспорта предполагает 3 сценария: пессимистичный, нулевой и оптимистичный. Показано, что в Москве с отработавшими газами автотранспортных средств в воздух поступает более 90 % общих выбросов загрязняющих веществ [42]. В последние годы наблюдается резкое увеличение численности автомобильного парка, приводящее к обострению сопутствующих негативных факторов (заторы на дорогах и др.), влияющих на загрязнение воздуха столицы. Из положительных тенденций можно выделить сокращение ввоза подержанных иномарок; увеличение числа автомобилей, отвечающих требованиям Евро-4 и Евро-5, и транспорта, использующего альтернативные, более экологически чистые виды топлива (сжатый природный газ). Судя по динамике численности автотранспорта за последние годы, можно сделать вывод, что рост автопарка Москвы будет, вероятнее всего, происходить опережающими темпами относительно реализации различных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

В связи с этим выделены 3 ориентировочных сценария развития автотранспорта на период до 2075 г.:

T1 «пессимистичный» – рост автопарка при отсутствии мер по улучшению дорожного движения, качества топлива и технического состояния автомобилей и др.;

Т2 «нулевой» – численность автопарка не меняется, меры по снижению загрязнения воздуха автомобилями не предпринимаются;

Т3 «оптимистичный» – сокращение численности автопарка, сокращение выбросов за счет мероприятий по уменьшению негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду.

Как можно наблюдать на сегодняшний день, по-видимому, развитие транспорта идет в целом по оптимистичному сценарию, так как, несмотря на рост численности транспортных средств¹, в период с 2005 г. по 2015 г. по данным [42, 47, 48], выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспорта в Москве сократились на 20 %.

Следует подчеркнуть, однако, что данные сценарии являются ориентировочными, так как, спрогнозировать транспортную ситуацию более чем на 20-30 лет вперед не представляется возможным в силу больших неопределенностей, связанных с дальнейшим социально-экономическим развитием страны и города, политической ситуацией, возможными научно-техническими достижениями, и другими пока неизвестными факторами.

Развитие промышленности предполагает 2 сценария: нулевой и оптимистичный, основанные на анализе характеристик промышленного комплекса г. Москвы как источника загрязнения атмосферы. Выбросы загрязняющих веществ от промышленных объектов Москвы составляют менее 10 % от общей суммы выбросов. Промышленные зоны составляют около 20 % от всей городской территории². Загрязнение воздуха в большинстве случаев связано с нерациональным размещением производственных мощностей; несовершенством технологических процессов на промышленных предприятиях; отсутствием

¹ В 2005 г. в Москве было зарегистрировано менее 3 млн. единиц автотранспорта всех видов. В 2015 году в столице уже насчитывалось около 4 млн. автотранспортных средств.

² <https://stroi.mos.ru/renovaciya-promzon>

пыле- и газоулавливающего оборудования или неэффективным его использованием; низкой экологической культурой. В целом, в последние годы отмечается устойчивая тенденция к выводу части производственных объектов из территории города. Согласно Генплану развития Москвы, в столице предусмотрено формирование нового облика промышленности за счет развития наукоемких и высокотехнологичных производств, инновационного сектора промышленности; изменения видовой структуры промышленного производства за счет финансового оздоровления социально и экономически значимых для города организаций промышленности, ликвидации хронически убыточных предприятий.

В итоге выделены два ориентировочных (гипотетических) сценария развития промышленности на период с 2005 по 2075 гг.:

П1 «нулевой» – не предполагается динамики выбросов от производственных зон;

П2 «оптимистичный» – уменьшение количества выбросов загрязняющих веществ вследствие заметного сокращения площадей промзон уже в 2020-2030 гг., а также изменения технологий промышленных предприятий, появления новых материалов, установки нового очистного оборудования, изменения функционального назначения территорий и др.

Пессимистичный вариант развития не рассматривался ввиду упомянутой выше тенденции к сокращению производственных зон и все более широким применением на предприятиях ресурсосберегающих и природоохранных технологий.

Как видно на сегодняшний день, в отношении промышленности также отмечается реализация оптимистичного сценария развития. В частности, по сравнению ситуацией 2000-2005 гг. ощутимо сокращаются площади промзон. В то же время появляются технопарки, совершенствуются в экологическом плане традиционные для Москвы отрасли производства, а также появляются новые отрасли, наукоемкие, с меньшей антропогенной нагрузкой. Так, с 2005 по 2015 гг. валовые

выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников [42, 47] сократились с 89 до 63 тонн/год.

Сценарии изменения климата, промышленности и транспорта были сформированы в группы в различных комбинациях (табл. 3.1).

Задачей, представляющей немалую трудность, является оценка экспозиции населения, так как в поведенческой модели различных категорий населения (работающих граждан, пенсионеров, детей) существуют большие отличия. Учитывая это обстоятельство, а так то, что выполняется укрупненная оценка с большой заблаговременностью для территории мегаполиса, при проведении расчетов принят упрощенный вариант, предусматривающий максимальную (пожизненную) экспозицию населения: 70 лет – для канцерогенного риска, 30 лет – для неканцерогенной опасности. Расчеты выполнялись для высот 1 м (у земной поверхности) и 50 м (верхние этажи зданий) с учетом дифференцированной экспозиции населения.

Таблица 3.1

Сценарии экспериментальных расчетов

№ группы	Сценарии климата	Сценарии транспорта	Сценарии промышленности
1	A1B	T2 (нулевой)	П1 (нулевой)
2	A1B	T1 (пессимист.)	П1 (нулевой)
3	A1B	T3 (оптимист.)	П2 (оптимист.)
4	B1	T2 (нулевой)	П1 (нулевой)
5	B1	T1 (пессимист.)	П1 (нулевой)
6	B1	T3 (оптимист.)	П2 (оптимист.)
7	A2	T2 (нулевой)	П1 (нулевой)
8	A2	T1 (пессимист.)	П1 (нулевой)
9	A2	T3 (оптимист.)	П2 (оптимист.)

В табл. 3.2 приведены единичные факторы канцерогенного риска R_i и референтные концентрации H_i , использованные в настоящем исследовании.

Таблица 3.2

Единичные факторы канцерогенного риска (мкг/м³)⁻¹ и индексы опасности неонкологических заболеваний (мкг/м³)

Вещество	R_i (м ³ /мкг)	Источник данных	H_i (мкг/м ³)	Источник данных
Диоксид азота	-	-	40	[288]
Диоксид серы	-	-	80	[288]
Оксид углерода	-	-	3000	[127]
Свинец	$1,2 \cdot 10^{-5}$	[235]	0,15	[238]
Формальдегид	$1,3 \cdot 10^{-5}$	[238]	3	[238]

Таблица 3.3

Показатели относительной опасности неонкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития города

Сценарии развития транспорта и промзон	Вы- сота, м	Показатель опасности заболеваний h при различных сценариях климата			
		A2	A1B	B1	2005 г.
T1 + П1	1	8,08	7,94	8,29	8,19
	50	1,85	1,81	1,88	1,84
T2 + П1	1	4,51	4,43	4,63	4,58
	50	1,03	1,00	1,05	1,02
T3 + П2	1	2,34	2,30	2,40	2,37
	50	0,54	0,52	0,55	0,53

Таблица 3.4

Индивидуальные риски онкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития города

Сценарии развития транспорта	Высота, м	Индивидуальный риск онкологических заболеваний r при различных сценариях климата			
		A2	A1B	B1	2005 г.
T1	1	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$9,00 \cdot 10^{-5}$	$7,25 \cdot 10^{-5}$	$9,50 \cdot 10^{-5}$
	50	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$2,08 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-5}$
T2	1	$5,18 \cdot 10^{-5}$	$4,48 \cdot 10^{-5}$	$3,61 \cdot 10^{-5}$	$4,73 \cdot 10^{-5}$
	50	$1,32 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	$6,62 \cdot 10^{-6}$	$1,09 \cdot 10^{-5}$
T3	1	$3,06 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$2,13 \cdot 10^{-5}$	$2,80 \cdot 10^{-5}$
	50	$7,77 \cdot 10^{-6}$	$6,11 \cdot 10^{-6}$	$3,91 \cdot 10^{-6}$	$6,46 \cdot 10^{-6}$

В табл. 3.3, 3.4 приведены данные обобщенного анализа полученных результатов в XXI столетии в виде средневзвешенных по территории Москвы показателей (индексов) относительной неканцерогенной опасности и уровней канцерогенного риска. Для сравнения в этих же таблицах представлены значения рисков по всем сценариям развития транспорта и промышленности, рассчитанные с климатическими данными 2005 года, т. е. без учета изменения климата.

На рис. 3.11, 3.12 представлена графическая интерпретация данных, приведенных в табл. 3.3, а на рис. 3.13, 3.14 представлена графическая интерпретация данных, приведенных в табл. 3.4.

Неканцерогенный риск. Согласно результатам расчета риска для здоровья, на территории Москвы в 2005 году, загрязнение атмосферного воздуха диоксидами азота и серы, оксидом углерода, свинцом и формальдегидом создает повышенную опасность неонкологических заболеваний в столице, превышающую приемлемый уровень в 4-5 раз на уровне нижних этажей зданий: средневзвешенный по территории Москвы показатель опасности равен 4,6 на высоте 1 м и 1,0 на высоте 50 м.

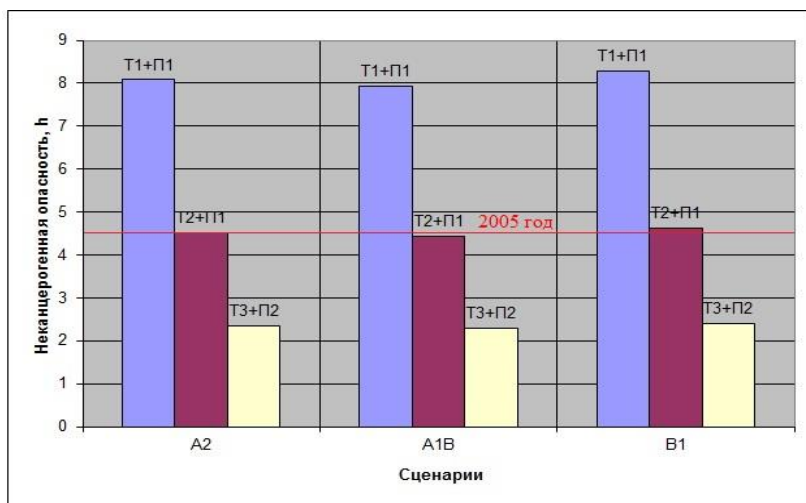


Рис. 3.11. Показатели относительной опасности неонкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития транспорта и промышленности (на высоте 1 м)

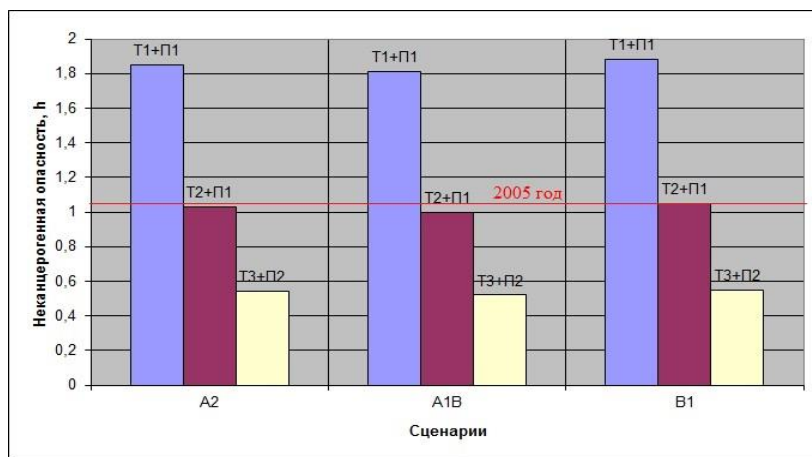


Рис. 3.12. Показатели относительной опасности неонкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития транспорта и промышленности (на высоте 50 м)

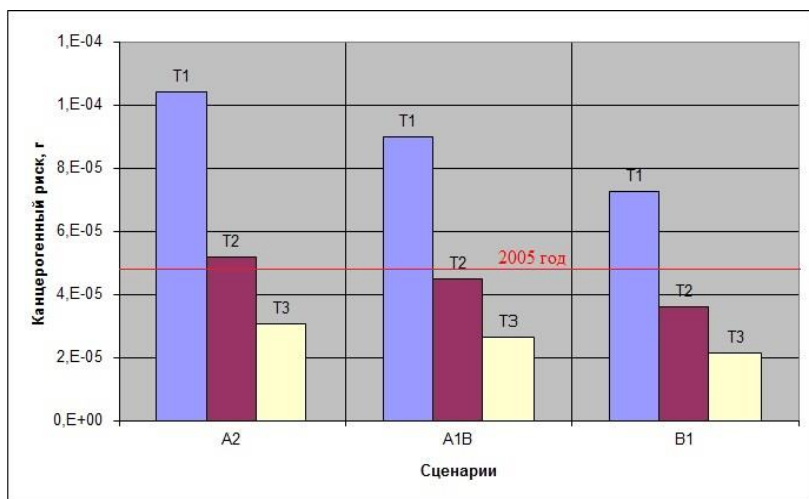


Рис. 3.13. Индивидуальные риски онкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития транспорта (на высоте 1 м)

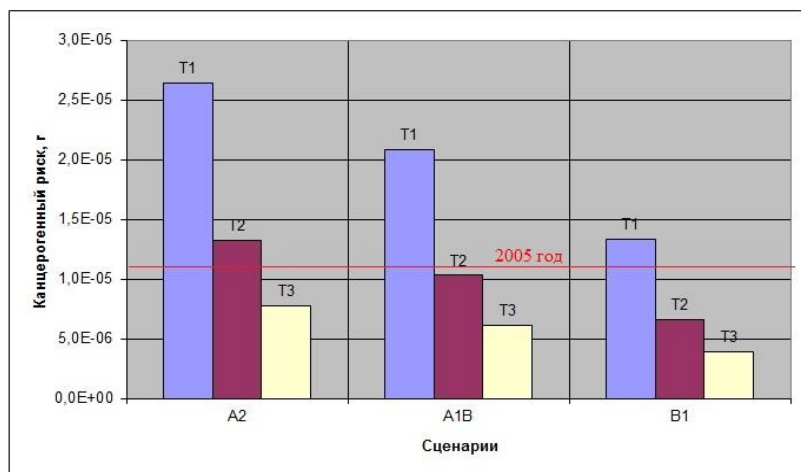


Рис. 3.14. Индивидуальные риски онкологических заболеваний на территории Москвы при различных сценариях изменения климата и развития транспорта (на высоте 50 м)

Расчеты неканцерогенной опасности осуществлялись с заблаговременностью 30 лет. Полученные результаты показывают, что при всех заданных сценариях развития города и изменения климата ожидается повышенная неканцерогенная опасность для человека 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 зданий (приблизительно в 2 раза).

Средние по территории Москвы и отдельным районам показатели неканцерогенной опасности, полученные по различным сценариям изменения климата, отличаются от данных 2005 года до 5 %. При этом межсценарная (по климату) изменчивость прогнозных уровней опасности неонкологических заболеваний составляет от 1 до 6 %.

Что касается распределения величины h по сценариям источника выбросов, то здесь показатель неканцерогенной опасности изменяется в соответствии с интенсивностью загрязнения воздуха в большую или меньшую сторону и показывает приблизительные рамки, в которых может меняться уровень опасности для здоровья при различных вариантах развития города.

Полученные оценки показателя опасности неонкологических заболеваний в Москве отличаются от значений 2005 года и между собой меньше чем на 10 %. Однако климатические изменения проявляются на территории России по-разному. Так, согласно наблюдениям и прогнозным оценкам, наиболее заметны изменения климата в высоких широтах, в зоне Арктической зоны Российской Федерации [49], где вариации индекса h могут оказаться более заметными при изучении риска здоровью.

Поэтому при заблаговременном, стратегическом планировании мер по обеспечению экологической безопасности и управлению риском для здоровья целесообразно учитывать возможные изменения климата и обусловленные ими вариации загрязнения атмосферы.

Канцерогенный риск. Средневзвешенные по Москве уровни канцерогенного риска, создаваемого выбросами свинца и формальдегида от автотранспорта в 2005 г., составляют $4,7 \cdot 10^{-5}$ на высоте 1 м и $1,1 \cdot 10^{-5}$ на высоте 50 м и характеризуются как приемлемые.

Расчеты канцерогенной опасности осуществлялись с заблаговременностью 70 лет. Согласно расчетам, 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 сценарии климата А2 в отдельных районах города вблизи земной поверхности могут наблюдаться уровни канцерогенного риска, превышающие приемлемые значения.

Значения канцерогенного риска в отдельных районах города и средневзвешенные по Москве имеют отличия от данных 2005 года до 41 % в зависимости от сценария и высотного уровня. Межсценарная изменчивость по климату составляет от 13 до 51 %. Столь заметные вариации уровней риска по сравнению с 2005 годом, очевидно, связаны с климатическими изменениями, которые могут произойти за 70-летний период.

Отличие в распределении значений канцерогенного риска по сценариям источника объясняется теми же причинами, что в случае неканцерогенной опасности – сценариями развития города.

Несмотря на то, что прогнозируемые уровни риска получены всего по двум загрязняющим веществам – формальдегиду и свинцу, содержащимся в выбросах автомобилей, эти результаты позволяют наметить приблизительные тенденции уровня дополнительной онкологической опасности. Полученные результаты характеризуют возможные вариации канцерогенного риска для центра Европейской части России. Ожидаемые уровни риска в различных регионах страны будут зависеть от возможных

климатических вариаций, характерных для данных конкретных территорий.

Таким образом, согласно расчетам, в долгосрочной перспективе можно ожидать изменение уровня канцерогенного риска и относительной опасности неонкологических заболеваний в 2-3 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.

Полученные результаты показывают высокую межсценарную изменчивость и характеризуют приблизительные рамки, в которых может меняться уровень риска для здоровья населения при различных вариантах экономического развития территорий и поведения климата, что весьма важно для заблаговременной оценки последствий техногенного загрязнения атмосферного воздуха при осуществлении стратегического планирования развития территорий России.

О неопределенностях в результатах исследований риска

Прежде всего отметим, что сама задача долгосрочной оценки уже подразумевает некоторую неопределенность.

На основных этапах оценки риска имели место следующие неопределенности.

1. Приближенность оценок выбросов вредных веществ автотранспортом и промышленностью из-за несовершенства современной системы сбора и контроля данных наблюдений за загрязнением воздуха в Московском мегаполисе. Поэтому использовалась информация из Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации [42], в котором представлены валовые выбросы веществ по передвижным и стационарным источникам по городу в целом. В связи с этим был принят сценарий равномерной эмиссии загрязняющих веществ по территории города и по времени. Однако, что такие укрупненные данные вполне удовлетворяют целям проведенного исследования.

2. Приближенность выбора сценариев изменения климата, развития транспорта и промышленности. Результаты прогноза изменения климата в XXI столетии основаны на количестве сжигаемого ископаемого топлива и допускают существенные разбросы. Относительно ясной картина развития транспорта и промышленности в столице представляется до 2020-2025 гг., так как на этот период разработан Генеральный план развития Москвы. В остальном же, при определении сценариев изменения интенсивности выбросов от источников приходилось руководствоваться соображениями физической возможности развития города в отношении промзон и пропускной способности улично-дорожной сети.

3. Погрешности оценок концентраций загрязняющих веществ в атмосфере на долгосрочный период.

4. В выборе экспозиции выбросов существуют большие вариации (режим труда и отдыха) вследствие неопределенности поведенческой модели работающего населения. В связи с этим, был принят вариант, предусматривающий максимальную (пожизненную) экспозицию, что приводит к оценкам верхних границ рисков для здоровья человека.

5. Для оценки единичных факторов канцерогенного риска и референтных концентраций существуют различные базы данных для изучаемых веществ. Значения этих параметров по отдельным источникам имеют отклонения (в пределах 1-2-х десятичных порядков величины [43]).

В заключение следует подчеркнуть, что, несмотря на существующие неопределенности, используемый в данной работе методический подход позволил получить удовлетворяющие современному уровню знаний результаты долгосрочной оценки загрязнения атмосферного воздуха и обусловленного этим риска для здоровья человека в результате загрязнения воздуха на территории мегаполиса.

3.3. О динамике комфортности погодно-климатических условий в XXI веке¹

Наблюдаемое и прогнозируемое изменение климата влечет повышение актуальности исследований динамики погодных и климатических условий на конкретных территориях. При этом все более важным становится изучение динамики влияния этих изменяющихся условий на жизнедеятельность человека с точки зрения комфортности проживания [50, 51].

Последствия ожидаемого изменения климата на условия проживания людей могут быть как положительными, так и отрицательными. С одной стороны – смягчение суровости климата, с другой – отрицательные последствия, например, при возможной деградации мерзлоты [52]. Будем понимать под термином «погодно-климатическая комфортность» обобщенную характеристику состояния окружающей среды, оказывающей влияние на здоровье человека, условия его проживания и трудовой деятельности.

