

УДК 504.058

МАНАНКОВ АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, докт. геол.-мин. наук, профессор,  
tav.39@mail.ru

ГОЦИРИДЗЕ ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА, аспирант,

olga070713@yandex.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

В статье территория города разделена на геоэкологические зоны с учетом геодинамических, геоморфологических, архитектурно-планировочных особенностей. Проведено важное для экологического градостроительства ранжирование территории по уровням канцерогенного риска при ингаляционном поступлении формальдегида, бенз(а)пирена и сажи. Полученные статистически значимые результаты будут полезны при выполнении обязательных инженерно-экологических изысканий для строительства.

**Ключевые слова:** экологическое градостроительство; ранжирование территории; канцерогенный риск; мониторинг.

ANATOLII V. MANANKOV, DSc, Professor,  
tav.39@mail.ru

OLGA A. GOTSIRIDZE, Research Assistant,

olga070713@yandex.ru

Tomsk State University of Architecture and Building,  
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

## SYSTEMS ANALYSIS OF GEOECOLOGICAL FACTORS OF URBAN PLANNING

The paper presents the city territory divided into geoecological zones with account for geodynamic, geomorphological, architectural and planning features. The territory ranking, important for the ecological urban planning is performed by levels of carcinogenic risk caused by inhalation of formaldehyde, benzapyrene and soot. The obtained statistical results can be successfully used in the environmental survey for construction and urban planning.

**Keywords:** ecological urban planning; territory ranking; carcinogenic risk; monitoring.

### Введение

Город – сложная система, в которой зависимости между ее элементами не могут быть описаны линейными функциями. Процессы, протекающие в сложных системах, слабо детерминированы, чаще стохастичны. Сложные системы характеризуются наличием цепей обратной связи – положительных и отрицательных – между взаимообусловленно влияющими друг на друга элементами систем. Системный анализ факторов урбанизированных зон начался с исследований выдающегося ученого Дж. Форрестера.

В основу методологии изучения динамики развития города положен следующий постулат: каждое состояние объектов и компонентов природно-техногенной системы (ПТС), включая урбанизированные, определяется всей историей существования этой системы, всем множеством взаимных связей, природных, антропогенных и техногенных факторов, влияющих на состояние этой системы. Изменение состояний происходит либо стихийно (катастрофически), либо эволюционно, когда целый ряд воздействий на протяжении значительного интервала времени накапливается в системе, аккумулируется [4].

Городское население мира и Российской Федерации постоянно увеличивается, в 2015 г., согласно данным Федеральной службы государственной статистики, в нашей стране городское население составило 74,14 % от общего населения страны. Города растут, развиваются, появляются новые кварталы, спальные районы, увеличивается промышленное производство, меняется инфраструктура, увеличивается автотранспортное движение и меняется его «характер», на месте малоэтажных районов появляются высотные здания, и, как следствие, происходят кардинальные изменения слагаемых ПТС: изменяется геоморфология, микроклимат, характер растительности, меняется ветровой и влажностный режимы [1, 2]. Человек – неотъемлемая часть урбанизированной среды, а значит, и ПТС, уровень жизни и состояние здоровья населения напрямую зависят от качества природно-техногенного окружения и многообразия прямых и обратных связей между окружающей средой и человеком как биологическим и социальным существом [3].

#### Актуальность

Современное градостроительство, начиная с проекта и на последующих стадиях жизненного цикла, должно соответствовать действующему законодательству, нормативным документам и при этом обеспечивать комфортные условия для людей. Важно спланировать и провести комплексный геоэкологический мониторинг и по результатам его анализа продумать технологию и организацию строительства, добиваясь оптимальных результатов, обеспечивающих геоэкологическое равновесие, в рамках принятой в 1987 г. доктрины ООН об «устойчивом развитии» (sustainable development).

В статье представлены статистически значимые результаты изучения атмосферы г. Томска как наиболее динамичной части ПТС на основе использования идей прикладного системного анализа с учетом следующих факторов и компонентов целостной, способной к саморазвитию ПТС: геодинамических, геоморфологических, радиогеохимических, архитектурно-планировочных, метеорологических, эколого-медицинских, которые оказывают воздействие на атмосферу и вместе с тем составляют саморазвивающуюся единую систему с прямыми и обратными связями.

Такой комплексный подход к проблемам геоэкологии города был начат в 1972 г. в лаборатории экспериментальной минералогии и геохимии Томского государственного университета А.В. Мананковым с сотрудниками [12], в последующие годы он развивался и совершенствовался методически и методологически [4–8, 10].

В нашей стране, несмотря на увеличение продолжительности жизни (средний возраст на 2016 г. составляет 72,1 по сравнению с 1995 г. увеличился на 7,6 лет), количество заболевшего населения (в том числе за счет крайне высоких показателей смертности от новообразований) возрастает, все более актуальными становятся проблемы геоэкологической медицины, касающиеся связи факторов среды обитания и здоровья населения, уменьшения рисков и ущерба здоровью людей.