Изучение динамики погодно-климатической комфортности, главным образом требуется для своевременной оценки неблагоприятных ситуаций с целью сохранения здоровья и жизни человека путем принятия необходимых предупредительных мер.

Для исследования погодно-климатической комфортности используются биометеорологические индексы, которые позволяют учитывать влияние нескольких погодных и климатических факторов, а также их взаимосвязи. Одним из наиболее часто употребляемых индексов для оценки комфортности среды как в масштабах нескольких часов или дней, так и в сезонных, годовых и климатических масштабах является эффективная температура (ET_m). Как мера теплоощущения человека эффективная температура была впервые предложена в работе [53] и рассчитывается следующим образом:

¹ Раздел подготовлен с участием С.В. Емелиной

$$ET_m = t - 0,4(t - 10) \left(1 - \frac{f}{100} \right), \quad (3.30)$$

где t – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), f – относительная влажность (%).

Этот индекс использован ниже для анализа динамики погодно-климатической комфортности в XXI веке на территории России.

На основе разработанных в [54] категорий тепловой/холодовой нагрузки в зависимости от значений индекса эффективной температуры предложена классификация степени погодно-климатической комфортности по критериям физиологического воздействия на человека в пяти градациях: комфорт – условный комфорт – условный дискомфорт – дискомфорт – экстремальный дискомфорт (см. табл. 3.5).

В качестве необходимых полей метеорологических элементов для расчета степени комфортности и ее изменений по значениям индекса эффективной температуры были использованы данные с 1980 по 2050 гг.:

для периода 1980-1995 – NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) [23], пространственное разрешение $0,3125^{\circ} \times 0,3125^{\circ}$;

для периода 2000-2015 – NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses [24], пространственное разрешение $1^{\circ} \times 1^{\circ}$;

для периода 2020-2050 гг. – данные расчетов по климатической модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН (RCP8.5 – самый «жесткий» сценарий) [25], пространственное разрешение $2^{\circ} \times 1,5^{\circ}$.

Расчеты по данным с 1980 по 2015 гг. выполнены для полноты анализа.

Результаты расчетов с 1980 по 2050 годы показаны на рисунках, где приведены градации погодно-климатической комфортности по значениям индекса эффективной температуры с 1980 по 2050 гг. в январе (рис. 3.15) и в июле (рис. 3.16) с шагом 10 лет для территории России в градациях от «комфорта» до

«экстремального дискомфорта». Анализ динамики значений ET_m на территории России выявил довольно значительные изменения в степени погодно-климатической комфортности.

Таблица 3.5

Категории теплоощущения, нагрузки на организм и степень погодно-климатической комфортности в зависимости от значений индекса ET_m

$^{\circ} ET_m$	Теплоощущение	Нагрузка	Степень комфортности
$\geq +30$	Очень жарко	Сильная	Дискомфорт
$+24..+30$	Жарко	Умеренная	Условный дискомфорт
$+18..+24$	Тепло	Комфортно	Комфорт
$+12..+18$	Умеренно тепло	Комфортно	Условный комфорт
$+6..+12$	Прохладно	-	Условный комфорт
$0..+6$	Умеренно прохладно	-	Условный комфорт
$-12..0$	Холодно	Умеренная	Условный дискомфорт
$-24..-12$	Очень холодно	Сильная	Дискомфорт
$-30..-24$	Крайне холодно	Очень сильная	Экстремальный дискомфорт
≥ -30	Крайне холодно	Чрезвычайно высокая угроза обмороживания	Экстремальный дискомфорт

В целом, в январе (рис. 3.15) наблюдается тенденция к изменению степени комфортности в сторону комфорта. Особенно это видно на примере центральных районов европейской территории России, Южного Урала и южных областей Сибири, где с 1980 года по 2050 степень комфортности в зимнее время повысилась от дискомфортной до условно дискомфортной, а местами и до условного комфорта.

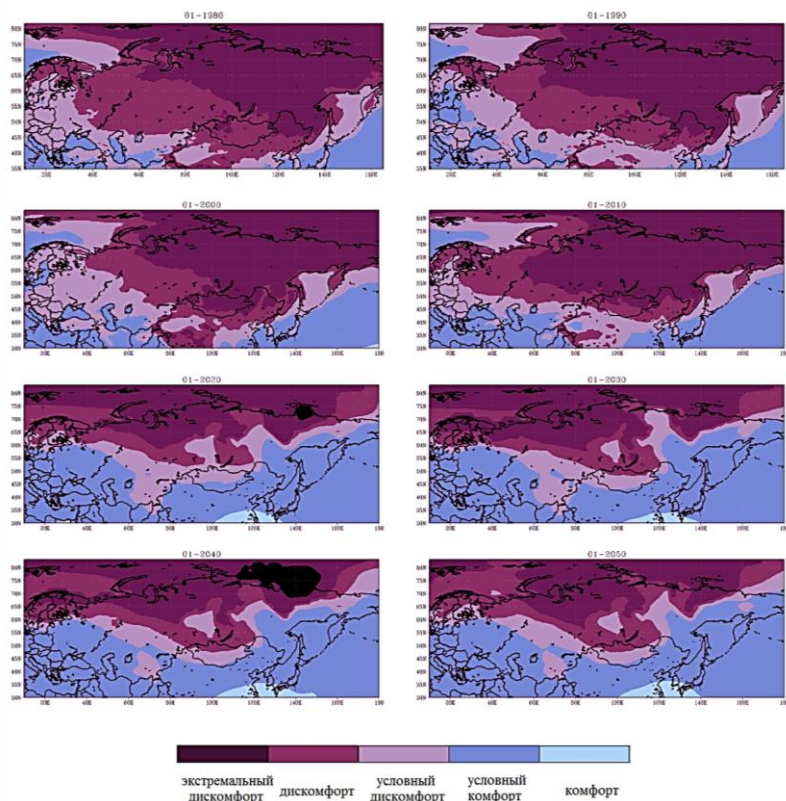


Рис. 3.15. Степень погодно-климатической комфортности в январе с 1980 по 2050 гг.

Для детализации анализа изменений степени комфортности в различных климатических зонах была рассмотрена межгодовая изменчивость среднемесячных значений индекса эффективной температуры в качественных градациях степени комфортности в нескольких городах, расположенных в разных климатических поясах: Москва, умеренно-континентальный климат; Астрахань, умеренный резко-континентальный климат; Якутск, резко-континентальный климат; Мурманск, умеренный морской климат [55]. Результаты расчетов приведены на рис. 3.17.

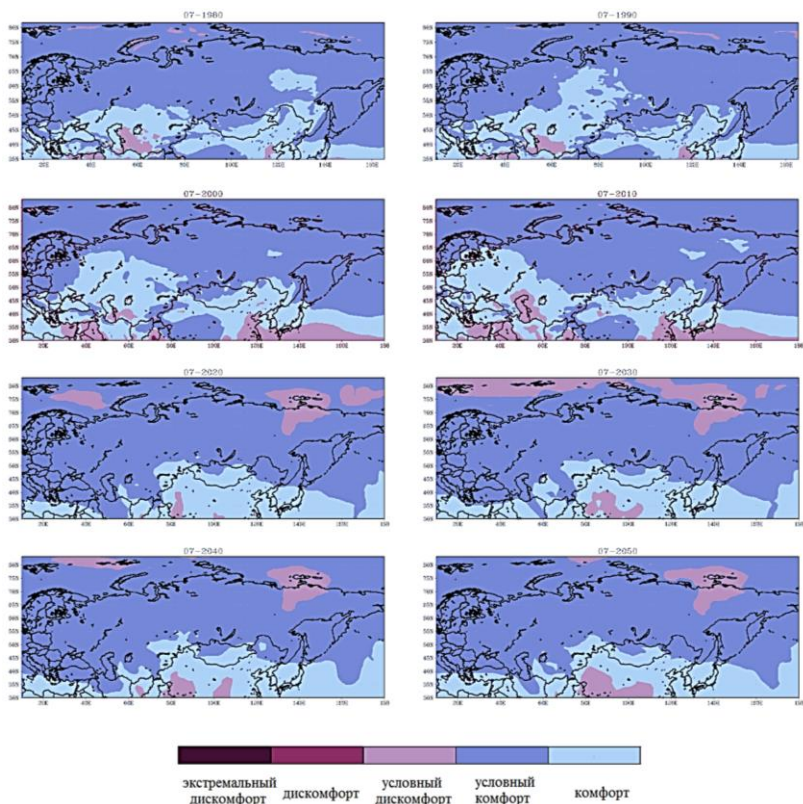


Рис. 3.16. Степень погодно-климатической комфортности в июле с 1980 по 2050 гг.

Согласно рассчитанным данным в Астрахани (рис. 3.17, а), за рассматриваемый период XX века зимы были «условно комфортными», в начале XXI века (2000-2005) условно дискомфортными, а с 2010 года началась тенденция к потеплению – увеличению степени комфортности. Похожая зависимость наблюдается и в летнее время: условно дискомфортные условия меняются на комфортные. При этом в период 2020-2050 гг. согласно сценарию RCP8.5 наблюдается тенденция к сглаживанию сезонности. В переходные сезоны (осень, весна) изменения степени комфортности в 1980-2050 гг.

не выявлены. Таким образом, можно говорить, что зимы становятся более теплыми (и комфортными), а лето более прохладным и, соответственно, менее комфортным.

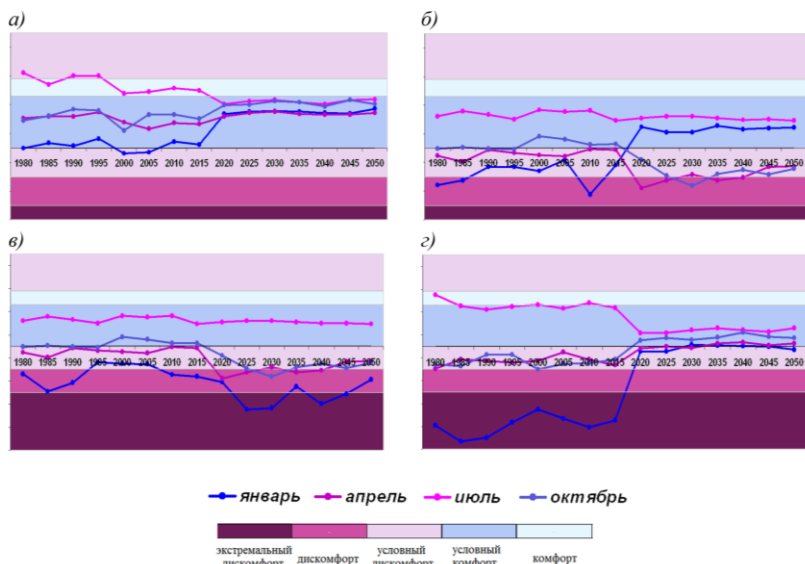


Рис. 3.17. Степень погодно-климатической комфортности в Астрахани (а), Москве (б), Мурманске (в), Якутске(г)

Такие же особенности выявлены и в Якутске (рис. 3.17, г), только в этом пункте зимы от экстремально дискомфортных к 2020 году становятся условно дискомфортными.

В Москве (рис. 3.17, б) за весь рассматриваемый период характерно устойчивое сохранение условно комфортных условий в летнее время, при этом зимы до 2020 года характеризуются как дискомфортные и условно дискомфортные, весна и осень на границе условно комфортных и условно дискомфортных. После 2020 года зимы становятся более комфортными, а переходные сезоны, наоборот, более дискомфортными.

Противоположная тенденция к усилению дискомфорта в зимнее время выявлена в Мурманске (рис. 3.17, в). До 2015 года

включительно в Мурманске не выявлено экстремально дискомфортных условий, а в 1995-2005 выделяется период повышения степени комфортности до условного дискомфорта. Тогда как после 2020 года согласно расчетам зимний период характеризуется как экстремально дискомфортный. Такие же зависимости наблюдаются и в переходные сезоны. При этом лето отличается довольно ровным ходом комфортности год от года, и условия определяются как условно комфортные.

Таким образом, можно сделать вывод, что территория России по погодно-климатической комфортности характеризуется значительной неоднородностью, благоприятные условия наблюдаются лишь на ограниченной территории. Это обусловлено в большой степени значительными изменениями температуры воздуха, являющейся определяющим параметром в расчете примененного биометеорологического индекса.

Полученные с использованием данных по сценарию RCP8.5 результаты позволяют предположить, что в районах с резко-континентальным климатом ожидается повышение комфортности в зимнее время и снижение в летнее. При этом также наблюдается тенденция к сглаживанию и практически полному отсутствию сезонного хода комфортности. В регионах с умеренно континентальным климатом наблюдается тенденция к повышению комфортности зимой, понижению в переходные сезоны и практически отсутствием изменений в летнее время. В районах с морским типом климата, ожидается снижение комфортности в зимнее время, а также осенью и весной. Эти особенности могут быть связаны с изменением влажностного режима, поскольку именно увеличение влажности воздуха в холодное время года способствует снижению комфортности по рассчитанным значениям индекса эффективной температуры.

Полученные результаты могут быть важны для районирования территории России с точки зрения комфортности среды обитания населения при планировании пространственного и социально-экономического развития России.

3.4. Экспресс-оценка риска социальной сфере при стратегическом планировании пространственного развития России

Социальная сфера охватывает все пространство жизни человека – от условий его труда и быта, здоровья и досуга до социально-классовых и национальных отношений. Основным направлением в социальной сфере является создание оптимальных условий жизни для каждого человека, его здоровья, образования, трудовой деятельности и социальной справедливости для всех слоев населения.

Выше было показано, что загрязнение атмосферы и последствия климатических изменений могут оказывать заметное влияние на здоровье населения, условия труда, комфортность проживания и пр., т.е. на качество жизни. Поэтому оценка риска для социальной сферы становится важным фактором, подлежащим учету при стратегическом планировании пространственного развития России. Однако такая оценка риска предопределяет учет множества факторов и необходимость выполнения достаточно большого количества расчетов по множеству вариантов планирования. При этом, как правило, высокая точность не требуется, но важны оперативность расчетов и выявление тенденций изменения (вариаций или относительных значений). Этими обстоятельствами определяется актуальность разработки методики экспресс-оценки риска для социальной сферы при стратегическом планировании пространственного развития России.

3.4.1. Общий методический подход к экспресс-оценке риска социальной сфере

Под рисками R в теории безопасности понимаются такие сочетания вероятностей P возникновения неблагоприятных событий (опасных и кризисных явлений, катастрофических, аварийных и чрезвычайных ситуаций), с одной стороны, и

математического ожидания порождаемых ими ущербов U с другой, которые определяют изменение уровня безопасности и состояние систем защищенности человека, объектов инфраструктуры и среды обитания от угроз и опасностей внутреннего и внешнего характера – техногенных, природных, антропогенных [56]. Теории риска и ее развитию посвящено много работ, прежде всего [56-58]. В наиболее общем виде риск оценивается по формуле:

$$R = P \cdot U. \quad (3.31)$$

Вероятность возникновения неблагоприятного события в выражении (3.31) оценивается экспертными, статистическими или аналоговыми методами. Ущерб или потери определяют из величин и масштабов опасных последствий неблагоприятных событий.

Однако данные об ущербе часто не полны или искажены, а иногда полностью отсутствуют. Ввиду этого приходится применять косвенные методы, а имеющиеся статистические данные использовать для контроля порядка возможных потерь.

В [3] и ряде других работ по исследованию климатического риска¹ предложено ущерб выражать через уязвимость объектов к изменению климата². При этом учитывается, что освоенность территории и интенсивность хозяйственной деятельности тесно

¹ Климатический риск есть обобщающее название воздействия погодно-климатической опасности (опасных гидрометеорологических явлений, неблагоприятных погодных условий, аномальных климатических условий, включая условия, создаваемые медленными изменениями климата с долгосрочными и широкомасштабными последствиями, такими, как подъем уровня моря, рост температуры воздуха, повышение кислотности океанских вод, таяние материкового льда, засоление почв, деградация лесов и земельных угодий, уменьшение биоразнообразия, опустынивание).

² Уязвимость к изменению климата – степень, в которой объекты (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) восприимчивы к неблагоприятным последствиям изменения климата и не могут справиться с этими последствиями [3].

связаны с плотностью населения. Понятно, что чем более развита экономика, тем больше населения проживает на данной территории и тем больший ущерб возникает при реализации погодно-климатической опасности. Уязвимость также зависит от географических и климатических особенностей территории, формирующих определенные характеристики этой опасности.

В соответствии с косвенным методом, разработанным в работе [3], расчет уязвимости социальной сферы территории к опасным и неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям (ОНГМЯ) осуществляется по формуле:

$$Y_{\text{ОНГМЯ}} = S \cdot m \cdot t \cdot K_{\text{ОНГМЯ}}, \quad (3.32)$$

где $S = s/S_0$;

s – средняя площадь воздействия данного явления;

S_0 – площадь рассматриваемой территории;

m – численность населения территории;

t – средняя продолжительность данного явления;

$K_{\text{ОНГМЯ}}$ – коэффициент агрессивности ОНГМЯ.

Обобщим вышеприведенное понятие «уязвимость», трактуя его следующим образом: уязвимость к загрязнению атмосферы и изменению климата – степень, в которой объекты (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) восприимчивы к неблагоприятным последствиям загрязнения атмосферного воздуха и климатических изменений и не могут справляться с этими последствиями. Тогда аналогично формуле (3.32) можно осуществить расчет уязвимости социальной сферы конкретной территории к загрязнению атмосферы (Z_A):

$$Y_{Z_A} = S \cdot m \cdot t \cdot K_{Z_A},$$

где $K_{Z_A} = (r_{\text{и}}, h_{\text{и}})'$ – индивидуальный риск онкологического заболевания и показатель (индекс) относительной опасности неонкологических заболеваний (см. формулы (3.1) и (3.2)).

Загрязнение окружающей среды усиливает негативное воздействие климатических изменений. Поэтому целесообразно рассматривать при расчете уязвимости Y социальной сферы

конкретной территории суммарный эффект воздействия загрязнения атмосферы и опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений:

$$Y = S \cdot m \cdot t \cdot K, \quad (3.33)$$

где $K = K_{\text{онгм}} + K_{\text{за}}$.

Таким образом получаем, что риск социальной сфере определяется как произведение вероятности конкретной опасности загрязнения атмосферы и неблагоприятных последствий климатических изменений на уязвимость объекта, который может оказаться подверженным этой опасности

$$R = P \cdot Y = P \cdot S \cdot m \cdot t \cdot K. \quad (3.34)$$

Риски социальной сфере при оценках развития страны могут рассчитываться по результатам различных сценариев моделирования климата в XXI веке и информации о стратегиях социально-экономического развития тех или иных районов или отраслей экономики.

Перейдем к изложению подхода к экспресс-оценке риска R .

Представим все функции в выражении (3.34) в виде суммы

$$f = \bar{f} + f',$$

где \bar{f} – невозмущенное (известное) значение, а f' – отклонение от \bar{f} , при этом $f' \ll \bar{f}$. Под невозмущенным состоянием будем понимать значения искомым функций, характеризующие риск R относительно заданного момента или периода времени.

Тогда получим

$$\bar{R} + R' = (\bar{P} + P')(\bar{Y} + Y').$$

Осуществляя перемножение, учитывая, что $\bar{R} = \bar{P} \cdot \bar{Y}$, пренебрегая малыми членами (произведением отклонений) и поделив на \bar{R} , с точностью до величин первого порядка малости получаем

$$\frac{R'}{\bar{R}} \approx \frac{P'}{\bar{P}} + \frac{Y'}{\bar{Y}}. \quad (3.35)$$

Таким образом получено простое и в этой связи удобное к использованию выражение для экспресс-оценки относительных величин вариаций риска социальной сфере.

Чтобы получить абсолютную величину вариации риска R' , нужно перемножить две известные величины $\left(\frac{R'}{\bar{R}}\right)$ и \bar{R} , т.е.

$$R' = \left(R' / \bar{R}\right) \cdot \bar{R}, \quad (3.36)$$

а для получения величины риска R прибавить к этому результату невозмущенное значение риска, т.е.

$$R = \bar{R} + \left(R' / \bar{R}\right) \cdot \bar{R}. \quad (3.37)$$

Если потребуется оценка величины экономического ущерба, создаваемого риском социальной сфере, то для перехода к экономическому риску (R_3) согласно [3] следует значение риска R умножить на коэффициент A , называемый ценой риска, полагаемый равным доле ВВП и основного фонда России, приходящегося на одного жителя России

$$R_3 = R \cdot A. \quad (3.38)$$

Таким образом для целей стратегического планирования пространственного развития России получено простое и удобное выражение экспресс-расчета риска социальной сфере, оценивающего воздействие опасности загрязнения атмосферы и неблагоприятных последствий климатических изменений на объект, и представляемого:

в виде (3.35) - для относительной величины вариации риска $\frac{R'}{\bar{R}}$,

в виде (3.36) - для абсолютной величины вариации риска R' ,

в виде (3.37) - для величины риска R ,

в виде (3.38) - для величины экономического риска R_3 .

Полученные выражения позволяют строить практические методики для решения задачи экспресс-оценки конкретных видов рисков социальной сфере, создаваемых опасностями загрязнения атмосферы и неблагоприятных последствий

климатических изменений, на уровне объекта (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) при сравнении вариантов стратегического планирования пространственного развития страны.

3.4.2. Пример построения методики экспресс-оценки риска социальной сфере и его расчета при стратегическом планировании развития регионов России

Рассмотрим применение предложенного подхода к построению методики экспресс-оценки риска социальной сфере территории вследствие воздействия загрязнения атмосферы и неблагоприятных последствий климатических изменений. Отталкиваясь от формул (3.34), (3.33) и следуя логике вывода выражения (3.35), получаем соотношение для относительной величины вариации риска R :

$$\frac{R'}{R} \approx \frac{P'}{P} + \frac{S'}{S} + \frac{m'}{m} + \frac{t'}{t} + \frac{K'}{K}. \quad (3.39)$$

Подчеркнем, что соотношение (3.39) вполне обеспечивает расчеты риска воздействия загрязнения атмосферы и опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений на социальную сферу федеральных округов в виде относительной величины вариаций R'/\bar{R} . Чтобы получить абсолютную величину вариации риска R' , или величину риска R , или экономического риска ($R_э$) следует воспользоваться выражениями (3.36)-(3.38).

Построенная методика позволяет решать задачи экспресс-оценки рисков, создаваемых загрязнением атмосферы и опасными и неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями, на уровне территории объекта. Проиллюстрируем ее работоспособность и удобство на примере полученного соотношения (3.39).

С этой целью сформулируем некоторый гипотетический сценарий пространственного развития страны.

В качестве невозмущенного состояния будем рассматривать экономику страны в 2018 г., данные о которой детально представлены в документах Росстата¹. Соответственно, под невозмущенным значением риска \bar{R} будем понимать риск для социальной сферы на уровне 2018 года.

Ориентируясь на максимальную заблаговременность демографических прогнозов Росстата (по 2036 г.), будем вариации риска социальной сфере оценивать для 2036 года. Соответствующие данные об относительной численности населения (величина $\frac{m'}{m}$) приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Прогнозная динамика численности населения на 2036 г.
(средний вариант) в долях от значений 2018 г.
(оценка по данным²)

Наименование федерального округа	Численность населения на 2018 г., чел.	Прогнозное значение величины $\frac{m'}{m}$ на 2036 г.,
Центральный	39344736	+ 0,02
Северо-Западный	13962037	+ 0,003
Приволжский	29469954	- 0,062
Южный	16448201	- 0,02
Северо-Кавказский	9845114	+ 0,056
Уральский	12353176	+ 0,014
Сибирский	17201746	- 0,02
Дальневосточный	8205612	- 0,03

Для задания остальных входящих в выражение (3.39) величин $\frac{P'}{P}, \frac{S'}{S}, \frac{t'}{t}, \frac{K'}{K}$ учтем имеющиеся качественные характеристики ожидаемых климатических изменений и их проявлений. В обобщающей работе [59] отмечено, что

¹ <https://www.gks.ru/folder/12781>

² <https://zen.yandex.ru/media/reburg/kak-budet-meniatsia-chislennost-naseleniia-v-rossii-5c42c9e67211c900ae964353>

«мониторинг повторяемости опасных явлений говорит об устойчивом росте их числа. Обращает на себя внимание и увеличение интенсивности опасных явлений, их продолжительности и площади распространения».

К сожалению, современное состояние климатического моделирования не позволяет пока эти качественные прогнозные характеристики подкрепить количественными оценками. Тем не менее, представляется, что, опираясь на выводы процитированной работы [59], вполне обоснованно примем увеличение к 2036 году вариаций величин $\frac{P'}{\bar{P}}, \frac{S'}{\bar{S}}, \frac{t'}{\bar{t}}, \frac{K'}{\bar{K}}$ на 0,5 %.

Таким образом гипотетический сценарий развития экономического пространства страны к 2036 г. сформирован. Результаты расчета для этого сценария относительной величины вариаций риска R'/\bar{R} социальной сфере федеральных округов по соотношению (3.39) представлены на рис. 3.18.

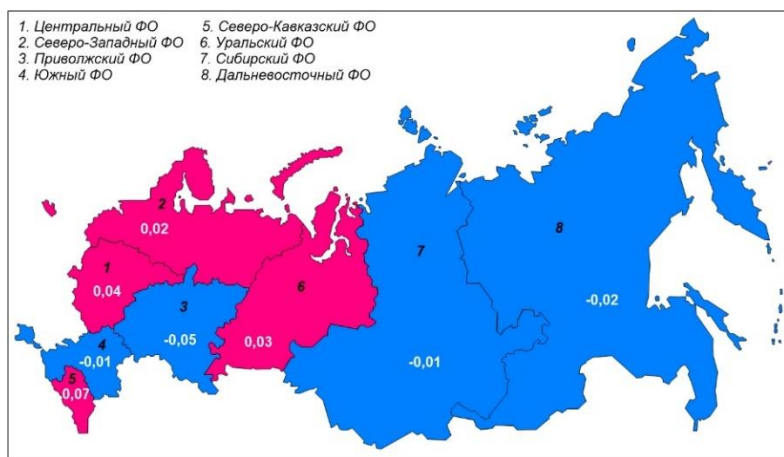


Рис. 3.18. Относительные величины вариаций риска R'/\bar{R} социальной сфере федеральных округов

Для расчета абсолютной величины вариации риска R' , а также величины риска R , необходимы невозмущенные значения риска \bar{R} для социальной сферы. В качестве примера с этой целью

используем значения риска от опасных явлений для социальной сферы РФ, определенные по методике расчета Индекса Всемирного Риска [3, рис. 2.19] и представленные на рис. 3.19.

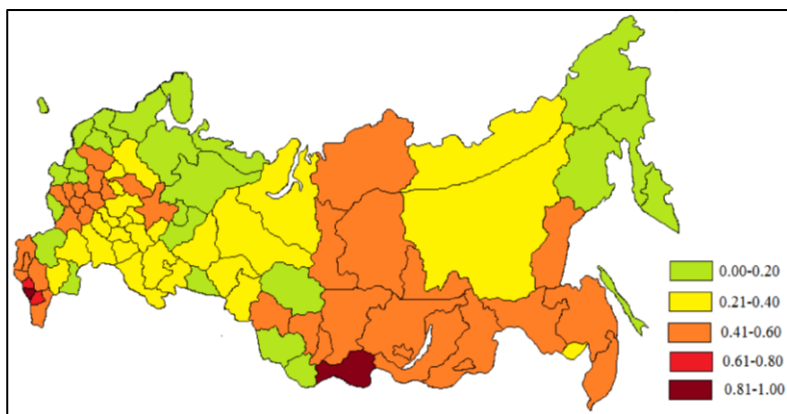


Рис. 3.19. Итоговые значения риска от опасных явлений для социальной сферы РФ (заимствовано из [3, рис. 2.19]).

Используя выражения (6) и (7) не составляет труда оценить величины R' и R . Разумеется, интервальность представления рисков на карте рис. 3.19 существенно снижает точность расчетов. Поэтому целесообразно использовать цифровую карту невозмущенных значений рисков.

Из анализа рис. 3.18 видно, что в федеральных округах, для которых ожидается согласно прогнозу Росстата к 2036 г. прирост населения (Центральный, Северо-Западный, Северо-Кавказский, Уральский), относительная величина вариаций риска воздействия опасных гидрометеорологических явлений на социальную сферу положительна (выделены розовым цветом). В федеральных округах, для которых ожидается убыль населения, значения R'/\bar{R} отрицательны (выделены синим цветом). Несложно видеть, что такая ситуация обусловлена принятым

гипотетическим сценарием и делать выводы о прогностическом распределении вариаций риска не следует.

Однако даже в представленном случае расчетов можно отметить два существенных момента, относящихся к Северной Осетии-Алании и Тыве. Итоговые значения риска от опасных явлений для социальной сферы в этих административных регионах согласно рис. 3.19 составляют 0,81-1,00. С учетом результатов расчетов на рис. 1 по использованному сценарию для 2036 года следует, что в Северной Осетии-Алании риск в среднем увеличится на 0,07% и может стать недопустимым. А в Тыве наоборот риск снизится на 0,01%.

Еще раз отметим, что приведенный пример расчетов – это только демонстрация работоспособности разработанной методики и предложенного подхода в целом.

Таким образом, предложенный методический подход позволяет строить практические методики для решения задачи экспресс-оценки конкретных рисков, создаваемых загрязнением атмосферы и погодно-климатическими опасностями, на уровне объекта (человек, система, процесс, отрасль экономики, территория) при сравнении вариантов стратегического планирования пространственного развития страны.

Глава 4.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА

Повышение качества жизни населения при наличии опасности для здоровья вследствие загрязнения атмосферы, очевидно, может осуществляться двумя основными способами – снижением антропогенного воздействия и «оздоровлением» воздушной среды и / или повышением социально-экономической защищенности населения (иначе – снижением социально-экономических последствий для населения) от влияния данного неблагоприятного фактора.

Если снижение антропогенного воздействия и «оздоровление» окружающей среды являются одними из основополагающих принципов развития территорий, то вопрос обеспечения социально-экономической защищенности населения в условиях загрязнения атмосферы и возможного усугубления экологической ситуации с учетом изменяющегося климата хотя и является на сегодняшний день весьма актуальным, в то же время требует еще некоторого дополнительного осмысления и создания методологической основы для его решения.

Ниже рассматривается методология снижения социально-экономических последствий для населения от нарушений здоровья вследствие загрязнения атмосферы, построенная на основе риск-менеджмента, которая наиболее востребована в условиях постоянного повышенного загрязнения, когда риск нарушений здоровья превышает приемлемый уровень.

Применительно к рассматриваемой проблеме под «постоянным повышенным» загрязнением атмосферного воздуха понимается постоянное или частое (наблюдаемое через относительно короткие промежутки времени или определенное

количество за период) загрязнение, обусловленное нормальным (штатным) функционированием источников выбросов, а не аварийными ситуациями, характеризующееся содержанием в атмосфере вредных (загрязняющих) веществ, превышающим установленные государством гигиенические нормативы качества атмосферного воздуха, или в пределах этих уровней, если для данных веществ медико-биологическими исследованиями установлено негативное влияние на здоровье в меньшем количестве, чем определено санитарными-гигиеническими нормами.

4.1. Методология снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы

4.1.1. Общие положения

Подход к снижению социально-экономических последствий для населения в результате загрязнения атмосферного воздуха основан на принципе адресной компенсации финансовых потерь, которые могут возникать у гражданина в связи с нарушениями здоровья, обусловленными постоянным воздействием содержащихся в воздухе загрязняющих веществ. Разработка данного подхода осуществлялась, исходя из следующих представлений.

Компенсация населению за вред здоровью и связанных с этим последствий определяется в соответствии с мерой риска для здоровья, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха.

Обязательства по формированию денежного фонда, предназначенного для возмещения убытков и вреда здоровью от загрязнения атмосферного воздуха, возлагается на объекты, ответственные за загрязнение атмосферы на конкретной территории.

Основная задача адресной компенсации финансовых потерь населению заключается не в полном возмещении ущерба

вследствие заболеваний в принципе, а в снижении потенциальных финансовых потерь граждан и поддержания их социально-экономического благополучия при повышенном риске для здоровья, обусловленном постоянным или частым (но не аварийным) повышенным уровнем загрязнения атмосферы.

Учитывая данные обстоятельства, для решения поставленной задачи используется известный финансовый инструмент «хеджирование» [1], представляющий особую форму страхования, предназначенную не для полной компенсации убытков в экстремальной ситуации, а для сохранения экономического положения на стабильном уровне при наступлении неблагоприятных, но не чрезвычайных условий. При этом возмещение вреда здоровью населения на основе хеджирования не может осуществляться само по себе, так как для решения данной задачи необходимы специальные подходы по определению вероятности наступления страхового случая и размера страховой премии, а также определения объектов, ответственных за загрязнение атмосферного воздуха на конкретной территории.

В связи с этим разработан методический комплекс [2-4], который состоит из:

- методики адресной компенсации финансовых потерь гражданам вследствие заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы;

- методики долгосрочной оценки риска здоровью населения от загрязнения атмосферы;

- метода идентификации источников загрязнения атмосферы.

На рис. 4.1 представлена общая схема рассматриваемой методологии, основанной на использовании вышеуказанного методического комплекса.

На начальном этапе выполняется комплексный анализ загрязнения атмосферы, заболеваемости населения, ущерба для граждан от нарушений здоровья, возможностей снижения данных последствий, который позволяет сделать выводы об

актуальности применения методологии и определить необходимые для последующей разработки вопросы.



Рис. 4.1. – Структурная схема методологии снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы

Методика адресной компенсации финансовых потерь гражданам вследствие заболеваний (риска заболеваний), обусловленных загрязнением атмосферы, построена на базе хеджирования. При разработке методики был учтен опыт применения хеджирования в смежной области – для снижения финансовых потерь в различных отраслях экономики вследствие наступления неблагоприятных погодных условий, то есть для снижения погодных рисков. Для определения возможного

ущерба, обусловленного повышенным риском здоровью вследствие загрязнения атмосферы могут быть использованы Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания МР 5.1.0029-11 [5] (см. параграф 3.1.1).

В свою очередь, для реализации методики адресной компенсации в части определения вероятности наступления страхового случая (повышенного риска для здоровья) и соответствующего размера выплат применима методика долгосрочной оценки риска здоровью от загрязнения атмосферы, которая строится на использовании теории чувствительности [6] и подходе к оценке риска для здоровья от химического загрязнения окружающей среды, представленного Агентством по охране окружающей среды США и принятым для применения в России [7, 8]. Для реализации данной методики использована численная модель оценки загрязнения атмосферы, описание которой дано в параграфе 1.5.1.

Для выявления ответственных за загрязнение атмосферы объектов предлагается метод идентификации источников загрязнения атмосферы, который позволяет определить местоположение и мощность (интенсивности) источника выбросов. Метод построен на основе использования математического аппарата основных и сопряженных уравнений переноса и диффузии примесей, разработанного Г.И. Марчуком [9]. Для реализации данного метода построена численная модель идентификации источников загрязнения атмосферы.

Конечным структурным элементом методологии являются рекомендации по снижению социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферного воздуха. Они включают рекомендации по применению вышеуказанного методического комплекса и предложения по созданию и совершенствованию нормативно-правовой базы с целью возможности реализации механизма адресной компенсации соответствующих финансовых потерь населению.

4.1.2. Применение хеджирования для управления риском здоровью от загрязнения атмосферы и повышения качества жизни населения

Хеджирование – особая форма страхования (управления риском), позволяющая стабилизировать доходы (компенсировать убытки) в случае наступления неблагоприятных для бизнеса условий путем совершения финансовых операций с производными финансовыми инструментами (деривативами) [1, 10-14]. Деривативы – это контракты, заключаемые как на бирже, так и вне ее. Следует подчеркнуть, что целью хеджирования является не извлечение дополнительной прибыли, а только снижение риска потенциальных потерь и стабилизации финансовых показателей.

Важной характеристикой любого дериватива (контракта) является базовый актив (базовый индекс), на который он выпускается. Обычно базовым активом являются акции и другие ценные бумаги, товары, фондовые индексы или фьючерсы, лежащие в основе срочных контрактов. Стоимость базового актива является основой для расчета при исполнении контракта.

Помимо базового актива, дериватив характеризуют:

- страйк – величина базового актива, ниже (выше) которого осуществляются выплаты;
- цена, выплачиваемая за единицу базового актива;
- период действия контракта;
- ограничители (кэп и флор) на материальное возмещение, которое может быть выплачено одним контрагентом другому.

Подписываемый сторонами контракт действует в течение оговоренного периода времени.

Наиболее распространенные типы контрактов – опционы, свопы, коллары.

Своп – это соглашение, позволяющее временно обменять одни активы или обязательства на другие активы или обязательства. Своп состоит из двух частей: первая часть – когда

происходит первичный обмен, вторая часть – когда происходит обратный обмен (закрытие свопа).

Коллар – это вид контракта, очень похожий на своп, однако имеющий дополнительные условия (ограничения) при его исполнении.

Опцион – это контракт, по которому покупатель получает право (но не обязанность) совершить покупку (опцион колл) или продажу (опцион пут) актива по заранее оговоренной цене. При заключении данного контракта платится премия продавцу опциона. Премия по сути есть цена опциона. В зависимости от срочности опционы делятся на европейский тип (исполнение опциона возможно по истечении времени, указанного в контракте) и американский тип (исполнение опциона возможно в любое время в течение периода действия контракта). Для целей снижения рисков потерь доходов в нефинансовой сфере применимы опционы европейского типа.

В следующем параграфе эти контракты будут рассмотрены подробно.

Одним из наиболее сложных вопросов при осуществлении хеджирования является определение цены деривативов. Существуют различные подходы к определению их цены.

Например, в случае контракта «опцион» широко используется подход «Burn analysis» [14], который основывается на статистическом анализе ретроспективных данных. Цель анализа – ответить на следующий гипотетический вопрос: какие были бы цена аналогичного опциона и денежное возмещение, выплачиваемое по нему, каждый календарный год на протяжении последних пятидесяти лет. Цена опциона в этом случае определяется как средняя величина премии, дисконтированная к требуемой дате.

Для определения цены опционов европейского типа применима модель Блэка-Шоулза [10]. Однако, ее применение возможно при условии, что функция распределения базового актива, полученная на основе статистического анализа

ретроспективных данных за последние 20-30 лет, соответствует нормальному закону распределения.

Деривативы широко используются в Америке, Европе и Австралии уже несколько десятилетий. В России рынок деривативов появился сравнительно недавно [1, 11, 12, 15]. Те немногочисленные производные финансовые инструменты, которые обращаются на российском рынке, являются достаточно традиционными и прошедшими многолетнюю апробацию на мировом рынке ценных бумаг. Например, это контракты на сделки с валютой с целью минимизации валютных рисков (связанных с изменением валютных курсов), контракты на сделки с ценными бумагами с целью минимизации процентных рисков (связанных с изменением процентных ставок) [11]. Наряду с этим, хеджирование может применяться для компенсации убытков, обусловленных нефинансовыми рисками.

В частности, идея применения хеджирования для снижения потерь, обусловленных риском здоровью вследствие загрязнения атмосферы, возникла в результате проведенных ранее исследований авторов совместно с А.С. Гинзбургом и С.А. Солдатенко по смежной проблеме – применению хеджирования для снижения негативных экономических последствий от влияния погодно-климатических условий на деятельность некоторых отраслей экономики России (погодных рисков) [16-18].

Термин «погодный риск» появился относительно недавно. В 80-90-х годах прошлого столетия в некоторых странах Европы и Америки были проведены многочисленные исследования, направленные на выявление зависимости доходов некоторых компаний, принадлежащих к различным секторам экономики, от естественной вариации погодных условий (но не опасных погодных явлений) [19, 20]. Как оказалось, многие отрасли хозяйственной сферы (энергетика, транспорт, добыча полезных ископаемых, сельское хозяйство, розничная торговля, туризм, сфера обслуживания и т.д.) в той или иной степени являются зависимыми от погоды и, следовательно, подвержены погодным

рискам. Количественное выражение погодные риски находят в той части доходов компании, которая оказывается чувствительной к погодным условиям. В США, Австралии, Европе и некоторых странах Азии для снижения последствий, связанных с погодными рисками, на сегодняшний день широко используется хеджирование [21]. В России данный подход пока не нашел широкого применения. Зачастую предприятиями и организациями рассматриваются лишь риски катастрофических природных явлений (землетрясений, засух, наводнений, штормов и т.д.), наносящих огромный материальный ущерб, для снижения последствий от которых обычно пользуются услугами страховых компаний или рассчитывают на компенсацию финансовых потерь за счет выплат из государственных источников.

Опираясь на предыдущий опыт, рассмотрим методический подход к адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы, на основе механизма хеджирования [2-4, 22].

Компенсация убытков гражданам в связи с экологически обусловленными заболеваниями на основе хеджирования предполагает взаимодействие трех основных участников: гражданина, объекта – источника выбросов в атмосферу (далее – загрязнителя), контрагента (например, страхового фонда). Это взаимодействие регулируется с помощью специального контракта (дериватива).

Введем понятие «экологический дериватив» [17]. Экологический дериватив – это контракт, в соответствии с которым одна из сторон (гражданин, пребывающий на загрязненной территории) «перекладывает» риск для своего здоровья на другую сторону (например, страховой фонд). Однако, все финансовые обязательства, возникающие при этом у гражданина, в соответствии со схемой хеджирования (типом дериватива) перекладываются на загрязнителя атмосферы (рис. 4.2).