Разработка научных методик оценки риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения является относительно новым и активно развивающимся междисциплинарным направлением. Современная методология оценки экогеохимического риска связана с идеями системного анализа и моделирования многосредового воздействия химических веществ [9]. Реализация этого метода позволяет не только оценить санитарно-гигиеническое благополучие территории, но и дает возможность применять результаты данной оценки к решению задач инженерно-экологических изысканий для обоснования прединвестиционной документации и принятия объемно-планировочных и пространственных решений, гарантирующих минимизацию экологической опасности<sup>1</sup>.

Использование методологии оценки риска впервые было закреплено законодательно в 1997 г. Постановлением Главного государственного врача РФ по охране природы «Об использовании оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации» (от 10.11.1997 г. № 25, 03-19/24-3486). Согласно этому документу, оценка риска для здоровья человека – это количественная и/или качественная характеристика вредных факторов, развивающихся или способных развиваться в результате существующего или возможного воздействия факторов окружающей среды на конкретную группу людей при специфических, определяемых региональными особенностями условиях экспозиции<sup>2</sup>. Ключевое звено концепции риска – здоровье человека и его охрана от неизбежного риска, связанного с воздействием токсических и канцерогенных веществ, мигрирующих и накапливающихся в воздухе, воде, почве, горных породах. Комплексная оценка риска при таком подходе становится главной. Основной задачей оценки риска является определение динамики внешних и внутренних природных, антропогенных и техногенных опасностей, зонирование территории и предсказание ЧС и ущербов, предотвращение и устранение угрозы здоровью человека.

Воздушная атмосфера является важным, наиболее динамичным компонентом в межгеосферных взаимодействиях на урбанизированных территориях.

### **Оценка экогеохимического риска**

Оценка риска состоит из нескольких этапов. На начальном этапе проводится идентификация опасностей, с учетом конкретных задач формируется концептуальная комплексная геоэкологическая модель исследуемой территории и выделяются основные маршруты и пути воздействия химических веществ.

---

<sup>1</sup> СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства.

<sup>2</sup> Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р. 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. 273 с.

Городские массивы, как правило, простираются на многие километры и весьма неоднородны по геоморфологическому строению, геодинамике, характеру промышленной и жилищной застройки, по соотношению так называемых проницаемых и непроницаемых поверхностей, по интенсивности дорожного движения и другим признакам. Город Томск не исключение. Территория Томска по геологическим, геоморфологическим и физико-географическим условиям крайне неоднородна и является потенциально опасной по развитию экзогенных процессов, вызванных воздействием техносферы города на геологическую среду. Это воздействие ускоряет развитие существующих процессов изменения геологической среды (оползнеобразование, оврагообразование и др.).

Город расположен на сочленении двух крупных геологических комплексов: Томь-Кольванской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты. Первый слагает палеозойский фундамент территории и состоит из метаморфических сланцев и прорывающих их магматических тел. Второй комплекс представлен перекрывающими палеоген-четвертичными осадочными породами платформенного чехла. На территории города развита система крупных тектонических трещин северо-восточного простирания: выделяются тектонические разломы первого порядка (Городской, Конининский и Ушайкинский) с опережающими трещинами, а также несколько разломов второго и третьего порядков, к которым приурочены долины правых притоков р. Томи, палеоруслу, отражающие геолого-тектонические особенности территории. В целом, общей особенностью гидрогеологического строения территории является вложенный в дизъюнктивные разломы характер долин и речных террас [10]. Характер геологического строения обусловил природный ландшафт города, который относится к среднегорному рельефу с четко выраженным блоково-ступенчатым строением и с перепадами высот до 250 м. В результате территория города представляет типичный холмисто-болотистый рельеф. Холмистость и речная сеть играют основополагающую роль в развитии структуры города, образовании селитебных зон, промышленных площадок, транспортной сети и зон отдыха.

#### **Анализ факторов и результаты**

Для наглядности авторами была выполнена 3D карта-схема рельефа г. Томска. Использовался программный продукт OziExplorer и OziExplorer3D, применяемый для работы с растровыми картами. Для построения карты использовались данные GPS. На готовую 3D карту-схему были нанесены ландшафтно-исторические районы города, стационарные пункты наблюдения за загрязнениями (ПНЗ) и откартированы в 3D варианте выделенные авторами ранее [5–7] геоэкологические зоны (рис. 1). Геоэкологическая зона – это часть территории единой системы, отличающейся по своему геологическому, геодинамическому, физико-географическому строению, расположению хозяйственных объектов и жилых кварталов, а также транспортных магистралей.

Возвышенные холмистые части при прочих равных условиях (структура города, этажность, метеопараметры), как правило, оказываются более чистыми, а между холмами – в болотисто-низменных участках происходит накопление концентраций ЗВ за счет инверсионных процессов в атмосфере [6].