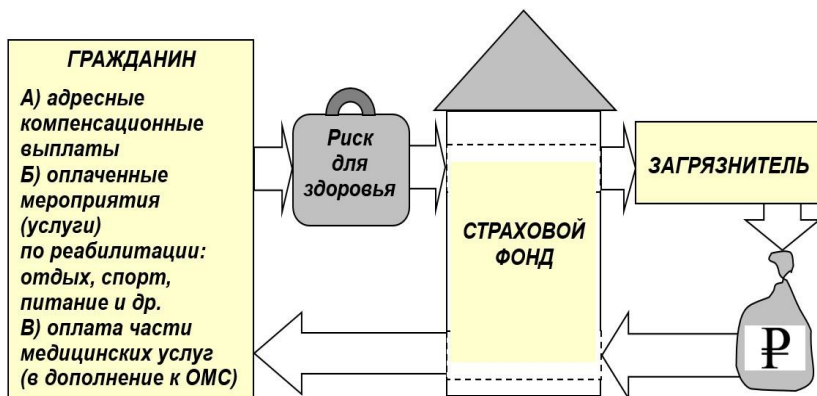


Рис. 4.2 – Принципиальная схема адресной компенсации

Базовым активом контракта, на основании которого осуществляются расчеты, является риск для здоровья (r , h), обусловленный загрязнением атмосферного воздуха – канцерогенный риск и относительная опасность неонкологических заболеваний (либо другие показатели, характеризующие риск здоровью). Такой выбор базового актива обусловлен тем, что нельзя однозначно сделать вывод о связи конкретного случая заболевания с загрязнением атмосферного воздуха.

Помимо базового актива, характеристиками экологического дериватива являются:

- страйк – величина базового актива (уровень риска для здоровья), ниже (выше) которого осуществляются выплаты;
- цена, выплачиваемая за единицу базового актива (риск для здоровья);
- период действия контракта;
- ограничители (кэп и флор) на материальное возмещение;
- наименование метеостанции, постов экологического мониторинга, данные которых могут использоваться для вычисления базового актива (оценки уровня риска здоровью);

- загрязнитель (загрязнители) – источник(и) выбросов, оказывающие влияние на качество атмосферного воздуха на рассматриваемой территории.

Подписываемый сторонами контракт действует в течение определенного периода времени.

При заключении контракта (в зависимости от типа) рассматривается (прогнозируется, оценивается) уровень риска на определенный промежуток времени, обязательно указываемый в контракте.

Кроме этого, на начальном этапе хеджирования определяются объекты – источники загрязнения атмосферного воздуха (загрязнители), оказывающие влияние на рассматриваемую территорию. Определяется степень их влияния.

В соответствии с концепцией хеджирования компенсация гражданам 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 установленного в контракте приемлемого уровня, загрязнитель, в зависимости от выбранной схемы хеджирования, может получать выплату, соответствующую разнице между установленным в контракте уровнем и наблюдаемым воздействием.

На начальном этапе осуществления хеджирования необходимо выполнить оценку (прогноз) риска заболеваний и на основе этого составить градацию уровней риска по степени воздействия на здоровье.

Это делается, во-первых, для того, чтобы с учетом полученных оценок установить приемлемый уровень риска для здоровья, относительно которого осуществляются компенсационные выплаты. Во-вторых, некоторые типы

контрактов [10, 23] (различные виды опционов) предполагают оплату страховой премии (цены или стоимости контракта), которую загрязнитель перечисляет контрагенту (в фонд). Для ее расчета необходимо заранее определить, какой будет уровень риска (или среднегодовой риск) по истечении периода действия контракта, и, соответственно, каков может быть потенциальный ущерб для граждан в результате заболеваний в течение страхового периода.

В свою очередь, определение потенциального ущерба, обусловленного риском для здоровья от загрязнения атмосферы, представляет определенную трудность. В настоящее время недостаточно отработана методология оценки ущерба от заболеваний, в особенности для физических лиц, в связи с наличием в данной области ряда неопределенностей. Весьма нетривиальной задачей является определение цены единицы базового актива, иначе говоря, для применения хеджирования в данном случае необходимо ответить на вопрос «сколько стоит риск для здоровья?». Решение данных задач требует дополнительных исследований на стыке экономики и медицины. Однако, выше в разделе 2.2 приводится методический подход, который может быть использован для оценки потенциальных финансовых потерь граждан и определения цены базового актива (риска).

Еще одним важным вопросом в осуществлении хеджирования применительно к рассматриваемой проблеме является выявление источников выбросов, ответственных за загрязнение воздуха и оценка их вклада в общий уровень загрязнения. На основании этого определяется величина платы, которую загрязнитель должен внести в качестве компенсации за вред, причиняемый здоровью населения.

Данная задача может решаться напрямую в процессе оценки (прогноза) риска здоровью. Однако, этот способ работает, если все реальные источники загрязнения известны и предоставляют корректную информацию о составе и объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. На практике такое бывает

далеко не всегда, так как до сих пор сохраняется известная проблема с достоверностью данных в отчетной экологической документации. Помимо этого, в городах при большом числе потенциальных источников выбросов перебор всех возможных загрязнителей, влияющих на конкретную территорию, является трудоемкой задачей. Также встречаются нелегальные источники эмиссии. Могут оказывать влияние и отдаленные источники.

Для преодоления указанных трудностей и определения загрязнителей и их характеристик целесообразно использовать метод идентификации источников загрязнения атмосферы на основе математического аппарата основных и сопряженных уравнений переноса и диффузии загрязняющей примеси [9]. Суть подхода заключается в том, что с помощью наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ на постах экологического мониторинга 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, определить его местоположение. Ниже подробно рассматривается данный метод (параграф 4.1.5).

Связав загрязнение воздуха, риск для здоровья и наступающие при этом финансовые потери, можно перейти к построению схем адресной компенсации финансовых потерь гражданам, то есть к экологическим дериватам.

4.1.3. Схемы адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы

Рассмотрим некоторые возможные варианты экологических контрактов (деривативов), реализующие различные схемы хеджирования и, соответственно, адресной компенсации финансовых потерь гражданам вследствие заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха.

Своп. Суть данного контракта состоит в следующем: две стороны договариваются между собой о том, что если за оговоренное контрактом время риск превышает нормальный (приемлемый) уровень R_{NORM} , то в этом случае речь идет о повышенной заболеваемости и дополнительных финансовых потерях населения (расходах на лечение и профилактику, упущенных доходах), а также о соответствующем моральном вреде (страданиях, причиняемых болезнью). Однако контрагент (специальный фонд) компенсирует эти убытки гражданам (рис. 4.3). Деньги, которые в итоге пойдут на компенсационные выплаты, перечисляются контрагенту загрязнителем.

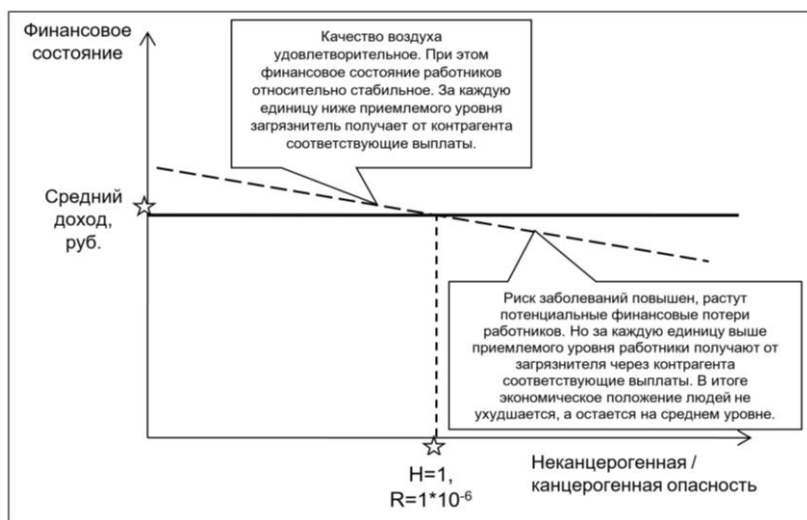


Рис. 4.3 – Схема компенсации по контракту типа своп (пример)

За нормальный (приемлемый) уровень риска может приниматься, например, значение дополнительного риска заболеваний $1 \cdot 10^{-6}$ [8]. Для неканцерогенного риска также может использоваться значение $H = 1$ (уровень относительной опасности неонкологических заболеваний, когда воздействие считается относительно безопасным [8]).

Размер компенсации определяется следующим образом:

$$G = \$P \cdot (R - R_{NORM}), \quad (4.1)$$

где $\$P$ – стоимость одной единицы базового актива; R – фактический рассчитанный риск; R_{NORM} – нормальный, то есть приемлемый риск.

Если же реальный канцерогенный или неканцерогенный риск R окажется ниже нормального уровня R_{NORM} , то в этом случае вследствие относительно чистого воздуха можно говорить лишь о фоновой заболеваемости, соответствующей экологически благополучной территории. Таким образом, население не несет дополнительные финансовые потери, обусловленные влиянием экологических факторов – загрязнением атмосферного воздуха. Экономическое положение граждан относительно стабильно. При этом контрагент выплачивает загрязнителю сумму G , равную

$$G = \$P \cdot (R_{NORM} - R). \quad (4.2)$$

Проиллюстрируем сказанное на примере, представляющим принципиальную модель выплат по своп-контракту (все данные взяты исключительно для примера).

Пусть:

приемлемый уровень опасности неонкологических заболеваний составляет 1;

стоимость единицы риска (единицы базового актива), определяемой, исходя из установленной зависимости «загрязнение воздуха – риск – заболеваемость – ущерб от заболеваемости», – 1500 руб./год из расчета на одного человека.

Если оказывается, что за оговоренное контрактом время (1 год) опасность неонкологических заболеваний H равна 15, что в 15 раз выше приемлемого уровня и характеризует загрязнение воздуха как умеренно опасное для здоровья [24], то в этом случае гражданину положена компенсация от страхового фонда в размере:

$$(15 - 1) \cdot 1500 = 21000 \text{ руб.}$$

Следует отметить, что компенсация каждому человеку складывается из выплат от нескольких загрязнителей, оказывающих воздействие на атмосферный воздух на конкретной территории, пропорционально их участию в загрязнении.

Если же за время действия контракта – год – среднее значение H составит, например, 0,9, что ниже приемлемого уровня риска и говорит о благоприятном состоянии воздушной среды, тогда страховой фонд выплачивает загрязнителю сумму в размере:

$$(1 - 0,9) \cdot 1500 \cdot 5000 \cdot 0,1 = 75000 \text{ руб.},$$

где 5000 – это количество граждан, проживающих в загрязненной зоне, которым положены выплаты; 0,1 – это вклад конкретного источника выбросов в общее загрязнение воздуха на данной территории.

Контракты типа «своп» не требуют от загрязнителя предварительных финансовых взносов в страховой фонд. Более того, в случае пониженного риска (ниже установленного приемлемого уровня) загрязнитель получает выплаты, которые носят стимулирующий характер. Данный тип контрактов наиболее актуален для тех загрязнителей, участие которых в загрязнении относительно невысокое, или на территориях, где уровень допустимого риска превышен незначительно. В таком случае есть вероятность, что за оговоренный контрактный период с учетом возможных климатических вариаций фактический риск окажется как выше, так и ниже приемлемого уровня. И, соответственно выплаты могут осуществляться либо в пользу населения, либо в пользу загрязнителя.

В табл. 4.1 приведен пример своп-контракта.

В общем случае платежная функция для своп-контракта имеет следующий вид:

$$G = \min \{ \$P \cdot (R(T) - R_{NORM})^+, C \} - \min \{ \$P \cdot (R_{NORM} - R(T))^+, C \}, \quad (4.3)$$

где $(A-B)^+ = \max(A-B, 0)$; C – максимальное значение платежа, определяемое в контракте; R – уровень риска/относительной опасности неонкологических заболеваний на момент времени истечения контракта T .

Таблица 4.1

Типовой экологический дериватив типа «своп»	
Продавец	Экологический страховой фонд
Покупатель	Асфальтобетонный завод
Получатели компенсации	Жители близлежащих территорий
Базовый индекс	H
Период действия	с 01.01.2015 г. по 01.01.2016 г.
Расположение загрязнителя	г. Москва
Своп-уровень (норма)	$H = 1$
Цена индекса (базового актива)	1500 руб.
Максимальная выплата	50000 руб.
Премия	нет

Коллар. Этот вид контракта отличается от дериватива «своп» наличием дополнительного параметра «страйк», что немного усложняет схему компенсации. Однако, в некоторых случаях такой вид контракта может оказаться удобным.

При заключении данного контракта, помимо установленного уровня приемлемого риска, определяется также уровень «страйк». Именно по достижении данного уровня риска осуществляются выплаты (рис. 4.4). Таким образом, вследствие небольшого превышения допустимого риска предполагается, что финансовое положение граждан пострадало минимально. Поэтому вплоть до уровня «страйк» повышенный риск не подлежит компенсации.

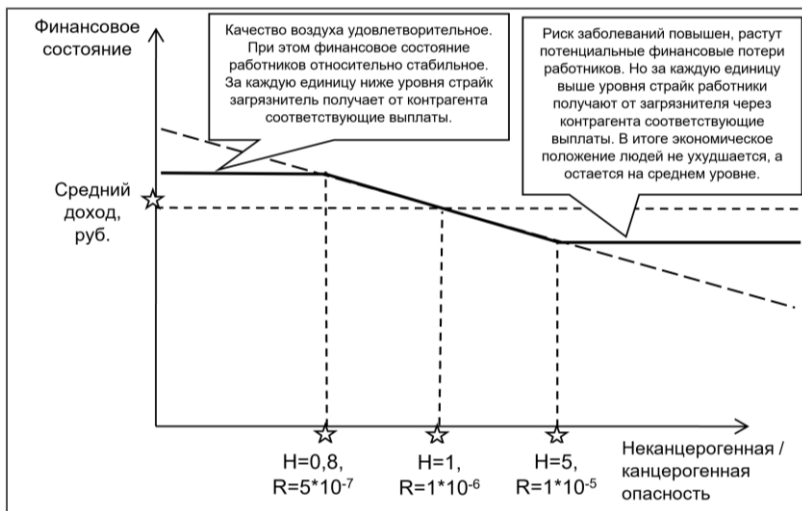


Рис. 4.4 – Схема компенсации по контракту типа коллар (пример)

Такой же уровень «страйк» может быть установлен в случае пониженного уровня риска, когда могут осуществляться выплаты загрязнителю.

Платежная функция в общем случае для коллар-контракта имеет следующий вид:

$$G = \min \{ \$P \cdot (R(T) - S_L)^+, C \} - \min \{ \$P \cdot (S_H - R(T))^+, C \}, \quad (4.4)$$

где S_L и S_H – соответственно нижний и верхний страйк.

В табл. 4.2 приведен пример коллар-контракта.

Опцион. Опцион, основанный на медико-экологических индексах – это так называемый опцион на покупку (опцион колл), дающий покупателю право купить базовый актив (риск здоровью) по определенной цене, независимо от того, сколько в данный момент стоит риск или связанные с ним потенциальные финансовые потери.

Таблица 4.2

Типовой экологический дериватив типа «коллар»

Продавец	Экологический страховой фонд
Покупатель	Асфальтобетонный завод
Получатели компенсации	Жители близлежащих территорий
Базовый индекс	H
Период действия	с 01.01.2019 г. по 01.01.2020 г.
Расположение загрязнителя	г. Москва
Нормальный уровень индекса	$H = 1$
Верхний страйк S_H	$H = 5$
Нижний страйк S_L	$H = 0,7$
Цена индекса (базового актива)	1500 руб.
Максимальная выплата	50000 руб.
Премия	нет

Это в данном случае означает, что контракт данного типа компенсирует гражданину, проживающему на экологически неблагополучной территории, потенциальные финансовые потери, если уровень неканцерогенной опасности H окажется выше указанного в контракте уровня «страйк» (например, это также может быть наименьший уровень, при котором наблюдается негативный для организма человека эффект загрязняющих веществ (неканцерогенов)).

Загрязнитель покупает этот контракт и платит премию продавцу опциона (в фонд) при заключении контракта. В этом случае в контракте указывается следующая информация (пример – см. табл. 4.3).

В контракте типа «опцион» премия является ценой опциона.

Таблица 4.3

Типовой экологический дериватив типа «опцион пут»

Продавец опциона	Экологический страховой фонд
Покупатель опциона	Асфальтобетонный завод
Получатели компенсации	Жители близлежащих территорий
Базовый индекс	H
Период действия	с 01.01.2019 г. по 01.01.2020 г.
Расположение загрязнителя	г. Москва
Нормальный уровень индекса	$H = 1$
Верхний страйк S_H	$H = 5$
Цена индекса (базового актива)	1500 руб.
Максимальная выплата (кэп)	50000
Премия (цена опциона)	300000 руб.

Заплатив премию в размере 300 000 рублей, загрязнитель осуществляет страхование проживающих на близлежащей территории от потенциальных финансовых потерь, которые могут произойти в случае, если в предстоящем временном периоде загрязнение воздуха, а, следовательно, и риск заболеть окажутся повышенными (риск будет выше, чем уровень страйк – отражающий, например, порог, когда начинают проявляться последствия загрязнения). В случае повышенного риска компенсационные выплаты гражданам осуществляет специальный фонд. И если риск и, соответственно, размер компенсации окажутся выше прогнозируемого уровня и учтенного при расчете цены опциона, загрязнитель в этом случае дополнительных расходов не несет. Все его затраты по компенсации ограничены размером премии, уплаченной при заключении контракта.

Если же загрязнение воздуха по данным мониторинга окажется ниже порогового уровня воздействия (уровня «страйк»), то считается, что финансовое состояние граждан не пострадало (от воздействия экологических факторов). Поэтому компенсационные выплаты не производятся. При этом затраты загрязнителя также равны размеру уплаченной при заключении контракта премии.

Уровень служит «кэп» для ограничения размеров возмещения.

Платежные функции опциона пут имеют следующий вид:

$$G_{CALL} = \min \{ \$P \cdot (R(T) - S_L)^+, C \}, \quad (4.5)$$

Здесь $(A-B)^+ = \max(A-B, 0)$, C – кэп (максимальное материальное возмещение).

Функция платежа опциона колл показана на рис. 4.5.

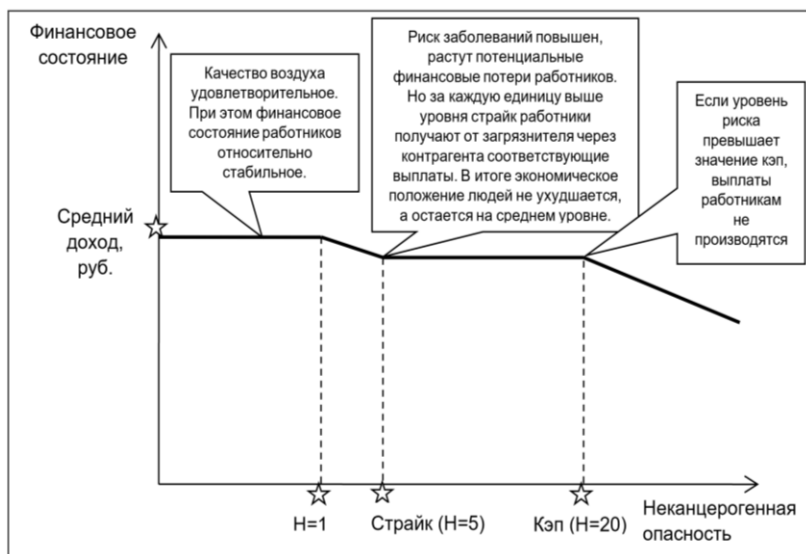


Рис. 4.5 – Пример платежной схемы по контракту типа опцион колл

В качестве итога рассмотрения возможных схем осуществления хеджирования применительно к задаче снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы следует отметить, что, учитывая несколько «экзотический» характер решаемой задачи, вполне возможно разработать некую новую схему хеджирования, которая будет являться результатом синтеза существующих типов контрактов.

Ценообразование экологических деривативов

Определение цены экологического контракта или дериватива (опциона) представляет собой сложную задачу, так как здесь базовым активом является собственно уровень риска для здоровья, который сам по себе не продается, то есть не является товаром или финансовым активом. С учетом специфики такого базового актива для определения цены контракта (премии) не совсем подходят традиционные методы, используемые в сфере финансовых рисков и основанные, по сути, на статистическом анализе ретроспективных данных.

Причина здесь состоит в том, что риск здоровью, связанный с загрязнением атмосферы, прежде всего, сильно зависит от погодно-климатических условий, которым свойственны порой существенные колебания, особенно на продолжительном отрезке времени. Это обстоятельство может иметь значение, особенно при заключении контракта сроком на несколько лет. Например, важным может оказаться, какая в ближайшем периоде будет зима, какие виды атмосферных движений будут преобладать и будут ли они способствовать рассеиванию в атмосфере загрязняющих примесей. Помимо этого, риск напрямую зависит от вариаций мощности источников, которые за период действия контракта могут быть значительными как по различным организационно-техническим причинам, так и вследствие колебаний погоды. Например, если зима окажется слишком теплой, то мощность объектов теплоэнергетики и выбросов от

них будет гораздо ниже, чем если бы зима была слишком холодной.

Таким образом, для определения риска здоровью и цены опциона наиболее целесообразно выполнение заблаговременной оценки (прогноза) риска для здоровья на период действия дериватива. Как было показано в главе 3, для оценки риска здоровью используются данные медико-биологических исследований и показатели загрязнения воздуха на рассматриваемой территории. При этом требуется весьма тщательно подойти к вопросу определения концентраций веществ в атмосфере. Существуют разные способы оценки загрязнения атмосферы, отличающиеся необходимым набором данных об источнике и метеорологических параметрах, различными способами реализации моделей и др. В некоторых случаях важным условием является учет погодно-климатических вариаций, а также вариаций мощности источников выбросов.

Учитывая необходимость выполнения многократных расчетов риска (для каждого нового периода действия экологического контракта), удобным инструментом здесь является методика долгосрочной оценки риска здоровью от загрязнения атмосферы, основанная на применении теории чувствительности (глава 3). Заметим также, что указанная методика может быть полезна для определения адекватных уровней риска при установлении ограничителей типа «страйк» и «кэп».

Кроме того, как уже упоминалось, пока недостаточно исследован вопрос влияния заболеваемости на финансовое состояние граждан (физических лиц). Поэтому для определения стоимости единицы риска при определении цены контракта можно воспользоваться подходом к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания [5], представленным в главе 2 и адаптированным для оценки индивидуального ущерба от заболеваний.

4.1.4. Порядок осуществления хеджирования и ожидаемые эффекты

Условно порядок осуществления хеджирования в рамках рассматриваемой задачи можно разделить на несколько этапов.

На *первом этапе* выполняется оценка (прогноз) риска здоровью от загрязнения атмосферы, с учетом которого осуществляется ранжирование риска, определяются проблемные территории и уровень воздействия на них источников выбросов. При необходимости осуществляется идентификация источников, ответственных за загрязнение воздуха: определяется местоположение и мощность выбросов, оценивается их вклад в общий уровень загрязнения на рассматриваемой территории.

Следующий этап включает определение возможных видов ущерба в связи с нарушением здоровья, стоимости единицы базового актива (риска) и потенциальных финансовых потерь граждан в результате заболеваний на основании полученных результатов оценки риска.

Далее в зависимости от полученных оценок и существующих условий могут быть выбраны различные схемы хеджирования, которым соответствуют различные типы контрактов. В данном случае могут быть использованы контракты типа «своп», «коллар», «опцион». Определяются характеристики данных контрактов (в том числе размеры выплат, стоимость контракта и т.п.) с учетом результатов оценки риска здоровью, идентификации параметров источников выбросов, оценки стоимости риска (степени ущерба).

Завершающим этапом является исполнение контракта по истечении установленного срока с осуществлением положенных выплат.

Схематично порядок применения хеджирования для осуществления адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы, представлен на рис. 4.6.



Рис. 4.6 – Порядок применения хеджирования для осуществления адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы

Ожидаемые положительные эффекты адресной компенсации финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы

Экономическая эффективность. Снижение финансовых потерь (затраты на лечение, реабилитацию, поддержание здоровья в удовлетворительном состоянии, а также упущенный

заработок), которые несет население экологически неблагополучных территорий в результате заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха.

Финансовые обязательства по компенсации распределяются исключительно среди загрязнителей. При этом не предполагаются затраты из федерального бюджета.

Экологическая эффективность. Создание у загрязнителя мотивации к снижению загрязнения воздуха и связанного с этим риска здоровью. Введение необходимости оплаты за причинение вреда здоровью населения будет стимулировать загрязнителей к применению организационно-технических мер по снижению негативного воздействия на атмосферный воздух (сокращение выбросов, использование современного очистного оборудования и др.).

Социальная эффективность. Улучшение качества жизни населения, которое выражается в данном случае повышением социально-экономической защищенности граждан при нахождении в условиях неблагоприятной окружающей среды, повышением возможностей профилактики заболеваний.

Средства, полученные в качестве компенсации, могут использоваться с целью повышения адаптационных возможностей населения на экологически неблагополучных территориях (оплаченные мероприятия по реабилитации: отдых, спорт, питание и др.; оплата части медицинских услуг), что будет в целом способствовать снижению риска для здоровья.

4.1.5. Идентификация источников загрязнения атмосферы

Идентификация источников загрязнения атмосферы необходима для выявления или уточнения характеристик (местоположения, мощности) объектов, выбросы которых влияют на состояние атмосферного воздуха на экологически значимой территории. Идентификация источников позволяет установить их вклад в общий уровень загрязнения атмосферы с

целью последующего определения степени их участия (величины платы) в компенсации вреда здоровью граждан.

Особенно актуально выполнение идентификации в ситуации, когда есть основания полагать о несоответствии реальной мощности выбросов объекта-загрязнителя количеству, а иногда и составу выбросов, заявляемому в отчетной экологической документации.

Следует отметить, что в общем случае существующие методы не позволяют непосредственно решать задачу идентификации выбросов от источников загрязнения атмосферы, которая относится к классу обратных задач математической физики. Сложность их решения заключается в том, что малым вариациям входных данных соответствуют большие вариации решения. Данное обстоятельство влечет необходимость использования специальных методов решения.

Для идентификации источников выбросов в настоящее время предложены эффективные подходы на основе использования математического аппарата основных и сопряженных уравнений переноса и диффузии примесей, разработанного Г.И. Марчуком [9, 25, 26]. Развитием этих подходов стали работы В.В. Пененко и Е.А. Цветовой [27], И.Э. Нааца [28], В.Ф. Рапуты [29], Е.А. Панасенко и А.В. Старченко [30]. Одним из первых исследований на эту тему стала работа А.А. Макоско [31], в которой сформулирован методический подход к идентификации источников загрязнения атмосферы на основе минимизации специального функционала, построенного с помощью основного и сопряженного решений задачи переноса и диффузии примеси. Впоследствии эти методические положения были развиты авторами настоящего издания в работе [32, 33].

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 .

Рассмотрим основную и сопряженную задачи переноса и диффузии (эволюции) примеси.

Основная задача эволюции примеси [9, 26]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} + \sigma q - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial q}{\partial z} - \mu \nabla^2 q = I, \quad (4.6)$$

$$q = 0 \text{ на } \Sigma, \quad \frac{\partial q}{\partial z} = \alpha q \text{ на } \Sigma_0, \quad \frac{\partial q}{\partial z} = 0 \text{ на } \Sigma_H,$$

где q – концентрация примеси;

u, v, w – компоненты вектора скорости ветра вдоль осей x, y, z , соответственно;

σ – параметр, обратный величине интервала времени, за который интенсивность выделения примеси по сравнению с начальным значением уменьшается в e раз;

k, μ – вертикальный и горизонтальный коэффициенты турбулентности;

$I = \sum_{i=1}^m I_i \delta(x - x_i)(y - y_i)(z - z_i)$ – интенсивность i -го источника примеси;

α – функция, характеризующая взаимодействие примесей с подстилающей поверхностью;

$\Sigma, \Sigma_0, \Sigma_H$ – соответственно боковая, нижняя и верхняя границы области решения.

Следуя основной задаче эволюции примеси (4.6), поставим в соответствие сопряженную задачу на основе тождества Лагранжа [9]:

$$-\frac{\partial q^*}{\partial t} - u \frac{\partial q^*}{\partial x} - v \frac{\partial q^*}{\partial y} - w \frac{\partial q^*}{\partial z} + \sigma q^* - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial q^*}{\partial z} - \mu \nabla^2 q^* = p \quad (4.7)$$

$$q^* = 0 \text{ на } \Sigma, \quad \frac{\partial q^*}{\partial z} = \alpha q^* \text{ на } \Sigma_0, \quad \frac{\partial q^*}{\partial z} = 0 \text{ на } \Sigma_H.$$

Неотрицательную функцию p , зависящую от координат и времени, выберем в виде

$$p = \sum_{k=1}^n p_k, \quad p_k = \delta(x-x_k)(y-y_k)(z-z_k).$$

Пусть искомым решением будет функционал

$$J_k = \int_0^\tau dt \int_{\Omega} q p d\Omega', \quad k = 1, \dots, n, \quad (4.8)$$

который, учитывая вид функции p , характеризует среднюю за период τ концентрацию примеси в зоне D_k .

Тождественное двойственное представление этого функционала имеет вид

$$J_k = \int_{\Omega} q_{k0} q_{k0}^* d\Omega' + \int_0^\tau dt \int_{\Omega} I q_k^* d\Omega', \quad k=1, \dots, n, \quad (4.9)$$

где q_k^* – решение сопряженной задачи в зоне D_k ;

q_{k0}^* – значение q_k^* при $t = 0$;

q_{k0} – концентрация примеси в момент $t = 0$ в зоне D_k .

Из выражения (4.9) 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.

Преобразуем второе слагаемое правой части выражения (4.9):

$$\begin{aligned} \int_0^\tau dt \int_{\Omega} I q_k^* d\Omega' &= \int_0^\tau dt \int_{\Omega} q_k^* \sum_{i=1}^m I_i \delta(x-x_i)(y-y_i)(z-z_i) d\Omega' = \\ &= \int_0^\tau dt \int_{\Omega} \sum_{i=1}^m I_i (q_k^* \delta(x-x_i)(y-y_i)(z-z_i)) d\Omega' = \\ &= \int_0^\tau dt \sum_{i=1}^m I_i (q_k^*(x_i, y_i, z_i)) = \int_0^\tau dt \sum_{i=1}^m I_i q_{ki}^*, \end{aligned}$$

где нижние индексы у функции q_{ki}^* означают, что значение сопряженной функции, характеризующей влияние на k -ю зону, берется в i -й точке.

Тогда искомым функционал с учетом того, что определению подлежит средняя за период $[0; \tau]$ интенсивность $\bar{I}_i = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau I_i dt$, можно представить в виде

$$J_k = \int_{\Omega} q_{k0} q_{k0}^* d\Omega' + \sum_{i=1}^m \bar{I}_i \int_0^\tau q_{ki}^* dt, \quad k = 1, \dots, n. \quad (4.10)$$

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

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

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 идентификации источника выбросов. Действительно, из условия минимума разности ε стандартными методами легко получается система линейных уравнений относительно \bar{I}_i , подлежащих определению. С этой целью ниже рассмотрено применение метода наименьших квадратов.

Относительно интенсивности \bar{I}_i система (4.10) есть система из n уравнений с m неизвестными. Для применения метода наименьших квадратов необходимо выполнение условия: $m < n$, то есть количество источников примеси должно быть меньше точек измерения концентраций.

Согласно методу наименьших квадратов значения \bar{I}_i должны быть такими, чтобы сумма квадратов разности $J_k - q_k$ по всем точкам k была минимальной, т.е. значения \bar{I}_i должны быть найдены из условия минимума выражения:

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=1}^n (J_k - \bar{q}_k)^2 = \min,$$

или с учетом выражения (4.10)

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=1}^n (\sum_{i=1}^m \bar{I}_i F_{ki} - S_k)^2 = \min. \quad (4.11)$$

где $S_k = \bar{q}_k - \int_{\Omega} q_{k0} q_{k0}^* d\Omega$; $F_{ki} = \int_0^{\tau} q_{ki}^* dt$.

Дифференцируя выражение (4.11) по \bar{I}_l , получим систему нормальных уравнений:

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \bar{I}_1} = 2 \sum_{k=1}^n (\sum_{i=1}^m \bar{I}_i F_{ki} - S_k) \cdot F_{k1} = 0, \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \bar{I}_2} = 2 \sum_{k=1}^n (\sum_{i=1}^m \bar{I}_i F_{ki} - S_k) \cdot F_{k2} = 0,$$

.....

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial \bar{I}_m} = 2 \sum_{k=1}^n (\sum_{i=1}^m \bar{I}_i F_{ki} - S_k) \cdot F_{km} = 0.$$

После изменения порядка суммирования, сокращения и переноса членов, не содержащих неизвестных \bar{I}_l , получим систему уравнений

$$a_{11}\bar{I}_1 + a_{21}\bar{I}_1 + \dots + a_{m1}\bar{I}_m = b_1, \quad (4.13)$$

$$a_{12}\bar{I}_1 + a_{22}\bar{I}_1 + \dots + a_{m2}\bar{I}_m = b_2,$$

.....

$$a_{1m}\bar{I}_1 + a_{2m}\bar{I}_1 + \dots + a_{mm}\bar{I}_m = b_m,$$

где $a_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n F_{ki} F_{kj}$; $b_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_k F_{ki}$.

Рассчитав по F и S коэффициенты a и b и решая систему уравнений (4.13) каким-либо методом, например, методом исключения Гаусса, получим числовые значения искоемых \bar{I}_l .

Для практического применения рассмотренного подхода построена численная модель идентификации источников загрязнения атмосферы, в основе которой лежит решение сопряженного уравнения переноса и диффузии примеси (4.7) и

системы уравнений (4.13), реализующих задачу идентификации мощности источника методом наименьших квадратов. Таким образом, модель позволяет определить месторасположение источника и интенсивность выбросов.

Получаемые результаты моделирования представляют собой поле значений мощности выбросов I . Область максимальных значений поля мощности свидетельствует о том, что в данной точке пространства расположен источник эмиссии рассматриваемой примеси. Соответственно, данное максимальное значение мощности есть искомая величина выбросов загрязняющего вещества в атмосферу данным источником.

Блок решения сопряженного уравнения эволюции примеси во многом построен идентично модели оценки загрязнения атмосферы, представленной в параграфе 3.2.3, за исключением алгоритма реализации долгосрочных оценок. Это касается как методов решения сопряженного уравнения переноса и диффузии примеси, так и территории, на которой реализована модель, вертикальной структуры модели и способов описания физических процессов в пограничном слое атмосферы.

Для апробации метода идентификации были проведены тестовые расчеты, суть которых заключалась в определении мощности 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 определяются выбросы от источника.

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

Расчет функционала J_k проводился, исходя из условий: $I_i = \frac{1}{2} (I_{io} + I_{it})$, $q_{ki}^* = \frac{1}{2} (q_{kio}^* + q_{kit}^*)$ – средние на интервале времени $[0; \tau]$ значения I_i , q_{ki}^* . Функции q_{ki}^* получены с помощью модели расчета полей сопряженных функций.

Заблаговременность расчетов составляла 3 часа (именно с такой периодичностью проводятся замеры различных метеорологических параметров).

Тестовые эксперименты проводились для двух типов источников: приподнятых (например, трубы предприятий) и приземных (организованные и неорганизованные, площадные и точечные низкие источники выбросов).

В целом, тестовые расчеты по идентификации источников загрязнения атмосферы показали работоспособность представленного подхода. Его применение в масштабе города или района мегаполиса на основе использованной модели возможно 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 данного подхода и точность получаемых оценок мощности.

Пример идентификации источника загрязнения атмосферы на территории Московского мегаполиса

Рассмотренный выше методический подход и численная модель были использованы для идентификации источника мощных выбросов сероводорода (H_2S), имевших место в Москве 10 ноября 2014 года [32].

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.

Метеорологические условия 10 ноября 2014 г. в целом способствовали рассеиванию вредных примесей в приземном слое атмосферы. Так, по данным ФГБУ «Гидрометцентр

России»¹ [297] Московский регион находился под слабым влиянием теплого фронта и юго-западной периферии антициклона. Задерживающие слои температурной инверсии отсутствовали. В Москве в ранние утренние часы (0-9 часов) преобладал слабый ветер северного-северо-восточного и северо-восточного направлений. В период между 9 и 12 часами северо-восточный ветер менялся на восточный, юго-восточный, местами – южный. С 12 часов преимущественное направление ветра было юго-восточное, максимальная скорость ветра местами достигала 4-5 м/с.

В рассматриваемый период наблюдения за содержанием в воздухе сероводорода на территории Москвы проводились на 17 автоматических станциях контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСКЗА), включая 2 мобильных станции, подведомственных ГПБУ «Мосэкомониторинг»², а также на 2 постах наблюдения за загрязнением атмосферы ФГБУ «Центральное УГМС» Росгидромета³.

Согласно данным о загрязнении атмосферного воздуха, размещаемым на интернет-портале ГПБУ «Мосэкомониторинг», в ранние утренние часы 10 ноября содержание сероводорода в атмосфере Москвы было в пределах нормативных значений. Однако в период с 10 до 11 часов утра на АСКЗА «Люблино» уже было зарегистрировано превышение максимальных разовых концентраций сероводорода в 6-8 раз, в период с 12 до 14 часов – в 1-3 раза. На соседней станции экологического мониторинга АСКЗА «Гурьяново» в период с 11 до 12 часов наблюдалось превышение допустимых значений содержания H_2S в воздушной среде в 2-5 раз. В период с 15 до 16 часов повышенные концентрации сероводорода, в 2-3 выше предельно допустимой, отмечались в центре и на севере столицы (АСКЗА «Сухаревская», «МАДИ», мобильная станция М2 «Ховрино»). В

¹ <http://www.meteoinfo.ru>

² <http://www.mosecom.ru>

³ <http://www.ecomos.ru>

18 часов концентрации сероводорода немного выше предельно допустимой наблюдались на АСКЗА «Сухаревская» и «Гурьяново», а в 19 часов – на АСКЗА «Сухаревская» и «Люблино».

Учитывая хронологию наблюдений за концентрациями H_2S в воздухе, наиболее интересный временной интервал для идентификации источника выбросов приходится на период фиксации максимальных значений вещества и предшествующий отрезок времени. Таким образом, для расчетов был выбран 3-часовой период с 8 до 11 ч утра.

На рис. 4.7 представлено расположение АСКЗА ГПБУ «Мосэкомониторинг» на территории Москвы, и показаны значения концентраций сероводорода в атмосфере, зафиксированные на каждой станции в 8 утра, когда содержание H_2S не превышало предельно допустимых значений, в 9-10 ч и, соответственно, в 11 часов утра, когда отмечались наиболее высокие уровни загрязнения воздуха.

Одной из важнейших характеристик, определяющих условия распространения примеси в атмосфере, является ветер. Для рассматриваемого периода в табл. 4.4 (позиции 8-10, выделенные серым цветом) приведены данные наблюдений ветра на метеостанциях и значения, принятые при проведении расчетов.

По данным метеорологических станций Балчуг и ВДНХ, синоптическая обстановка 10.11.2014 г. характеризовалась ростом атмосферного давления в течение дня. Облачность отмечалась в утренние часы. В дневное время отмечалось очень незначительная кучевая облачность. На основе имеющейся информации можно сделать вывод о наличии слабых конвективных условий в атмосфере.

В связи с отсутствием достоверных данных по ряду метеорологических параметров за 10.11.2014 г., позволяющих определить основные характеристики пограничного атмосферного слоя, в расчетах, согласно [34], принята средняя высота приземного слоя атмосферы для конвективных условий, равная 70 м. С учетом этого, коэффициент вертикальной

диффузии на уровне 1 м составляет $0,102 \text{ м}^2/\text{с}$. На высотах 50 м и 250 м направление и скорость ветра рассчитывались в экмановском приближении.