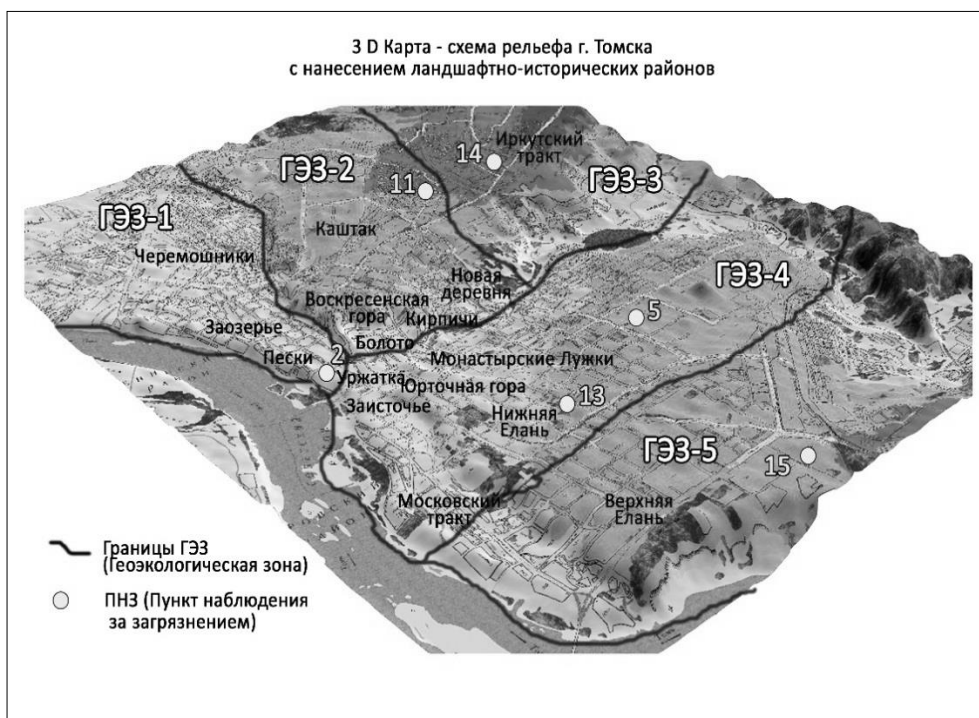


Рис. 1. 3D Карта-схема рельефа города Томска с нанесением ландшафтно-исторических районов и геоэкологических зон [4]

Автомобильный транспорт является одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха, в последнее время на территории России и в г. Томске становится ясной его лидирующая роль среди других источников загрязнения. Транспортная система Томска включает различные виды транспорта: автомобильный, автобусный, троллейбусный, железнодорожный. Протяженность улично-дорожной сети составляет 800,5 км, из которых 568,6 км – дороги с твердым покрытием. Томск занимает 32-е место среди городов России по количеству легковых автомобилей – это более 147,5 тыс. машин. Более 65 % из них – иномарки<sup>3</sup>.

Современный объем транспорта никак не соответствует количеству и качеству дорог. В городе практически нет специальных магистралей, обладающих высокой пропускной способностью. Несмотря на появившиеся в городе новые развязки (ул. Пушкина) и магистрали (ул. Балтийская, Ключева), суточная интенсивность машинопотока (данные по машинопотокам взяты из научно-технических отчетов кафедры автомобильных дорог ТГАСУ) на этих магистральных улицах продолжает увеличиваться (табл. 1). Согласно проведенным ранее исследованиям [4, 5] практически на всех магистралях города содержание основных и специфических поллютантов превышает ПДК.

<sup>3</sup> Томская область: Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://www.gibdd.ru/r/70/stat>

Таблица 1

**Динамика интенсивности наиболее загруженных перекрестков  
на территории г. Томска**

Наиболее загруженные транспортные узлы	Среднесуточная интенсивность, тыс. машин	
	2006 г.	2015 г.
Ж/д переезд на ул. Смирнова	До 24	До 40
Пересечение пр. Комсомольский – ул. Сибирская	До 35	До 50
Площадь Южная и Транспортная	До 26	До 70
Пересечение ул. Шевченко – ул. Елизаровых	До 9	До 45
Улица Пушкина (развязка)	До 45	До 69

Были выделены геоэкологические зоны (ГЭЗ) с особо загрязненными магистралями: это ГЭЗ-1 (в конце пр. Ленина), ГЭЗ-3 (ул. Пушкина, Иркутский тракт) и ГЭЗ-5 (улицы Нахимова и Елизаровых) [5]. В работе Е.Г. Язикова с соавторами «Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв» были отмечены те же улицы с особенно высокой интенсивностью движения транспорта (улицы Пушкина, Яковлева, Красноармейская, Ленина, Иркутский тракт и Комсомольский проспект), которые были связаны с самыми высокими уровнями загрязнения атмосферного воздуха по оксиду углерода и оксиду азота [13].

Промышленное производство также является значительным источником загрязнения. На территории г. Томска к основным отраслям предприятий относятся: предприятия по производству тепла, электроэнергии (ОАО «Томская генерация»); химические и нефтехимические производства (ООО «Томскнефтехим», ООО «Томский завод резиновой обуви» и др.), а также строительные предприятия (ОАО «ГДСК», ОАО «Карьероуправление», ЗАО «Завод дорожно-строительных материалов», ООО «Асфальтобетонный завод» и др.). Согласно данным статистической отчетности 2-ТП (воздух) за период 2009–2015 гг. выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников составили в 2015 г. 34205 т/год, что на 2303 т больше, чем в 2009 г. Наибольшая доля выбросов вредных загрязняющих атмосферный воздух веществ на территории города приходится на предприятия ГЭЗ-4 ОАО «Томская генерация»: филиалы ГРЭС-2 и ТЭЦ-3. Данная зона отличается ярко выраженным ступенчато-блоковым рельефом. Центральное место занимает возвышенность – Юрточная гора, которая сопровождается понижением рельефа на север к Уржатке и на юге к Нижней Елани, которая переходит в Верхнюю Елань, с абсолютными высотными отметками 120–130 м. Помимо двуокиси серы, взвешенных пылевых частиц и окислов азота, промышленные загрязнители атмосферного воздуха включают канцерогенные вещества: бензапирен, формальдегид, сажу, а также тяжелые металлы: свинец, кадмий, бериллий и др.

На территории г. Томска находится более 20 000 зданий с различным уровнем этажности. Здания этажностью менее 3 (это 90 % зданий) в основном находятся в северо-западной и центральной его частях. Эти же части города

имеют самые низкие отметки рельефа и наиболее загрязнены исходя из статистических данных (рис. 2).

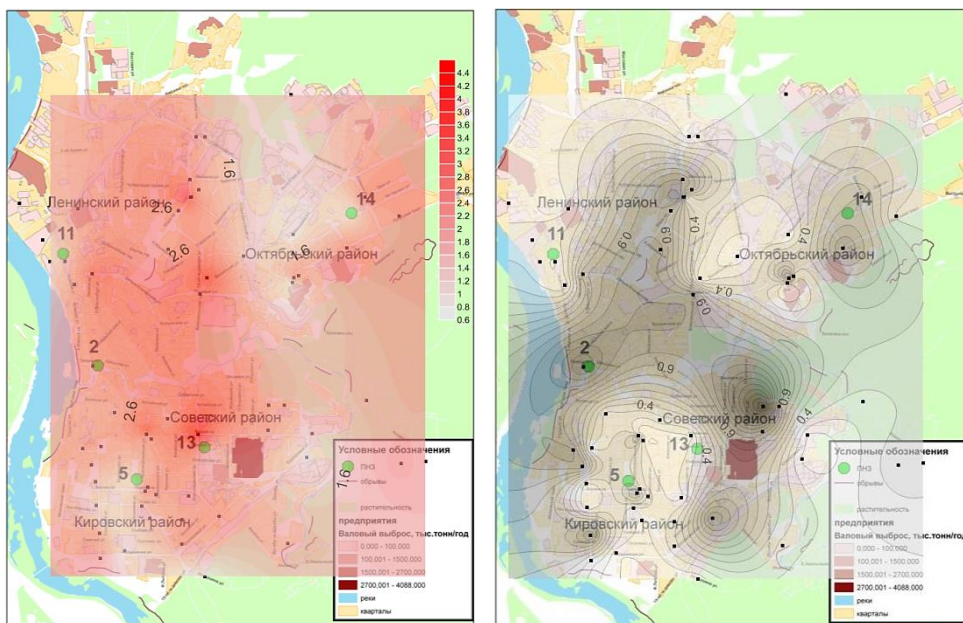


Рис. 2. Пространственное распределение взвешенных веществ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , в атмосферном воздухе г. Томска (2015 г.)

На этапе идентификации опасности нами рассчитан ранговый коэффициент канцерогенной опасности для бенз (а) пирена, формальдегида и сажи по формуле

$$HRI = E \cdot W_c \cdot P / 10000, \quad (1)$$

где  $W_c$  – весовой коэффициент канцерогенной активности;  $P$  – численность популяции;  $E$  – величина условной экспозиции (т/год).

За величину экспозиции брали усредненные выбросы со стационарных источников, т/год за период 2007–2009 гг., численность населения согласно данным Федеральной службы государственной статистики.

Результаты расчета приведены в табл. 2. При предварительном ранжировании формальдегид по степени своей потенциальной опасности на исследуемой территории показал максимальное значение (1 ранг).

Таблица 2

**Расчет рангового коэффициента канцерогенной опасности**

Вещество	Индекс сравнительной опасности выброса, $HRI$	Ранг
Бенз (а) пирен	1276,46	3
Формальдегид	162 717,34	1
Сажа	103 579,35	2

Для оценки выявления изменений и прогноза состояния здоровья населения и среды обитания в г. Томске проводится социально-гигиенический мониторинг. О степени вредности и воздействия факторов судят по ряду параметров, в том числе по медико-биологическим показателям (заболеваемость, потребность в медицинском обслуживании, рекреации и др.)<sup>4</sup> [11]. Основной контролируемой средой является воздушный бассейн города. Систематические наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в г. Томске проводятся ГУ «Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». В ходе наблюдений оценивается содержание в воздухе 13 загрязняющих веществ. Наблюдения ведутся на 7 стационарных постах (ПНЗ) в 7:00, 13:00 и 19:00 ч местного времени (рис.1). Всего за 2015 г. отобрано и проанализировано 36 692 проб атмосферного воздуха.