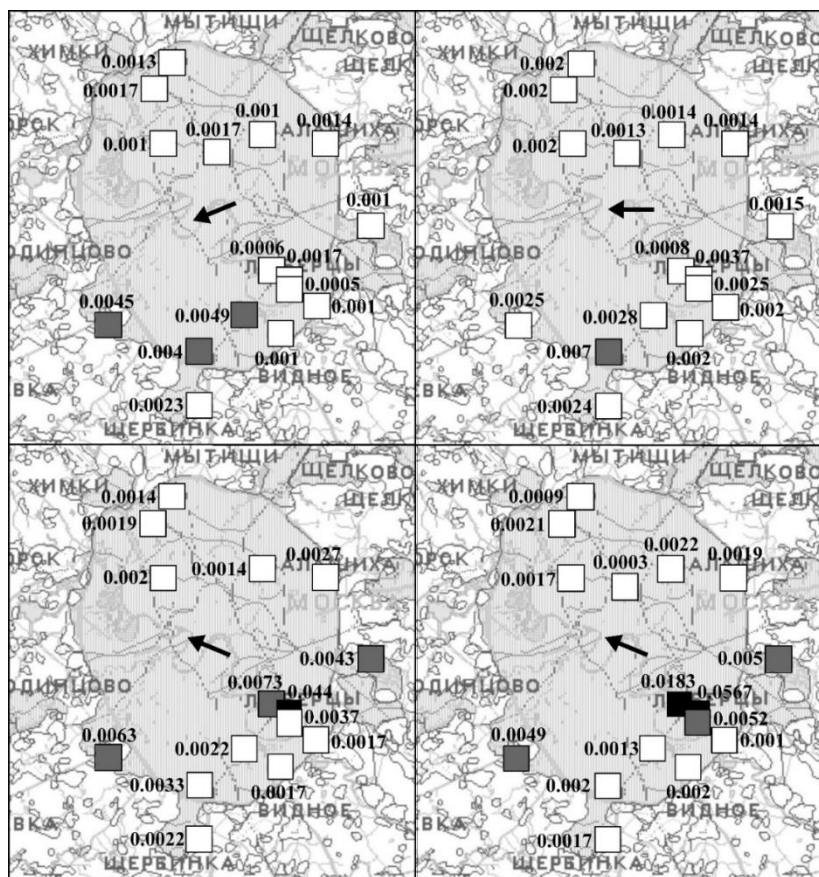


Рис. 4.7 – Распределение концентраций сероводорода ($\text{мг}/\text{м}^3$) на территории Москвы по данным АСКЗА ГПБУ «Мосэкомониторинг» в период с 8 до 11 ч 10.11.2014 г.
Верхний ряд слева направо: 8 ч, 9 ч.
Нижний ряд слева направо: 10 ч, 11 ч.
Стрелка указывает направление преимущественное ветра.

С помощью приведенного подхода и модели, а также информации ГПБУ «Мосэкомониторинг» о концентрациях в воздухе сероводорода и данных метеостанций «Балчуг» и «ВДНХ» было построено поле мощности выбросов потенциального источника в окрестности постов мониторинга, зафиксировавших наивысшие уровни содержания H_2S в атмосфере (АСКЗА «Гурьяново», «Люблино», «Марьино» и «МНПЗ-Капотня»). Данное поле выбросов, по сути, представляет собой поле возможной локализации источника с указанием уровней эмиссии загрязняющей примеси. Область данного поля с максимальными значениями эмиссии позволяет определить более детально местонахождение источника мощных выбросов сероводорода.

Таблица 4.4

Данные наблюдений ветра 10.11.2014 г. на метеостанциях и значения, принятые при проведении расчетов

Вре- мя (ч)	Ст. Балчуг		Ст. ВДНХ		Значения, принятые при проведении расчетов	
	Направ- ление (румбы)	Ско- рость (м/с)	Направ- ление (румбы)	Ско- рость (м/с)	Направ- ление (румбы)	Ско- рость (м/с)
6	СВ	1	-	0	-	-
7	-	-	-	0	-	-
8	-	-	-	0	В-СВ	0,5
9	В-СВ	1	-	0	В	0,5
10	-	-	В-ЮВ	1	В-ЮВ	1
11	-	-	В	1	В-ЮВ	1
12	В-ЮВ	1	Ю-ЮВ	2	-	-
13	-	-	В-ЮВ	1	-	-
14	-	-	В-ЮВ	1	-	-
15	В-ЮВ	1	В-ЮВ	1	-	-

Анализ поля выбросов показал, что область максимальных значений эмиссии сероводорода совпадает с территорией Московского нефтеперерабатывающего завода (МНПЗ) в Капотне (рис. 4.8).

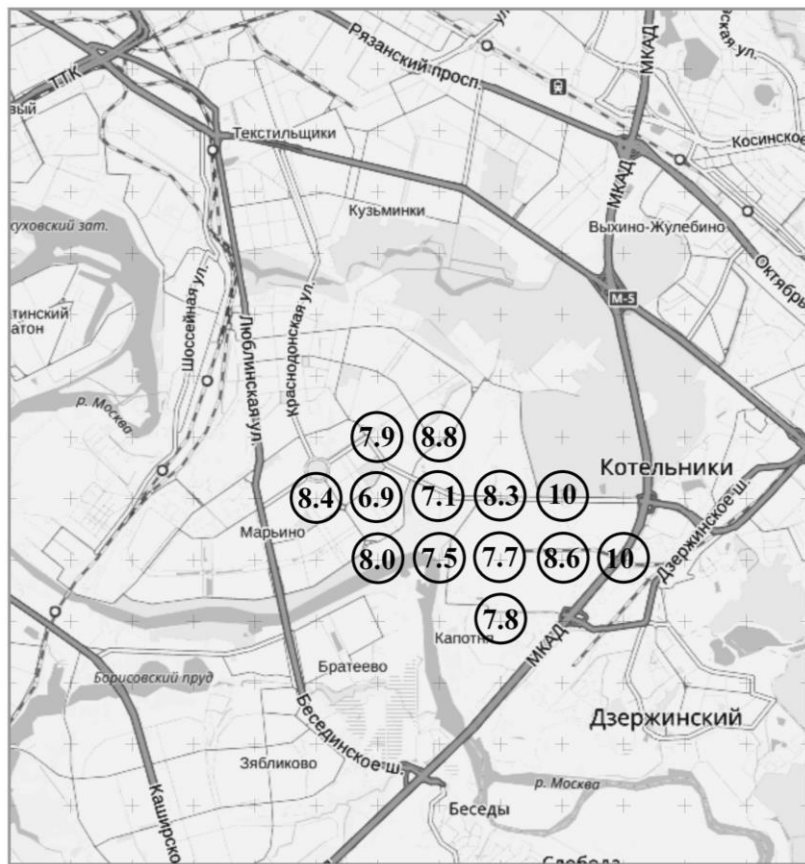


Рис. 4.8 – Поле интенсивностей источника выбросов сероводорода в Москве 10.11.2014 г. на уровне 50 м (область максимальных значений).

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.

Следует отметить, что выбросы H_2S вблизи земной поверхности близки к нулевым значениям и практически не идентифицируются. В то же время на высоте 50 м рассчитана весьма высокая интенсивность H_2S . На основании данного результата можно предположить, что выбросы сероводорода осуществлялись приподнятым или высоким источником.

В области максимальных значений поля выбросов определено максимальное значение мощности источника, составившее 3195 г/с. Видимо, следует учесть результаты тестовых расчетов, которые показали, что при идентификации высоких выбросов на расстоянии 2-7 км от источника возможна ошибка в сторону завышения реального значения интенсивности до 40 %. Поэтому максимальное скорректированное значение мощности потенциального источника сероводорода будет составлять порядка 1900 г/с. Таким образом, за час в период с 8 до 11 ч в атмосферу могло поступать примерно 6-7 тонн сероводорода.

Неопределенности в идентификации источников загрязнения атмосферы

Неопределенности в оценке выбросов и месторасположения источника, в первую очередь, обусловлены недостаточным количеством постов наблюдений за химическим загрязнением воздуха. Существующая в Московском мегаполисе сеть экологического мониторинга позволяет лишь точно учитывать влияние отдельных производственных или транспортных объектов на близлежащую территорию. В других российских городах обстановка с экологическим мониторингом пока зачастую хуже, чем в Москве [35]. Поэтому в некоторых случаях может быть затруднена оценка воздействия техногенных

источников выбросов на окружающую среду, а также их идентификация на больших территориях и расстояниях, в частности, в случае мощного, крупномасштабного загрязнения атмосферы.

Кроме этого, определение точного количества выбросов по некоторым веществам, включая сероводород, представляет сложность вследствие недостаточной информации о времени жизни этих веществ после их попадания в атмосферу, скорости их химической трансформации.

Дополнительную неопределенность создают методические и вычислительные ошибки используемого подхода и численной модели. Согласно тестовым расчетам, при определении рассмотренного выше источника и количества, а также расположения постов мониторинга погрешность идентификации может составлять до 40 % как на высоте, так и вблизи земной поверхности.

4.1.6. Рекомендации по применению методологии снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы

Ниже приведены общие рекомендации по применению основных блоков рассматриваемой методологии снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы на основе риск-менеджмента.

Адресная компенсация финансовых потерь гражданам от заболеваний, обусловленных загрязнением атмосферы

Методика основана на применении хеджирования, представляющего собой особую форму страхования рисков увеличения финансовых потерь при наступлении каких-либо неблагоприятных, но не чрезвычайных условий и применяемого в основном в сфере обращения с ценными бумагами, валютой, товарно-сырьевой сфере. В соответствии с концепцией

хеджирования компенсация может иметь различные схемы. Так как в данном случае хеджирование применяется к весьма необычной для этого задаче, то, помимо использования рассмотренных традиционных схем или типов контрактов, данные схемы могут быть скорректированы, скомбинированы, и на основе этого может быть создана отдельная схема и соответствующий ей контракт применительно к риску для здоровья.

Контракты типа «своп» наиболее целесообразно использовать в случае пограничного влияния источника выбросов на рассматриваемую территорию, когда возможно как небольшое превышение уровня риска, так и отсутствие негативного воздействия. В этом случае на загрязнителя ложится минимальная финансовая нагрузка. Если повышенное загрязнение атмосферы от выбросов конкретного источника является очевидным и достаточно высоким, в данной ситуации целесообразно использовать контракт типа «опцион», когда загрязнитель при заключении договора платит премию, определенную на основании оценки (прогноза) риска для здоровья. Таким образом, загрязнитель застрахован от еще больших затрат в случае, если фактический риск окажется выше ожидаемого.

Осуществление выплат гражданам и, в некоторых случаях, загрязнителям должно осуществляться через контрагента, в качестве которого может выступать специальный фонд. Однако, эта функция может быть возложена также на существующие страховые компании, фонд социального страхования или медицинского страхования, банк и т.п.

Адресную компенсацию возможно осуществлять как в виде денежных выплат, так и в натуральном виде – частично или полностью оплаченных профилактических мероприятий: занятий различными видами фитнеса, здорового питания, лечения и реабилитации.

Оценка риска здоровью от загрязнения атмосферы

При заблаговременной оценке загрязнения атмосферного воздуха можно использовать климатические (средние за прошедший период, примерно 25 лет) значения метеорологических параметров, характеризующих рассеивание примесей в атмосфере. Более предпочтительным является при наличии возможности использование прогнозируемых значений параметров атмосферы на период действия контракта.

При оценке риска неонкологических заболеваний может осуществляться оценка общей относительной неканцерогенной опасности, а также оценка относительного риска отдельных классов болезней, дополнительного случая заболеваний. При этом может использоваться единичный эпидемиологический риск (риск на 1 мкг/м^3) [8]. Для такой, более детальной оценки необходимо наличие единой информационной базы, содержащей данные референтных концентраций, единичного риска или других показателей зависимости «доза-ответная реакция» по большинству загрязняющих веществ. Кроме этого, необходимо наличие базы данных об источниках загрязнения атмосферы, доступ к отчетной экологической документации.

Если на каком-либо этапе осуществления адресной компенсации возникает сомнение в достоверности сведений о выбросах от конкретного источника и, соответственно, в результатах оценки риска, полученных на их основе, для уточнения воздействия можно воспользоваться рассмотренным выше методом идентификации источников загрязнения атмосферы.

Оценка риска для здоровья от загрязнения атмосферы может потребоваться:

- для выделения приоритетных экологически неблагополучных территорий по фактору загрязнения атмосферы с целью применения там системы адресной компенсации гражданам убытков, обусловленных данным негативным фактором;

- для уточнения порогового уровня «страйк», относительно которого осуществляются компенсационные выплаты при различных типах контрактов, а также ограничений на выплаты.

- для определения размера премии или цены контракта типа «опцион».

-

Идентификация источников загрязнения атмосферы

Идентификация источников загрязнения атмосферы (мощности и местоположения выбросов) рекомендуется использовать в случаях, когда необходимо уточнить данные по интенсивности выбросов от конкретного источника или степень участия разных источников в загрязнении воздуха на рассматриваемой территории.

Данный подход также предпочтительно применять для определения неучтенного источника выбросов или в ситуации аварийных выбросов, когда требуется оперативная идентификация (от нескольких десятков минут до нескольких часов в зависимости от степени подготовленности данных) загрязнителя и масштабов его воздействия на атмосферный воздух.

Идентификацию источника загрязнения атмосферы в рамках решаемой задачи предпочтительно выполнять на основе модели с пространственным шагом не более 0,5-1 км.

Применение описанной выше модели идентификации источников загрязнения атмосферы возможно, по крайней мере, на расстоянии 10 км от места выбросов с удовлетворительной точностью. Для определения источника можно построить другие модели с другой численной реализацией и способом описания процессов в атмосфере, если это не ухудшит точность получаемых оценок мощности и местоположения выбросов.

Решение задачи идентификации источников загрязнения атмосферного воздуха с целью адресной компенсации гражданам последствий от экологически обусловленных заболеваний требует развитой сети экологического мониторинга.

Рассмотренная методология представляет собой теоретико-методическое обоснование (модель) решения проблемы снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы. Очевидно, в дальнейшем требуется уточнение и более детальная разработка отдельных ее элементов, условий реализации, организационных вопросов в процессе экспертного обоснования, а также внесение соответствующих изменений в законодательство. Такое экспертное обоснование требует привлечения специалистов разных профилей (медицины, экологии, юриспруденции, экономики, управления), а также серьезных административных ресурсов.

На начальном этапе рекомендуется апробация методологии для адресной компенсации финансовых потерь гражданам от экологически обусловленных заболеваний (риска заболеваний) на примере относительно небольшой популяции, в небольшом городе или районе крупного города. Это позволит выявить характерные достоинства и недостатки и на этой основе детально доработать методологию, определить условия применения и довести до практической реализации.

4.2. Правовое обеспечение снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы

Важным этапом при решении задачи снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы является анализ существующей законодательной базы в отношении возможности компенсации гражданам ущерба от экологически обусловленных заболеваний (риска заболеваний). С этой целью исследованы вопросы нормативно-правового обеспечения охраны здоровья граждан, экологической безопасности атмосферного воздуха, возмещения экономического ущерба и других компенсационных мер

вследствие вреда здоровью в связи с загрязнением окружающей среды [36-38].

Так как предложенная методология снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы может применяться лишь при создании необходимой законодательной базы, рассмотрены правовые аспекты применения хеджирования как возможного механизма компенсации и представлены некоторые предложения по совершенствованию нормативно-правового обеспечения в соответствии с решаемой задачей.

4.2.1. Правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха, здоровья и социально-экономической защиты граждан

Правовое обеспечение охраны атмосферного воздуха является составной частью законодательства по экологической безопасности в Российской Федерации. Правовые основы в сфере охраны окружающей среды определены *Конституцией РФ* [39], согласно которой основная цель охраны природы и экологической политики России – обеспечение благоприятной для человека окружающей среды (ст. 42).

Основопологающим законом, регулирующим *экологическую безопасность*, является *Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ* [40], который определяет перечень нормативов качества окружающей среды и требования к их установлению, нормативы допустимого воздействия на окружающую среду, нормативы допустимых выбросов и иные нормативы. В целях защиты имущественных интересов физических лиц на случай экологических рисков Закон предусматривает возможность добровольного или обязательного экологического страхования. Вред, причиненный здоровью и имуществу граждан негативным воздействием окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности юридических и физических лиц, подлежит возмещению в полном объеме.

Правовые основы *охраны атмосферного воздуха* определены *Федеральным законом «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ (в ред. от 13.07.2015 г.)* [41]. Согласно Закону, юридические лица, индивидуальные предприниматели, имеющие источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, а также количество и состав выбросов вредных (загрязняющих) веществ подлежат государственному учету. В целях государственного регулирования охраны атмосферного воздуха устанавливаются предельно допустимые нормативы выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. За загрязнение окружающей природной среды выбросами вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух с физических и юридических лиц взимается плата.

Вопросы *охраны здоровья* граждан России регулируются комплексом законодательства, основу которого составляет *Конституция РФ*. Среди федеральных законов наибольший интерес представляет *Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.10.2011 № 323-ФЗ* [42], согласно которому право на охрану здоровья граждан обеспечивается охраной окружающей среды, созданием безопасных условий труда, благоприятных условий труда, быта, отдыха. В случае утраты здоровья граждан предусмотрены меры социальной защиты.

Согласно *Федеральному закону «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ* [43] атмосферный воздух в городских и сельских поселениях, на территориях промышленных организаций, а также воздух в рабочих зонах производственных помещений, жилых и других помещениях (места постоянного или временного пребывания человека) не должен оказывать вредное воздействие на человека. Вред, причиненный личности или имуществу гражданина вследствие нарушения санитарного законодательства, подлежит возмещению в полном объеме.

В Российской Федерации компенсация ущерба гражданам в связи с причинением вреда здоровью осуществляется на основе страхования. Нормативно-правовой базой различных видов страхования в РФ является *Гражданский кодекс Российской Федерации* (ч. 2, гл. 48) от 26.01.1996 № 14-ФЗ [44], а также *Закон «Об организации страхового дела в Российской Федерации»* от 27.10.1992 № 4015-1 [45].

В рамках рассматриваемого вопроса представляют интерес особенности экологического, социального и медицинского страхования.

В настоящее время в России отсутствует единый нормативный документ на федеральном уровне, регулирующий вопросы *экологического страхования*. Правовую базу экологического страхования составляет *Гражданский кодекс РФ*, а также *Федеральный закон «Об охране окружающей среды»* и *«Типовое положение о порядке добровольного экологического страхования в Российской Федерации»* (утв. Минприроды России 03.12.1992 № 04-04/72-6132, Российской государственной страховой компанией 20.11.1992 № 22) [46]. Экологическое страхование может осуществляться на обязательной и добровольной основе в целях защиты имущественных интересов, в том числе связанных с жизнью и здоровьем на случай экологических рисков. Под страховым случаем понимается внезапное, непреднамеренное нанесение ущерба окружающей природной среде в результате аварий, приведших к неожиданному выбросу загрязняющих веществ в окружающую среду. Страховое возмещение может включать в себя, в том числе, сумму убытков, связанную с ухудшением условий жизни и окружающей среды.

Основным законом, регулирующим отношения в сфере *социального страхования*, является *Федеральный закон «Об основах обязательного социального страхования»* от 16.07.1999 г. № 165-ФЗ [47].

Обязательное социальное страхование направлено на компенсацию или минимизацию последствий изменения

материального и (или) социального положения граждан, в том числе, в случаях наступления инвалидности, заболевания, травмы, профессионального заболевания и других событий. Видами страхового обеспечения по обязательному социальному страхованию в случае заболеваний являются оплата медицинской организации расходов, связанных с предоставлением застрахованному лицу необходимой медицинской помощи; пособие по временной нетрудоспособности. Более подробно вопросы социального страхования в случае заболеваний рассматриваются в *Федеральном законе «Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством» от 29.12.2006 г. № 255-ФЗ* [48], в котором оговариваются также размеры пособий по временной нетрудоспособности.

Следует отметить, что в отношении пособий по временной нетрудоспособности закон устанавливает ограничения на максимальный размер выплат в зависимости от стажа, условий работы и причины временной нетрудоспособности. Таким образом, нередко случаи заболевания работоспособных лиц связаны со снижением доходов вследствие недополучения заработной платы.

В настоящее время в России действует система **обязательного медицинского страхования** (ОМС), которая регулируется *Федеральным законом «Об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации» от 29.11.2010 г. № 326-ФЗ* [49], является видом обязательного социального страхования и направлена на обеспечение при наступлении страхового случая гарантий бесплатного оказания застрахованному лицу (физическому лицу) медицинской помощи в пределах территориальной и/или базовой программы ОМС (то есть с некоторыми ограничениями). Страховым случаем может являться заболевание, травма, иное состояние здоровья, профилактические мероприятия.

Наряду с этим, *Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»* устанавливает право граждан на получение платных медицинских и немедицинских услуг в необходимом объеме и более короткие сроки за счет средств работодателей, личных средств пациентов и иных средств на основании договоров, в том числе договоров ***добровольного медицинского страхования*** (ДМС).

Нередко граждане в случае заболеваний, кроме лекарств, оплачивают за свой счет и медицинские услуги.

Таким образом, законом установлена необходимость обеспечения качества атмосферного воздуха на городских и иных территориях, в жилых и иных помещениях для создания благоприятных условий жизнедеятельности, при которых отсутствует опасность вредного воздействия на здоровье. Закон предусматривает возможность возмещения ущерба вследствие вреда здоровью, причиняемого гражданам в результате внезапного, непреднамеренного (аварийного) загрязнения окружающей среды. Ущерб, обусловленный последствиями влияния фоновое (постоянного или частого) загрязнения атмосферы на здоровье граждан, не подлежит компенсации.

4.2.2. Правовое обеспечение применения хеджирования¹

Одним из возможных вариантов решения задачи снижения социально-экономических последствий для населения от загрязнения атмосферы является применение механизма возмещения финансовых потерь гражданам в результате повышенной заболеваемости (риска заболеваний) в условиях постоянного повышенного загрязнения воздуха на основе хеджирования.

Операция хеджирование широкое распространение получила в осуществлении финансовых процедур.

¹ Параграф подготовлен с участием В.П. Фетисова.