Центром гигиены и эпидемиологии по Томской области в 2015 г. отобрано 434 пробы атмосферного воздуха в г. Томске. Пробы воздуха исследовались на содержание взвешенных веществ, диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, ксилола, толуола, фенола, формальдегида, аммиака, сероводорода, сажи, свинца, соляной кислоты, углеводов. Зарегистрированы превышения максимально-разовой предельно допустимой концентрации (ПДК м. р.) по содержанию в атмосферном воздухе оксида углерода в 11,7 % исследованных проб (магистральные перекрестки). Наиболее неблагоприятная ситуация установлена на перекрестке в районе пр. Фрунзе – пр. Комсомольский, где 66 % исследованных проб атмосферного воздуха не соответствовало гигиеническим нормативам по содержанию углерода оксида, концентрации которого в неудовлетворительных пробах находились в пределах от 1,1 до 1,2 ПДК м. р. По результатам лабораторных исследований доля проб с превышением гигиенических нормативов в 2011 г – 2,2 %, 2014 г – 2,9 %, 2015 г – 2,8 %. Превышение предельно допустимых концентраций в городе постоянно отмечается по таким загрязнителям, как оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества.

Основные загрязнители атмосферного воздуха – пыль, оксиды азота, углерода, формальдегид, аммиак, хлористый водород, сажа – считаются ингредиентами, для которых органы дыхания являются мишенью негативного воздействия. Присутствие в воздухе данных веществ способствует снижению иммунитета, оказывает раздражающее действие на органы дыхания и способствует росту заболеваемости хроническими бронхитами, фарингитами, бронхиальной астмой, ринитами и повторными ОРВИ. Наличие в выбросах промышленных предприятий канцерогенных веществ, таких как формальдегид, бенз(а)пирен, сажа, предполагает возможность развития (отдаленных эффектов) у населения г. Томска злокачественных новообразований и врожденных аномалий.

В первичной заболеваемости взрослых, подростков и детей, по данным формы № 12 государственной медицинской статистики, показатели заболеваемости по болезням органов дыхания, в том числе аллергический ринит, хрониче-

<sup>4</sup> Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р. 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. 273 с.



ский фарингит и др., в несколько раз выше, чем показатели по другим классам болезней. В 2009 г. показатель по общей заболеваемости населения на 1000 человек, по сравнению с 2008 г., увеличился на 4,82 % и составил 1436,3 случая. Повышение показателя заболеваемости населения г. Томска произошло за счет роста случаев заболеваний по классу «Болезни органов дыхания».

Процент онкологических заболеваний у жителей Томской области и г. Томска вдвое выше, чем показатель по стране, и составляет 16 %. В Томске это 417 заболевших на 100 тыс. человек. За десять лет, с 2002 по 2012 гг., прирост числа заболевших составил 33,8 %. В период с 2006 по 2008 гг. в структуре смертности злокачественные новообразования заняли 2-е место. Большинство пациентов, у которых диагностированы опухоли, – 53,3 %, т. е. 2462 чел., – это женщины. Мужчин среди онкобольных в Томской области насчитывается 46,7 % – 2161 чел.<sup>5</sup> Поэтому проблема смертности от злокачественных новообразований остается актуальной, а проведение оценки канцерогенного риска здоровью населения крайне необходимо.

Расчет ингаляционного канцерогенного риска для населения г. Томска и отдельно для пяти ГЭЗ проведен по тем канцерогенным веществам, которые являются приоритетными для данной территории. В случае отсутствия данных по величине концентраций загрязняющих веществ в конкретной ГЭЗ использованы средние значения, характерные для всего города. Для канцерогенных веществ расчет проводили по следующим формулам:

$$CR = C \cdot UR_i, \quad (2)$$

где  $CR$  – индивидуальный канцерогенный риск;  $C$  – средняя концентрация вещества в исследуемом объекте окружающей среды за весь период усреднения экспозиции,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $UR_i$  – единичный риск, на  $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;

$$PCR = (C_i \cdot uR_i)POP/70, \quad (3)$$

где  $PCR$  – популяционный годовой риск;  $C_i$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го вещества;  $uR_i$  – единичный риск за всю жизнь (70 лет);  $POP$  – численность популяции, подвергающейся воздействию, чел.

При расчете величины индивидуального и популяционного годового канцерогенного риска в качестве исходных параметров использованы значения среднегодовой дозы при ингаляционном воздействии веществ с атмосферным воздухом и фактора канцерогенного потенциала. Результаты расчетов приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

**Расчет индивидуального и популяционного годового канцерогенного риска при ингаляционном поступлении формальдегида**

Риски	Годы						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
$C$	0,008	0,008	0,011	0,008	0,012	0,011	0,014
$CR$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,84 \cdot 10^{-4}$
$PCR$ , чел.	0,78	0,79	1,13	0,84	1,28	1,19	1,54

<sup>5</sup> Новости в Томске. URL: <https://news.vtomske.ru/interview/84373-evgenii-choinzonov-u-nas-doljnabyt-onkologicheskaya-nastorojennost>

Таблица 4

**Расчет индивидуального и популяционного годового канцерогенного риска при ингаляционном поступлении бенз (а) пирена**

Риски	Годы						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>C</i>	$1,98 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$6,33 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
<i>CR</i>	$2,21 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$7,05 \cdot 10^{-6}$	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$
<i>PCR</i> , чел.	0,02	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	0,07

При характеристике риска для здоровья населения, обусловленного воздействием химических веществ, загрязняющих окружающую среду, будем ориентироваться на принятую систему приемлемости риска<sup>6</sup>.

Полученные результаты индивидуального годового канцерогенного риска при ингаляционном поступлении формальдегида относятся ко второму диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни более  $1 \cdot 10^{-6}$ , но не менее  $1 \cdot 10^{-4}$ ), что соответствует предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска. Уровень  $10^{-4}$  является сигнальным уровнем риска, свидетельствующим о существовании потенциальной опасности для здоровья человека и требующим проведения более углубленной гигиенической оценки состояния окружающей среды и здоровья населения в данном регионе.

Результаты индивидуального годового канцерогенного риска при ингаляционном поступлении бенз (а) пирена относятся к первому диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или меньший  $1 \cdot 10^{-6}$ , что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн экспонированных лиц), подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Значения канцерогенных рисков отражают, главным образом, долгосрочную тенденцию к изменению онкологического фона, формирующуюся при условии соблюдения всех принятых исходных условий.

Для сравнительной оценки воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения проведен расчет индивидуального и популяционного канцерогенного риска, формулы (2), (3), по пяти геоэкологическим зонам, для этого произведено осреднение годовых величин за период 2009–2015 гг.

Полученные значения индивидуального пожизненного и популяционного канцерогенного риска для населения ГЭЗ г. Томска, обусловленного ингаляционным поступлением загрязняющих веществ из атмосферного воздуха, представлены в табл. 5.

Для всех ГЭЗ г. Томска получены максимальные значения (1 ранг) индивидуального пожизненного канцерогенного риска для населения, обусловленного ингаляционным поступлением из атмосферного воздуха формальде-

<sup>6</sup> Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р. 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ, 2004. 273 с.

гида (от  $6,2 \cdot 10^{-5}$  до  $1,26 \cdot 10^{-4}$ ). Менее значимые величины индивидуального пожизненного канцерогенного риска получены для сажи (от  $1,2 \cdot 10^{-5}$  до  $1,52 \cdot 10^{-5}$ ). Минимальные значения характерны для бенз (а) пирена ( $3,4 \cdot 10^{-6}$ ).

Таблица 5

**Значения индивидуального канцерогенного и популяционного риска для населения**

Геоэкологическая зона (ГЭЗ)	Вещество	Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск	Популяционный пожизненный риск	Степень риска
ГЭЗ 1	Формальдегид	$1,63 \cdot 10^{-4}$	0,223	1
	Бензапирен	$3,4 \cdot 10^{-6}$	0,005	3
	Сажа	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,016	2
ГЭЗ 2	Формальдегид	$1,26 \cdot 10^{-4}$	0,179	1
	Бензапирен	$3,4 \cdot 10^{-6}$	0,005	3
	Сажа	$1,52 \cdot 10^{-5}$	0,021	2
ГЭЗ 3	Формальдегид	$6,2 \cdot 10^{-5}$	0,093	1
	Бензапирен	$3,4 \cdot 10^{-6}$	0,005	3
	Сажа	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,021	2
ГЭЗ 4	Формальдегид	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,355	1
	Бензапирен	$3,4 \cdot 10^{-6}$	0,006	3
	Сажа	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,026	2
ГЭЗ 5	Формальдегид	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,288	1
	Бензапирен	$3,4 \cdot 10^{-6}$	0,006	3
	Сажа	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,026	2

Суммарные значения величины риска, обусловленного ингаляционным поступлением канцерогенов с атмосферным воздухом, для населения ГЭЗ г. Томска приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Суммарные величины индивидуального пожизненного канцерогенного риска для населения, обусловленного ингаляционным поступлением из атмосферного воздуха**

Геоэкологическая зона (ГЭЗ)	Индивидуальный пожизненный канцерогенный риск	Степень риска
ГЭЗ-1	$1,79 \cdot 10^{-4}$	2
ГЭЗ-2	$1,44 \cdot 10^{-4}$	4
ГЭЗ-3	$7,96 \cdot 10^{-5}$	5
ГЭЗ-4	$2,1 \cdot 10^{-4}$	1
ГЭЗ-5	$1,75 \cdot 10^{-4}$	3