Применение механизма хеджирования в России регламентируется нормативно-правовыми актами:

Налоговым кодексом РФ (часть вторая, статья 301 «Срочные сделки. Особенности налогообложения») от 05.08.2000 г. № 117-ФЗ (ред. от 27.11.2017 г.) [50], разъясняющим понятия операции хеджирования и объекта хеджирования, основные положения порядка ведения учета прав требований (обязательств) при проведении операций хеджирования;

Положением «Отраслевой стандарт бухгалтерского учета хеджирования кредитными организациями» (утв. Банком России 28.12.2015 № 525-П, зарегистрированным в Минюсте России 01.02.2016 № 40910) [51];

Международным стандартом финансовой отчетности (IFRS) 9 «Финансовые инструменты» (введен в действие на территории Российской Федерации Приказом Минфина России от 27.06.2016 № 98н) [52].

Согласно *Налоговому кодексу Российской Федерации (часть вторая, статья 301 «Срочные сделки. Особенности налогообложения») от 05.08.2000 № 117-ФЗ*, дается следующее определение понятий «операция хеджирования», «объект хеджирования»:

«...под операциями хеджирования понимаются операции (совокупность операций) с финансовыми инструментами срочных сделок (в том числе разных видов), совершаемые в целях уменьшения (компенсации) неблагоприятных для налогоплательщика последствий (полностью или частично), обусловленных возникновением убытка, недополучением прибыли, уменьшением выручки, уменьшением рыночной стоимости имущества, включая имущественные права (права требования), увеличением обязательств налогоплательщика вследствие изменения цены, процентной ставки, валютного курса, в том числе курса иностранной валюты к валюте Российской Федерации, или иного показателя (совокупности показателей) объекта (объектов) хеджирования...

...под объектами хеджирования признаются имущество, имущественные права налогоплательщика, его обязательства, в том числе права требования и обязанности, носящие денежный характер, срок исполнения которых на дату совершения операции хеджирования не наступил, включая права требования и обязанности, осуществление (исполнение) которых обусловлено предъявлением требования стороны по договору и в отношении которых налогоплательщик принял решение о хеджировании».

Налоговый кодекс устанавливает условия отнесения операции к категории хеджирования: «Для подтверждения обоснованности отнесения операции (совокупности операций) с финансовыми инструментами срочных сделок к операции хеджирования налогоплательщик составляет на дату заключения данных сделок (первой из сделок – при заключении нескольких сделок в рамках одной операции хеджирования) по операции хеджирования справку, подтверждающую, что, исходя из прогнозов налогоплательщика, совершение данной операции (совокупности операций) позволяет уменьшить неблагоприятные последствия, связанные с изменением цены (в том числе рыночной котировки, курса) или иного показателя объекта хеджирования».

Для целей рассматриваемой задачи представляет интерес следующее:

- операция хеджирования осуществляется в целях уменьшения (компенсации) неблагоприятных для субъекта последствий операций, совершаемых в условиях возможного риска;
- объектом хеджирования признаются имущество, имущественные права субъекта, его обязательства, в том числе права требования и обязанности, срок исполнения которых на дату совершения операции хеджирования не наступил.

4.2.3. Возможности совершенствования правовой базы для повышения качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата на основе риск-менеджмента¹

Применение адресной компенсации финансовых потерь гражданам для снижения негативных социально-экономических последствий от экологически обусловленных заболеваний может быть реализовано лишь при создании соответствующей правовой базы. При этом вопросы правового обеспечения экологического страхования и вопросы социального и, в частности, медицинского страхования оказались в двух недостаточно увязанных между собой правовых пространствах. Тем не менее, и в том и другом случаях, приоритетной задачей является снижение риска для здоровья.

В связи с этим разработаны материалы для подготовки предложений по внесению изменений в российское законодательство для создания правового механизма социально-экономической защиты населения в условиях загрязнения окружающей среды (постоянного, не аварийного загрязнения) [36, 38].

Были определены основные направления решения задачи правового обеспечения снижения социально-экономических последствий загрязнения атмосферы, выраженных в финансовых потерях населения от экологически обусловленных заболеваний. В рамках этого подготовлен проект Федерального закона с рабочим названием «Об экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха» и пояснительная записка к проекту данного Федерального закона. Проект закона содержит главы, освещающие общие положения; страховую деятельность в сфере защиты населения от последствий постоянного воздействия загрязненного атмосферного воздуха; страховую сумму и

¹ Параграф подготовлен с участием В.П. Фетисова.

страховой взнос; страховые резервы и регрессное требование; заключительные положения. Проект закона регулирует отношения в сфере гражданско-правовой ответственности за причинение вреда здоровью физических лиц, обеспечивает страховую защиту жизни, здоровья и социально значимых интересов граждан в виде возмещения причиненного вреда здоровью.

Правовой основой законопроекта являются *Федеральный закон от 16 июля 1999 года № 165-ФЗ «Об основах обязательного социального страхования»*, *Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»*, *Федеральный закон от 4 мая 1999 года № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»*, *Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»*.

На основе анализа существующей законодательной базы определена целесообразность реализации механизма хеджирования как основы так называемого медико-экологического страхования и компенсации гражданам ущерба от экологически обусловленных заболеваний путем создания специализированного фонда.

С этой целью разработан проект Положения о Фонде обязательного экологического страхования населения, проживающего в условиях постоянного загрязнения атмосферного воздуха. В проекте данного документа содержатся общие положения и основные задачи Фонда, определены правовое положение и органы управления Фонда, а также источники образования средств, учет и отчетность Фонда, основные направления использования средств Фонда, предусмотрены условия прекращения его деятельности.

Разработан проект Типового положения договора об обязательном экологическом страховании населения, проживающего на территории с постоянным загрязнением атмосферного воздуха.

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.

ЛИТЕРАТУРА

К ГЛАВЕ 1

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.

2. Павлова Е.И. Экология транспорта: учебник и практикум для бакалавров / Е.И. Павлова, В.К. Новиков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015, 479 с.

3. Транспорт в России. 2018: Стат. сб. / Росстат. – Т65. – М.: 2018. – 101 с.

4. Леванчук А.В. Риск здоровью населения, проживающего в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса // Материалы Пленума Научного Совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды (17-18 декабря 2015 г.) / под ред. ак. РАН Ю.А. Рахманина. – М.: 2015, с. 233.

5. Локштанова А.С. Воздействие на атмосферный воздух газодобывающей и газотранспортирующей промышленности [Электронный ресурс] / А.С. Локштанова, Р.Л. Пялина; науч. рук. Н.А. Алексеев // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 27-31 мая 2013 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2013, т. 2, с. 183-186.

6. Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И. Загрязнение окружающей среды при добыче, транспортировке и переработке топлива и возможности его снижения // Региональная экология. – 2012, № 1-2 (33), с. 39-43.

7. Горбачев Д.Н., Чекмарева О.В. Влияние нефтяного месторождения на загрязнение атмосферного бассейна // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и

экологической безопасности: сб. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. (Оренбург, 18-20 нояб. 2019 г.). – Оренбург: ИП Востриков К «Полиарт», 2019, с. 198-201.

8. Блиновская Я.Ю., Мазлова Е.А. Выбросы парниковых газов при добыче и переработке угля: состояние проблемы и технологии сокращения // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2019, № 54, с. 145-154.

9. Лифановская С.Ю. Экологические аспекты добычи минерального сырья // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2009, № 10, с. 44-49.

10. Ефимов В.И. Производство и окружающая среда / В.И. Ефимов, Л.В. Рыбак // Уч. пос. – М.: ФГБОУ ВПО «Московский государственный горный университет», 2012. – 336 с.

11. Муравьев Я.Д. Вулканические извержения и климат // Вестник ДВО РАН. – 2007, № 2, с. 71-82.

12. Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 гг. на территории России и поступление черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. – 2016, т. 29, № 6, с. 482-487.

13. Гранберг И.Г. Физические механизмы и экологические проблемы загрязнения атмосферного пограничного слоя над неоднородными поверхностями: автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – М., 2009. – 54 с.

14. Ильина Н.И., Лусс Л.В., Назарова Е.В. Окружающая среда и аллергия // Медицинский оппонент. – 2019, № 2, с. 12-17.

15. Северова Е.Э. Дальнезаносная пыльца в аэропалинологическом спектре Москвы / Е.Э. Северова, Pilvi Sijlamo, C.Ambelas Skjoth // Сб. науч. тр. XII ежегодной всероссийской палинологической конференции. – СПб.: ВНИГРИ, 2008, т. 1, с. 185-190.

16. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2018 году / Под ред. И.А. Серебрицкого – СПб.: ООО «Сезам-принт», 2019. – 264 с.

17. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. – М.: ДПиООС, 2018. – 358 с.
18. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. – М.: ДПиООС; НИИПИ ИГСП: ООО «Студио Аррой», 2019. – 247 с.
19. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году». – Иркутск: АНО «КЦ Эксперт», 2018. – 340 с.
20. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. – М.: Росгидромет, 2020. – 97 с.
21. The Global Risks Report 2019, 14th Edition / World Economic Forum. Geneva. – P. 114.
22. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций / Под ред. С.К. Шойгу. – М.: Издательство «Феория», 2011. – 696 с.
23. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017. – 106 с.
24. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды Российской Федерации за 2019 год. – М.: Росгидромет, 2020. – 217 с.
25. Парижское соглашение [Электронный ресурс] / UN Climate Change (UNFCCC). – 2015. – Режим доступа: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf
26. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

27. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA, 1535 pp.

28. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 61 с.

29. Мохов И.И. Аномальное лето 2010 года в контексте общих изменений климата и его аномалий // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. Сборник докладов / Под ред. Н.П. Шакиной / ГУ «Гидрометцентр России» – М.: Триада, ЛТД, 2011, с. 41-47.

30. Мохов И.И. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне р. Амур в связи с климатическими изменениями // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур. Сборник докладов / Росгидромет – М.: ЗАО «Группа Мореп», 2014, с. 81-120.

31. Изменения климата России в 21-м веке (модели CMIP5) [Электронный ресурс] / ГГО им. А.И. Воейкова. – 2020. – Режим доступа: http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=613&Itemid=236&lang=ru

32. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

33. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере / Курс лекций. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.

34. Crutzen, P.J., and J.W. Birks (1982), The atmosphere after a nuclear war: Twilight at noon, *Ambio*, 11, p.114-125.

35. Aleksandrov, V.V., and G.L. Stenchikov (1983), On the modeling of the climatic consequences of the nuclear war, *Proc. Applied Math, Computing Centre, USSR Academy of Sciences, Moscow*, 21 pp.

36. Стенчиков Г.Л. Климатические последствия ядерной войны: выбросы и распространение оптически активных примесей в атмосфере. Сообщения по прикладной математике. М.: Вычислительный центр АН СССР, 1985. – 32 с.

37. Садоков В.П., Штейнбок Д.Б., Мелконян Р.А. Применение сопряженных уравнений к задаче моделирования глобального переноса атмосферной примеси. Труды ГМЦ СССР, 1978, вып. 204, с. 65-70.

38. Садоков В. П., Мелконян Г. А. Оценка осредненного загрязнения атмосферы в условиях рельефа Армении. Труды ГМЦ СССР, 1930, вып.222, с. 9-18.

39. Пененко В.В., Цветова Е.А. Математические модели для изучения рисков загрязнения природной среды // Прикладная механика и техническая физика. – 2004, т. 45, № 2, с. 136-146.

40. Макоско А.А., Матешева А.В. Оценки тенденций дальнего загрязнения атмосферы регионов российской Арктики в XXI в. // Арктика: экология и экономика. – 2017, № 4(28), с. 59-71. – DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-59-71.

41. Makosko A.A., Matesheva A.V. et al. On the trends of long-range air pollution in the territories of the Russian Federation in the 21st century. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 231, iss. 012032. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/231/1/012032>

42. Макоско А.А., Матешева А.В. К оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы при планировании пространственного развития России // Инновации. – 2019, № 8 (250), с. 27-32.

43. Кац А.Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. – Л.: ГИМИЗ, 1960. – 270 с.

44. Макоско А.А., Матешева А.В. Опыт идентификации источников химического загрязнения атмосферы в Московском регионе // Рос. хим. ж., 2016, т. LX, №3, с. 113-120.

45. Макоско А.А., Матешева А.В. Долгосрочный прогноз риска для здоровья вследствие техногенного и биогенного

загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата // Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата / Под общей ред. А.И. Григорьева; РАН. – М.: Наука, 2014, с. 251-267.

46. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.

47. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 592 с.

48. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

49. Saha, S., et al. 2010. NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6513W89>).

50. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6M043C6>).

51. Volodin, E.; Diansky, N. (2013). INMCM4 model output prepared for CMIP5 RCP8.5, served by ESGF. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ.

52. (<https://doi.org/10.1594/WDCC/CMIP5.INC4r8>).

К ГЛАВЕ 2

1. Григорьев А.И., Макоско А.А., Матешева А.В. Перспективы геомедицинских исследований в Российской академии наук // Наука в России. – 2012, № 2 (188), с. 4-12.

2. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) // Экология человека. – 2016, № 1, с. 9-14.

3. Риск заболевания населения от загрязнения атмосферы автотранспортом: Отчет по проекту ROLL «Выбросы автотранспорта и оценка риска заболеваний населения на городских территориях». – М.: ППКА «Экодизайн ЛТД», 2000. – 90 с.

4. Савилов Е.Д. Проявления инфекционной патологии в условиях загрязнения окружающей среды // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2007, № 2(54), с. 84-89.

5. Дыбунова Е.Л. Модестов А.А., Терлецкая Р.Н., Торшхоева Р.М. Распространенность аллергических заболеваний у детей, проживающих в различных эколого-географических условиях // Вопросы современной педиатрии, 2007, т.6, № 4, с. 12-16.

6. Немых В.Н., Пашков А.Н., Васильева Л.В. Экологически обусловленные болезни населения города Воронежа и Воронежской области // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья, 2003, № 14.

7. Орлова Г.П., Демидова С.В., Фридман К.Б., Лим. Т.Е. Влияние аэрополлютантов на соотношение неспецифического и атопического процессов при формировании болезней органов дыхания в экологических условиях Санкт-Петербурга // Биосфера. – 2010, т.2, № 4, с. 566-575.

8. Унгуряну Т.Н., Гржибовский А.М. Внутригодовая динамика загрязнения атмосферного воздуха и обращаемости за медицинской помощью по поводу болезней органов дыхания // Экология человека, 2011, № 6, с. 37-42.

9. Леванчук А.В. Гигиеническое обоснование воздействия дорожно-автомобильного комплекса на атмосферный воздух жилой территории: автореф. дис. ... докт. мед. наук: – СПб., 2017. – 48 с.

10. Епринцев С.А., Шекоян С.В., Тимошенко Д.С. Пространственная оценка экологически обусловленных заболеваний урбанизированных территорий на примере городского округа г. Воронежа // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы IV Международной научной конф. (Донецк, 29-31 окт. 2019 г.). – Донецк: Донецкий национальный университет, 2019, с. 216-219.

11. Филатов Я.Я., Аксенова О.И., Волкова И.Ф., Ефимов М.В., Корниенко А.П. Заболеваемость как критерий оценки влияния автотранспорта на здоровье населения Москвы. М.: ФГУ ЦГСЭН, 1997.

12. Кутепов Е.Н. Методические основы оценки состояния здоровья населения при воздействии факторов окружающей среды: автореф. дис. ... докт. мед. наук. – М., 1995. – 41 с.

13. Петров С.Б. Эколого-эпидемиологическая оценка влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на развитие болезней системы кровообращения // Экология человека. – 2011, № 2, с. 3-7.

14. Rudez G., Janssen N.A., Kilinc E. et. al. Effects of ambient air pollution on hemostasis and inflammation // Environmental health perspectives. – 2009, vol. 117(6), P. 995-1001.

15. Балабина Н.М. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на первичную заболеваемость взрослого городского населения анемиями // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005, № 1(39), с. 116-119.

16. Гегерь Э.В. Анализ влияния антропогенных факторов окружающей среды на экологически обусловленную заболеваемость населения, проживающего на территориях с различной степенью техногенного загрязнения // Вестник ОГУ. – 2009, № 12(106), с. 32-36.

17. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Горский А.И., Хаит С.Е. Анализ заболеваемости лейкозами детского населения России в зависимости от загрязнения окружающей среды техногенными источниками // Успехи современного естествознания. – 2006, № 1, с. 78-79.

18. 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.

19. Власов А.Д. Антропогенный канцерогенез как основная причина онкологической заболеваемости населения // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2009, т. 151, кн. 3, с. 247-254.

20. Практические вопросы детской гастроэнтерологии Санкт-Петербурга: сб. лекций и науч. работ / под ред. В.Л. Пайкова. – СПб., 1996. – 185 с.

21. Детская гастроэнтерология: избранные главы / Под ред. А.А. Баранова, Е.В. Климанской, Г.В. Римарчук. – М., 2002, с. 390-423.

22. 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.

23. Абдулнагимов И.Г., Сулейманов Р.А. Количественная оценка взаимосвязи показателей состояния здоровья населения, проживающего в районе размещения Башкирского биохимкомбината, и факторов среды // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005, № 2(40), с. 111-113.

24. 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.

25. 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.

26. Семечкина В.С. Влияние техногенного прессинга на показатель заболеваемости туберкулезом органов дыхания // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009, № 7(96), с. 7-13.

27. Ильина Н.И., Лусс Л.В., Курбачева О.М., Назарова Е.В., Павлова К.С., Артамонова М.С., Макоско А.А., Максименков Л.О., Матешева А.В. Влияние климато-экологических условий на заболеваемость аллергией // Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата / Под общей ред. А.И. Григорьева; РАН. – М.: Наука, 2014, с. 102-115.

28. Мартынов А.И., Ильина Н.И., Лусс Л.В., Мартынов А.А., Федоскова Т.Г., Андреев И.В. Особенности свойств пыльцы в регионе воздействия химического фактора // Российский аллергологический журнал. – 2011, № 6, с. 12-16.

29. Авалиани С.Л., Безпалько Л.Е., Бобкова Т.Е., Мишина А.Л. Перспективные направления развития методологии анализа риска в России // Гигиена и санитария. – 2013, №1, с. 33-35.

30. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: монография / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, И.В. Май [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. – М.: Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 738 с.

31. Унгуриану Т.Н., Новиков С.М., Бузинов Р.В., Гудков А.Б., Осадчук Д.Н. Риск для здоровья населения от химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в городе с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью // Гигиена и санитария. – 2010, №4, с. 21-24.

32. Чиркова А.А., Евдошенко В.С., Май И.В. Оценка и минимизация риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания в зоне влияния объектов нефтедобычи // Здоровье населения и среда обитания. – 2012, №5 (230), с. 17-19.

33. Корнилков А.С., Гурвич В.Б., Кузьмина Е.А., Привалова Л.И., Кузьмин С.В., Никонов Б.И. Многосредовая оценка канцерогенного риска для здоровья населения промышленно развитых городов Свердловской области // Здоровье населения и среда обитания. – 2013, №4 (241), с. 13-15.

34. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 254 с.

35. Мохов И.И. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне р. Амур в связи с климатическими изменениями // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур. Сборник докладов / Росгидромет – М.: ЗАО «Группа Море», 2014, с. 81-120.

36. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 61 с.

37. Ревич Б.А. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки / Б.А. Ревич, В.В. Малеев. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.

38. Мохов И.И. Аномальное лето 2010 года в контексте общих изменений климата и его аномалий // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года. Сборник докладов / Под ред. Н.П. Шакиной / ГУ «Гидрометцентр России» – М.: Триада, ЛТД, 2011, с. 41-47.

39. Ревич Б.А. Горячее лето 2010 г. и смертность населения Европейской части России: тезисы Всеросс. совещания «Состояние воздушного бассейна г. Москвы в экстремальных погодных условиях лета 2010 г.» (г. Москва, 25 ноября 2010 г.). – М.: ИФА РАН, 2010, с. 34.

40. Зенченко Т.А. Методика анализа временных рядов данных в комплексной оценке метео- и магниточувствительности организма человека // Экология человека. – 2010, № 2, с. 3-11.

41. Куличков С.Н., Алехин А.И., Овсянникова О.В., Буш Г.А. Влияние вариаций атмосферного давления на состояние пациентов с сердечно-сосудистой патологией / Фундаментальные науки – медицине: Тез. докл. на конференциях и семинарах по научным направлениям программы в 2010 году. М.: Фирма «Слово», 2010, с. 223.

42. Мироновская А.В. Унгурияну Т.Н., Гудков А.Б. Гигиенические аспекты развития неотложных состояний в связи с болезнями органов дыхания // Экология человека. – 2011, № 2, с. 8-12.

43. Бреус Т.К. Влияние «космической» погоды на биологические объекты // Земля и Вселенная. 2009. № 3, с. 53-61.