Величины риска для всех ГЭЗ Томска являются неприемлемо высокими для населения, но приемлемыми для условий производственного воздействия. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых мероприятий. Значения индивидуального пожизненного канцерогенного риска, обусловленного ингаляционным поступлением загрязняющих веществ, для населения города Томска находятся в диапазоне  $7,96 \cdot 10^{-5}$ – $2,1 \cdot 10^{-4}$ . Максимальное значение получено для населения ГЭЗ-4, однако территория данной ГЭЗ с точки зрения ценового зонирования, по материалам Института оценки собственности г. Томска, является территорией с самыми высокими коэффициентами ее стоимости.

### Заключение

Проведено деление города на геоэкологические зоны, выделены территории слабого, умеренного и негативного воздействия автотранспорта, промышленности и этажности застройки.

Каждой ГЭЗ присвоена степень риска по результатам расчета канцерогенного риска для населения, обусловленного ингаляционным поступлением из атмосферного воздуха. Определен вклад наиболее распространенных и опасных загрязняющих веществ в атмосфере геоэкологических зон города.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе стратегии градостроительства и кадастровой оценке земель, а также для создания карт геоэкологического градостроительного зонирования территории г. Томска. Результаты необходимы при регулировании индивидуального и популяционного канцерогенного риска, определении экологической емкости территории выделенных геоэкологических зон и города в целом. Позволят детализировать и совершенствовать надежность геоэкологического мониторинга на региональном уровне с учетом требований Градостроительного кодекса РФ<sup>7</sup> и нормативных документов<sup>8</sup>.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году»* / гл. ред. С.Я. Трапезников, редкол.: Ю.В. Лунева, Н.А. Чатурова ; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск : Дельтаплан, 2016. – 156 с.
2. *Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области ОГБУ «Облкомприрода». Экологический мониторинг. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2010 году.* – Томск, 2011. – 148 с.
3. *Иванов, В.П.* Научно-методологические основы оценки риска для здоровья населения при комплексном эколого-гигиеническом исследовании территорий / В.П. Иванов, О.В. Васильева, А.В. Плотников // *Экология человека.* – 2012. – № 11. – С. 11–17.
4. *Карева, О.А.* Состояние и геоэкологические особенности воздушной атмосферы промышленного города / О.А. Карева, А.В. Мананков // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* – 2009. – № 3. – С. 51–63.

<sup>7</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации. М.: Омега-Л, 2005. 96 с.

<sup>8</sup> СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для градостроительства. Основные положения. М.: Изд-во ГУП ЦПП, 1997.

5. *Карева, О.А.* Влияние природных и техногенных факторов на атмогеохимические характеристики территории Томска / О.А. Карева, А.В. Мананков // *Экология и промышленность России*. – 2010. – Июль. – С. 53–55.
6. *Карева, О.А.* Содержание и особенности распределения канцерогенных веществ на примере г. Томска / О.А. Карева, А.В. Мананков // *Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде : материалы VII Международной научно-практической конференции*. Т. 2. – Семей, 2012. – С. 590–598.
7. *Мананков, А.В.* Оценка пространственно-временного распределения основных и специфических примесей в атмосфере г. Томска / А.В. Мананков, Э.В. Иванова // *Вестник ТГУ*. – Приложение № 3 (IV). – 2003. – С. 171–173.
8. *Мананков, А.В.* О связи атмогеохимических и геодинамических процессов в урбанизированных районах / А.В. Мананков, О.А. Карева // *Становление и развитие научных исследований в высшей школе : материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения проф. А.А. Воробьева*. – Томск, 2009. – С. 435–443.
9. *Научно-методические аспекты обеспечения гигиенической безопасности населения в условиях воздействия химических факторов* / Г.Г. Онищенко, Ю.А. Рахманин, Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, А.А. Акатова. – М. : Медицинская книга, 2004. – 367 с.
10. *Сафонова, Е.В.* К проблемам градостроительства, оптимизированным по геодинамическим и радиогеоэкологическим критериям / Е.В. Сафонова, А.В. Мананков // *Международный год планеты Земля: проблемы геологии, инженерной геологии и гидрогеологии: материалы научной конференции / Томский гос. архит.-строит ун-т*. – Томск, 2008. – С. 144–148.
11. *Сергиенко, Л.И.* Экология и здоровье населения урбанизированной территории на примере г. Волжского Волгоградской области / Л.И. Сергиенко // *Урбанизация и социум*. – 2014. – № 1. – С. 21–24.
12. *Сулейменов, С.Т.* Строение и свойства стеклокристаллических материалов на основе горных пород и шлаков (г. Чимкент, 8–10 сентября 1974 г.) / С.Т. Сулейменов // *Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике, Научный совет по проблеме «Новые неорганические материалы и покрытия на основе стекла и тугоплавких соединений»*, 250-летию АН СССР посвящается. – Чимкент, 1974. – 428 с.
13. *Язиков, Е.Г.* Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.

#### REFERENCES

1. *Trapeznikov S.Ya., Luneva Yu.V., Chaturova N.A.* Gosudarstvennyi doklad ‘O sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Tomskoi oblasti v 2015 godu’ [State report on ‘The environmental protection of the Tomsk region in 2015’]. Tomsk: Deltaplan Publ., 2016. 156 p. (rus)
2. *Departament prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Tomskoi oblasti OGBU «Oblkompriroda».* *Ekologicheskii monitoring Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy Tomskoi oblasti v 2010 godu* [Department of natural resources and environmental protection of the Tomsk region by Regional State Budgetary Institution Oblkompriroda. Environmental monitoring, the report on environmental protection of the Tomsk region in 2010]. Tomsk, 2011. 148 p. (rus)
3. *Ivanov V.P., Vasil'eva O.V., Plotnikov A.V.* Nauchno-metodologicheskie osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri kompleksnom ekologo-gigienicheskom issledovanii territorii [Scientific and methodological bases of assessment of population health risk at complex eco-hygienic research of territories]. *Ekologiya cheloveka*. 2012. No. 11. Pp. 11–17. (rus)
4. *Kareva O.A., Manankov A.V.* Sostoyanie i geokologicheskie osobennosti vozduшной atmosfery promyshlennogo goroda [Geoecological features of atmosphere in industrial city]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2009. No. 3. Pp. 51–63. (rus)
5. *Kareva O.A., Manankov A.V.* Vliyanie prirodnykh i tekhnogennykh faktorov na atmo-geokhimicheskie kharakteristiki territorii Tomsk [Influence of natural and technogenic factors on atmospheric geochemical characteristics of Tomsk territory]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2010. No. 6. Pp. 53–55. (rus)

6. Kareva O.A., Manankov A.V. Soderzhanie i osobennosti raspredeleniya kantserogennykh veshchestv na primere g. Tomsk [Content and features of distribution of carcinogenic substances in Tomsk]. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. 'Heavy Metals and Radionuclides in the Environment'*. Semey-Kazakhstan, 2012. V. 2. Pp. 590–598. (rus)
7. Manankov A.V., Ivanova E.V. Otsenka prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya osnovnykh i spetsificheskikh primesei v atmosfere g. Tomsk [Assessment of existential distribution of main and specific impurities in atmosphere of Tomsk]. *Vestnik TSU*. 2003. No. 3. Pp. 171–173. (rus)
8. Manankov A.V., Kareva O.A. O svyazi atmogeokhimicheskikh i geodinamicheskikh protsessov v urbanizirovannykh raionakh [Towards communication between atmospheric geochemical and geodynamic processes in urbanized areas]. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. 'Formation and Development of Research at Higher School'*. Tomsk, 2009. Pp. 435–443. (rus)
9. Onishchenko G.G., Rakhmanin Yu.A., Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Akatova A.A. Nauchno-metodicheskie aspekty obespecheniya gigienicheskoi bezopasnosti naseleniya v usloviyakh vozdeistviya khimicheskikh faktorov [Scientific and methodological aspects of ensuring hygienic safety of population under influence of chemical factors]. Moscow: Meditsinskaya kniga. 2004. 367 p. (rus)
10. Safonova E.V., Manankov A.V. K problemam gradostroitel'stva, optimizirovannym po geodinamicheskim i radiogeokologicheskim kriteriyam [Towards urban planning problems optimized by geodynamic and radio geoecological criteria]. *Proc. Sci. Conf. 'International Year of the Earth: Problems of Geology, Engineering Geology and Hydrogeology'*. Tomsk: TSUAB Publ., 2008. Pp. 144–148. (rus)
11. Sergienko L.I. Ekologiya i zdorov'e naseleniya urbanizirovannoi territorii na primere g. Volzhskogo Volgogradskoi oblasti [Ecology and health of population in urbanized territory in the Volgograd region]. *Urbanizatsiya i sotsium*. 2014. No. 1. Pp. 21–24. (rus)
12. Suleimenov S.T. Stroenie i svoistva steklokristallicheskikh materialov na osnove gornykh porod i shlakov [Structure and properties of glass-ceramic materials based on rocks and slags (Chimkent, Sept. 8–10, 1974)]. *Gosudarstvennyi komitet Soveta Ministrov SSSR po nauke i tekhnike, Nauchnyi sovet po probleme 'Novye neorganicheskie materialy i pokrytiya na osnove stekla i tugoplavkikh soedinenii', 250-letiyu ANSSSR posvyashchaetsya*. Chimkent, 1974. 428 p. (rus)
13. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhornyak L.V. Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomsk po dannym izucheniya pyleaerozolei i pochv [Assessment of an eco-geochemical conditions in Tomsk territory according results of studying aerosols and soils]. Tomsk: TPU Publ., 2010. 264 p. (rus)