44. Гранберг И.Г., Голицын Г.С., Истошин Н.Г., Гинзбург А.С., Ефименко Н.В., Рогоза А.Н., Алёхин А.И., Поволоцкая Н.П., Ревич Б.А., Семутникова Е.Г., Беликов И.Б., Максименков Л.О., Рубинштейн К.Г., Матешева А.В. Исследование влияния резких изменений погодных условий (в том числе загрязнения атмосферы) на этиологию и патогенез основных социально значимых заболеваний в мегаполисе (на примере юго-западной части Москвы) / Фундаментальные науки – медицине: Материалы конференции. Москва, 3-4 декабря 2007 г. – М.: Фирма «Слово», 2007, с. 46-47.

45. Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И., Ревич Б.А. Температура воздуха и смертность: исследование пороговых значений жары и чувствительности населения на примере г. Ростов-на-Дону // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019, № 2, с. 66-94.

46. Ильина Н.И., Лусс Л.В., Курбачева О.М., Назарова Е.В., Павлова К.С. Влияние климатических факторов на спектр и структуру аллергических заболеваний на примере Московского региона // РАЖ. – 2014, № 2, с. 25–31.

47. Омельяновский В.В., Авксентьева М.В., Деркач Е.В., Свешникова Н.Д. Методические проблемы анализа стоимости болезни // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2011, № 1, с. 42-50.

48. Ягудина Р.И., Куликов А.Ю., Литвиненко М.М. Здоровоохранение – к доступности через расчет // Ремедиум. – 2011, № 2, с. 61-63.
49. Струкова Е.Б., Балбус Дж., Голуб А.А. Риск для здоровья и экономическая оценка ущерба от загрязнения воздуха в России // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / Под ред. Б.А. Ревича. – М., 2006, с. 141-175.
50. Жужлова Н.Ю., Еругина М.В., Сазанова Г.Ю., Кром И.Л. Социально-экономические проблемы доступности медицинской помощи пациентам с артериальной гипертензией // Здоровоохранение Российской Федерации. – 2016, № 6, с. 284-287.
51. Мокроносова М.А. Поллиноз и семейный бюджет // Российский аллергологический журнал. – 2011, № 4, с. 79-83.
52. Курбачева О.М. Фармакоэкономический анализ аллерген-специфической иммунотерапии // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2007, № 3, с. 8-15.
53. Просекова Е.В., Деркач В.В., Шестовская Т.Н., Гельцер Б.И. Экономические затраты и медицинские проблемы при аллергических заболеваниях у детей в Приморском крае // Дальневосточный медицинский журнал. – 2008, № 2, с. 115-119.
54. Здоровоохранение в России. 2019: Стат. сб. /Росстат. – М., 2019. – 170 с.
55. Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания: МР 5.1.0029-11: утв. Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации 31 июля 2011 г.: введ. 31 июля 2011 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 24 с.
56. Ефимова Н.В., Никифорова В.А. Оценка величины экономического ущерба, вызванного неблагоприятным состоянием здоровья населения промышленного города // Вестник Санкт-Петербургского университета. – Сер. 11. – 2008, вып. 4, с. 196-201.

57. Порфирьев Б.Н., Абалкина И.Л., Демин В.Ф., Новиков С.М. Экономические параметры оценки риска для расчета ущерба, обусловленного воздействием на здоровье населения разных факторов вреда // Актуальные проблемы регулирования природной и техногенной безопасности в XXI веке: Сб. материалов X Межд. научно-практ. конф. по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций; МЧС России. – М.: Изд-во Ин-октаво, 2005, с. 300-306.

К ГЛАВЕ 3

1. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу / Под ред. В.М. Катцова, Б.Н. Порфирьева. – Москва: Д'АРТ, 2011. – 252 с.

2. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017. – 106 с.

3. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. – СПб.: «Издательство Кириллица», 2015. – 256 с.

4. Яковлева Е.Н., Яшалова Н.Н., Рубан Д.А., Васильцов В.С. Методические подходы к оценке природно-климатических рисков в целях устойчивого развития государства // СПб.: Ученые записки РГГМУ. – 2018, № 52, с. 120-137.

5. Макоско А.А., Матешева А.В. О тенденциях дальнего загрязнения атмосферы территорий Российской Федерации в XXI веке // Турбулентность, динамика атмосферы и климата / Под ред. Голицына Г.С., Мохова И.И., Куличкова С.Н., Курганского М.В., Репиной И.А., Чхетиани О.Г., 2018. – М.: Физматкнига, с. 363-368.

6. Makosko A.A., Emelina S.V., Matesheva A.V. Evaluation of changing weather and climate comfort conditions in Russia from

1980 to 2050 // *Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics / IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences*, 231 (2019) 012015, pp. 1-7.

7. Макоско А.А., Матешева А.В. Оценка тенденций дальнего загрязнения атмосферы Арктической зоны России в 1980-2050 гг. с учетом сценариев изменения климата // *Арктика: экология и экономика*. – 2020, № 1 (37), с. 45-52.

8. Макоско А.А., Матешева А.В. Методика индексирования динамики загрязнения атмосферы для оценки экологической безопасности при стратегическом планировании развития регионов // *Инновации*. – 2017, № 10, с. 76-80.

9. Макоско А.А., Матешева А.В. К оценке тенденций дальнего загрязнения атмосферы при планировании пространственного развития России // *Инновации*. – 2019, № 8, с. 27-32.

10. Порфирьев Б.Н., Воронина С.А., Семикашев В.В. и др. Последствия изменений климата для экономического роста и развития отдельных секторов экономики российской Арктики // *Арктика: экология и экономика*. – 2017, № 4 (28), с. 4-17.

11. Air Toxics Hot Spots Program. Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments / M.A. Marty, D. Siegel. California: EPA. February, 2015, 231 p.

12. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920-04: утв. Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации 5 марта 2004 г.: введ. 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 340 с.

13. Авалиани, С.Л., Андрианова М.М., Печенникова Е.В., Пономарева О.В. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). – М.: 1996. – 159 с.

14. Новиков, С.М. Химическое загрязнение окружающей среды: основы оценки риска для здоровья населения. – М., 2002. – 24 с.

15. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Количественная оценка неканцерогенного риска при воздействии химических веществ на основе построения эволюционных моделей: МР 2.1.10.0062-12. 2.1.10: утв. Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации 2 мая 2012 г.: введ. 2 мая 2012 г.

16. Зайцева Н.В., Шур П.З., Май И.В., Кирьянов Д.А. К вопросу о применении прогнозирования эволюции риска здоровью в гигиенических оценках // Гигиена и санитария. – 2016, т. 95, № 1, с. 106-112.

17. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment: Risk Assessment Forum // U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 2005. Available at: https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf.

18. Air Toxics Hot Spots Risk Assessment Guidelines Part II: Technical Support Document for Cancer Potency Factors. California EPA. May. 2009.

19. U.S. EPA, 2007a. Integrated Risk Information System (IRIS) Database // United States Environmental Protection Agency. Available at: <http://www.epa.gov/IRIS/>

20. Air Toxics Hot Spots Risk Assessment Guidelines: Technical Support Document for the Derivation of Noncancer Reference Exposure Levels. California EPA. June. 2008.

21. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Макухин В.Л., Ходжер Т.В., Чипанина Е.В. Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала // Оптика атмосф. и океана. – 2017, т. 30, № 1, с. 60-65.

22. Воздействие взвешенных частиц на здоровье: Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии / Всемирная организация здравоохранения, Европейское региональное бюро. – 2013. – 15 с. (ISBN: 978 92 890 0006 2)

23. Saha, S., et al. 2010. NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6513W89>).

24. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 2000, updated daily. NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. (<https://doi.org/10.5065/D6M043C6>).

25. Volodin, E.; Diansky, N. (2013). INMCM4 model output prepared for CMIP5 RCP8.5, served by ESGF. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. (<https://doi.org/10.1594/WDCC/CMIP5.INC4r8>).

26. Замай С.С., Якубайлик О.Э. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: Учеб. пособие / Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 1998. – 109 с.

27. Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 352 с.

28. Анискина О.Г., Панин Б.Д. Исследование чувствительности дискретной прогностической модели с помощью уравнений в вариациях: межвуз. сб. / ЛГМИ. – Л., 1992, вып. 114, с. 4-11.

29. Макоско А.А., Ланец В.М., Баранов П.Б. Модель метеорологических последствий интенсивного антропогенного воздействия на атмосферу (постановка задачи) // Моделирование и определение геофизических полей. – СПб.: 4 ЦНИИ МО РФ (РГГМИ), 1996, с.13-22.

30. Macosco, A.A. Study of sensitivity of Hydrodynamic Model of Large-scale Catastrophes Geophysical Consequences Using Equations in variations / A.A. Macosco, B.D. Panin, O.G. Aniskina //

Res. Activ. in Atmos. and Ocean. Model., WMO/Td-№. 792, Geneva, January, 1997, № 25, p. 2.24-2.26.

31. Макоско А.А., Матешева А.В. Методические основы долгосрочного прогноза риска здоровью населения мегаполиса при техногенном загрязнении атмосферы // Инновации. – 2009, № 10, с. 46-50.

32. Матешева А.В. Экологические риски и их прогноз // Мир транспорта. – 2010, № 2, с. 136-141.

33. Макоско А.А., Матешева А.В. Долгосрочный прогноз риска для здоровья вследствие техногенного и биогенного загрязнения атмосферы в условиях изменяющегося климата / Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата // Под общ. ред. академика А.И. Григорьева; РАН. – М.: Наука, 2014, с. 251-268.

34. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. Гл. редакция физ.-мат. литературы, 1982. – 320 с.

35. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.

36. Самарский А. А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука. Гл. редакция физ.-мат. литературы, 1978. – 592 с.

37. Буйков М.В. О граничном условии для уравнения турбулентной диффузии на подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология. – 1990, № 9, с. 52-56.

38. Макоско А.А. Глобально-региональная модель оценки загрязненности атмосферы и подстилающей поверхности // 2-я НПК «Экологическая безопасность транспортных магистралей»: Тез. докл. – М.: МГУПС (МИИТ), 1998, с.44-45.

39. Климат, погода, экология Москвы / Под ред. Ф.Я. Клинова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1995. – 438 с.

40. Берлянд М.Е., Безуглая Э.Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 328 с.

41. Шмайдман В.А., Фоскарино О.В. Моделирование пограничного слоя и макротурбулентного обмена в атмосфере. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 160 с.

42. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2005 году». – М.: АНО «Центр международных проектов», 2006.

43. Риск заболевания населения от загрязнения атмосферы автотранспортом: Отчет по проекту ROLL «Выбросы автотранспорта и оценка риска заболеваний населения на городских территориях». – М.: ППКА «Экодизайн ЛТД», 2000. – 90 с.

44. Берглезова Л.Н., Сердюкова О.Ф., Завгородняя В.В. Применение оценки риска для определения влияния факторов окружающей среды на здоровье населения Северного административного округа города Москвы // ФГУ ЦГСЭН в CAO г. Москвы.

45. Официальный сайт Института вычислительной математики РАН [электронный ресурс]: данные совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН. Электрон. дан. М.: ИВМ РАН, 2008. Режим доступа: http://ksv.inm.ras.ru/GCM_DATA_PLOTTING/GCM_INM_DATA.html.

46. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

47. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2016. – 639 с.

48. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году». – М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы, 2016. – 271 с.

49. Катцов В.М. Исследование динамики климата высоких широт с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана: автореферат дис. ... докт. физ.-мат. наук: - СПб., 2006. – 40 с.

50. De Freitas C. Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. *Int J. Biometeorol*, 2003(48): p. 45-54.

51. World Health Organisation (WHO) (2011) Regional consultation on health of the urban, *Proceedings of the 2010 Regional consultation of Mumbai, India, Regional Office for South East Asia, UNFPA*, p: 82.

52. Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения / Москва. Геос. 2012. – 156 с.

53. Misenard A. *L'Homme et le climat* / Paris. 1937. – pp. 186.

54. Исаев А.А. Экологическая климатология / Москва. Научный мир, 2001. – 456 с.

55. Алисов Б.П. Климат СССР / Москва. Высшая школа. 1969. – 104 с.

56. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

57. Махутов Н.А., Абросимов Н.В., Гаденин М.М. Обеспечение безопасности – приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2013, №3 (27), с. 46-71.

58. Махутов Н.А. Ахметханов Р.С. Системный подход к оценке и управлению рисками // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций / ВИНТИ. – 2012, №5, с. 56-68.

59. Голицын Г.С., Васильев А.А. Изменение климата и его влияние на частоту экстремальных гидрометеорологических явлений / Метеорология и гидрология. – 2019, №11, с. 9-12.

К ГЛАВЕ 4

1. Жуковская М.В. Рынок производных ценных бумаг: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 39 с.

2. Матешева А.В. О возмещении ущерба здоровью населения в городах Арктической зоны Российской Федерации от загрязнения атмосферного воздуха // Арктика: экология и экономика. – 2017, № 3 (27), с. 111-117.

3. Макоско А.А., Матешева А.В. Медико-экологическое страхование как форма социально-экономической адаптации к неблагоприятному влиянию окружающей среды / Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата // Под общ. ред. академика А.И. Григорьева; РАН. – М.: Наука, 2014, с. 414-426.

4. 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.

5. Методические рекомендации к экономической оценке рисков для здоровья населения при воздействии факторов среды обитания: МР 5.1.0029-11: утв. Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации 31 июля 2011 г.: введ. 31 июля 2011 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 24 с.

6. Анискина О.Г., Панин Б.Д. Исследование чувствительности дискретной прогностической модели

с помощью уравнений в вариациях: межвуз. сб. / ЛГМИ. – Л., 1992, вып. 114, с. 4-11.

7. Air Toxics Hot Spots Program. Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments / M.A. Marty, D. Siegel. California: EPA. February, 2015. 231 p.

8. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920-04: утв. Главным гос. санитарным врачом Рос. Федерации 5 марта 2004 г.: введ. 5 марта 2004 г. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 340 с.

9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. Гл. редакция физ.-мат. литературы, 1982. – 320 с.

10. Hull J.C. Options, futures and other derivatives. New York: Prentice Hall, 1997.

11. Дмитриева М.А. Российский рынок деривативов и возможности для хеджирования на нем валютных и процентных рисков // Сибирская финансовая школа. – 2016 № 2(15), с. 74-78.

12. Сажина М.А. Деривативы как финансовые операции // Экономические науки. – 2016, № 136, с. 7-11.

13. Kidwell D.S., Peterson R.L., Blackwell D.W. Financial institutions, markets, and money. The Dryden Press, F.W., 2000. p. 283-306.

14. Che Mohd Imran Che Taib, Fred Espen Benth Pricing of temperature index insurance. Review of Development Finance. Vol. 2(1). Jan.-March 2012, p. 22-31.

15. Кавкин А. Новые способы страхования кредитного риска с помощью производных инструментов // Финансовый бизнес. – 2000, №8, с. 37-43.

16. Макоско А.А., Гинзбург А.С., Солдатенко С.А., Матешева А.В. Использование производных финансовых

инструментов для уменьшения погодных рисков // Инновации. – 2006, № 6 (91), с. 61-70.

17. Макоско А.А., Гинзбург А.С., Матешева А.В. Хеджирование в системе мер по адаптации населения к изменяющимся погодно-климатическим и экологическим условиям // Динамика и математическое моделирование геофизических и гидрометеорологических процессов. Т. 7 / Отв. ред. А.А. Макоско // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы: В 8 т. / Пред. ред. кол. Н.П. Лаверов; РАН: – М.: ИФЗ РАН, 2008, с. 244-263.

18. Гинзбург А., Ольхов В. Сколько стоят капризы погоды? // Риск-менеджмент. – 2008, т.1, № 1-2, с. 60.

19. Warren H.E. LeDuc S.K. Impact of climate on energy sector in economic analysis. J. Applied Meteorology. 1981. V.20, p. 1431-1439.

20. Quayle R.G., Diaz H.F. Heating degree day data applied to residential heating energy consumption. J. Applied Meteorology. 1980. V.19, p. 241-246.

21. Jenkin T. Stabilizing earnings from the impact of weather: choosing the right contracts at the right price. Lukens Energy Group. Huston, Texas, 2002. – 18 pp.

22. Макоско А.А., Матешева А.В. О хеджировании рисков для здоровья населения в условиях постоянного воздействия загрязненного воздуха // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2010, № 4, с. 374-382.

23. Красовский Н.В. Классификация инструментов хеджирования валютных рисков // Вестник Саратовского гос. социально-экономического университета. – 2012, № 1(140), с. 130-132.

24. Леванчук А.В. Гигиеническое обоснование воздействия дорожно-автомобильного комплекса на атмосферный воздух жилой территории: автореф. дис. ... докт. мед. наук. – СПб., 2017. – 48 с.

25. Марчук Г.И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 303 с.

26. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.

27. Пененко В.В., Цветова Е.А. Качество окружающей среды: обнаружение источников загрязнения и оценка эмиссии // Вычислительные технологии. 2006, т. 11. Избранные доклады Междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2006 (Томск, Россия), ч. 2, с. 145-155.

28. Наац В.И. Вычислительная модель обратной коэффициентной задачи для уравнения переноса загрязняющих примесей в атмосфере / Изв. вузов. Сев.-Кавказ. рег. Естеств. науки. Прил. 3 – Ростов-на-Дону, 2005, с. 21-34.

29. Рапута В.Ф. Комплекс малопараметрических моделей мониторинга загрязнения окружающей среды: дисс... д-ра физ.-мат. наук. – Новосибирск, 2006. – 253 с.

30. Панасенко Е.А., Старченко А.В. Определение городских районов – загрязнителей атмосферного воздуха по данным наблюдений / Оптика атмосферы и океана. – 2009, т. 22, № 3, с. 279-283.

31. Макоско А.А. Идентификация распределенных источников загрязнения окружающей среды / 2-я НПК «Экологическая безопасность транспортных магистралей». Тез. докл. – М.: МГУПС (МИИТ), 1998, с. 37.

32. 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.

33. Матешева А.В. Идентификация источников аварийных выбросов в атмосферу на железнодорожном транспорте //

Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2017, № 4, с. 58-65.

34. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 271с.

35. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.

36. Макоско А.А., Матешева А.В., Фетисов В.П. Правовое обеспечение снижения социально-экономических последствий загрязнения атмосферы, выраженных в финансовых потерях населения от экологически обусловленных заболеваний // Инновации. – 2013, № 9 (179), с. 99-107.

37. Апатцев В.И., Матешева А.В. Нормативно-правовое обеспечение снижения социально-экономических последствий для работников от загрязнения атмосферы // Наука и техника транспорта. – 2017, № 3, с. 51-54.

38. Макоско А.А., Матешева А.В., Фетисов В.П. Повышение качества жизни населения в условиях загрязнения атмосферы и изменения климата. – М.: РАН, 2017. – 27 с.

39. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]: принята всенародным голосованием 12 дек. 1993 г. с изменениями, одобренными в ходе всероссийского голосования 01.07.20. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

40. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 10 янв. 1999 г. № 7-ФЗ (ред. от 29 дек. 2017 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

41. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (ред. от 13 июля 2015 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

42. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации

от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ (ред. от 5 дек. 2017 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

43. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ (ред. от 29 июля 2017 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

44. Гражданский кодекс Российской Федерации часть 2 [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 26 янв. 1996 г. № 14-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

45. Об организации страхового дела в Российской Федерации [Электронный ресурс]: закон Рос. Федерации от 27 ноября 1992 г. № 4015-1 (ред. от 31 дек. 2017 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

46. Типовое положение о порядке добровольного экологического страхования в Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. Минприроды РФ 3 дек. 1992 № 04-04/72-6132; Рос. гос. страховой компанией 20 ноября 1992 № 22. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

47. Об основах обязательного социального страхования [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 16 июля 1999 г. № 165-ФЗ (ред. от 3 июля 2016 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

48. Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 29 дек. 2006 г. № 255-ФЗ (ред. от 1 мая 2016 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

49. Об обязательном медицинском страховании в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 29 ноября 2010 г. № 326-ФЗ (ред. от 28 дек. 2016 г.). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

50. Гражданский кодекс Российской Федерации часть 2 [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 5 авг.

2000 г. № 117-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

51. Положение «Отраслевой стандарт бухгалтерского учета хеджирования кредитными организациями» [Электронный ресурс]: утв. Банком России 28 дек. 2015 г. № 525-П. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

52. Международный стандарт финансовой отчетности (IFRS) 9 «Финансовые инструменты» [Электронный ресурс]: введ. Приказом Минфина России 27 июня 2016 г. № 98н. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

"

" "ZZK"

<"

Формат 70х90 1/16
Гарнитура Times
Усл.-п. л. 18,9. Уч.-изд. л. 8,9
Тираж 300 экз

Издатель – Российская академия наук

Отпечатано в экспериментальной цифровой
типографии РАН
Издается по решению
Научно-издательского совета Российской академии наук
(НИСО РАН)
и распространяется бесплатно