

КАЧЕСТВО ВОЗДУХА КАК ФАКТОР БИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКИХ СРЕД ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Мещеряков А.Ю.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д. 65

aymesh@inbox.ru

Аннотация: Рассмотрена проблема биологической безопасности воздушной среды на объектах жизнедеятельности человека. Обсуждаются различные аспекты качества воздушной среды. Анализируется современное состояние воздушной среды крупных городов и мегаполисов. Приводятся данные об источниках воздействия отравляющих веществ на воздушную среду. Исследуется способ оценки качества воздуха.

Ключевые слова: биологическая безопасность, среда обитания, качество воздуха, здоровье, человек.

Введение

В последнее десятилетие в России и за рубежом большое внимание уделяется вопросам качества воздушной среды в искусственных и естественных городских средах обитания человека. Задача обеспечения биологической безопасности в таких средах является актуальной и важной, поскольку в конечном итоге направлена на сохранение здоровья людей. Социальная значимость исследований в этой области выражается обеспечением благоприятных и безопасных условий жизнедеятельности, снижения факторов риска появления различных патологических состояний [1].

Наблюдается значительное загрязнение воздушной среды во многих городах мира, что обусловлено различными факторами, имеющими природное, техногенное и антропогенное происхождение. Наметилась тенденция значительного загрязнения атмосферного воздуха газами, аэрозолями и твердыми частицами. Критическая ситуация в этой области сложилась в больших городах и мегаполисах. Концентрация загрязнений в воздухе, как правило, превышает предельные допустимые нормы. Это негативно влияет на качество воздуха и безопасность сред обитания человека, повышает факторы риска развития различных заболеваний [2].

Загрязнение воздуха – это загрязнение внутренней или внешней среды любым химическим, физическим или биологическим агентом, который изменяет естественные характеристики атмосферы. Бытовые устройства сжигания, автомобили, промышленные объекты и лесные пожары являются распространенными источниками загрязнения воздуха. Особую опасность для здоровья населения, представляют взвешенные в воздухе твердые частицы, окись углерода, озон, двуокись азота и двуокись серы.

В Российской Федерации ежегодно публикуются систематизированный свод аналитической информации - основные показатели фактического состояния окружающей среды, сведения о природных и антропогенных факторах, влияющих на состояние окружающей среды и меры по снижению таких воздействий. Особое внимание уделяется качеству воздуха в населенных пунктах. Так, в 2020 году, приоритетный список городов в РФ с очень высоким уровнем загрязнения воздуха (комплексный индекс загрязнения атмосферы равен или больше 14) включал 15 городов с общим числом жителей в них 1,8 млн. человек [3].

1 Руководящие стандарты и принципы в области загрязнений воздушной среды

В 2021 году Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) опубликовала обновлённые «Руководящие стандарты по глобальному качеству воздуха» [4]. По сравнению с предыдущим документом, который был опубликован ВОЗ в 2015 году, новые рекомендации устанавливают более строгие стандарты для загрязнителей воздуха. Согласно разработанным компьютерным моделям, если бы эти стандарты применили еще в 2016 году, то это сохранило жизни примерно 3,3 миллионам человек.

Необходимость в новых стандартах к качеству воздуха возникла, поскольку накопился значительный объем новой информации о воздействии различных вредных веществ на здоровье. Новые стандарты устанавливают более низкий критический уровень для шести основных видов загрязнителей. Представлены рекомендации по содержанию в воздухе двуокиси серы (SO₂) и окиси углерода (CO). Уменьшены уровни предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязнения мелкодисперсными частицами размером до 2,5 мкм (PM_{2.5}) с 10 до 5 мкг/м³ в год. По частицам до 10 мкм (PM₁₀) снижение произошло с 20 до 15 мкг/м³. ПДК двуокиси азота (NO₂) теперь составляет 10 мкг/м³, что в четыре раза меньше прежнего.

В России качество воздуха регулируются различными нормативно-правовыми документами, в том числе Федеральными законами «Об охране атмосферного воздуха» и «Об охране окружающей среды». Текущие значения ПДК загрязняющих веществ установлены в 2021 году «Санитарными правилами и нормами» [5].

Эти правила и нормы существенно мягче тех, что были предложены ВОЗ. В России ПДК загрязнения микрочастицами PM_{2.5} составляет 25 мкг/м³, а для PM₁₀ это число равно 40 мкг/м³, против 5 мкг/м³ и 15 мкг/м³. Допустимое содержание в атмосфере NO₂ имеет значение 40 мкг/м³, что соответствует прежним рекомендациям ВОЗ, но не новым.

Новые стандарты уровня загрязняющих веществ носят рекомендательный характер. Они не могут изменить уровень заболеваемости и смертности, если не начать их применять. Согласно отчету ООН, на данный момент, 43 % стран не содержат в своих законах определения «загрязнения воздуха» и не имеют государственных стандартов качества воздуха [6].

Среди экологических факторов риска, влияющих на здоровье, загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах и мегаполисах является наиболее важной причиной заболеваний, ежегодно приводящих к более чем четырем миллионам преждевременных смертей и более чем 100 миллионам потерь DALY во всем мире. Негативные последствия загрязнения атмосферного воздуха для здоровья человека приводят к сердечно-сосудистым и цереброваскулярным заболеваниям, хроническим респираторным заболеваниям и инфекциям, а также раку легких [7].

В 2015 году шестьдесят восьмая сессия Всемирной ассамблеи здравоохранения приняла резолюцию WHA68.8 «Здоровье и окружающая среда: решение проблемы воздействия загрязнения воздуха на здоровье» [8].

В этой резолюции говорится о необходимости удвоить усилия по защите населения от рисков для здоровья, создаваемых загрязнением воздуха.

В 2016 году, учитывая многочисленные научные достижения и большую роль, которую играют руководящие требования к качеству воздуха, было начато их обновление. Общая цель обновленных требований заключается в том, чтобы предложить количественные рекомендации по управлению качеством воздуха, основанные на здоровье человека, выраженные в виде долгосрочных краткосрочных концентраций ряда ключевых загрязнителей воздуха. Превышение уровней нормативов по качеству воздуха связано с серьезными рисками для здоровья населения. Эти руководящие принципы не являются юридически обязательными стандартами; тем не менее, они предоставляют государствам-членам ВОЗ инструмент, основанный на фактических данных, который они могут использовать для информирования о законодательстве и политике.

Результаты научных исследований, послужившие для разработки уровней основных загрязнителей воздушной среды и других соответствующих фактических данных, доступны в специальном выпуске *Environment International*, озаглавленном «Обновление глобальных руководящих принципов ВОЗ по качеству воздуха: систематические обзоры» (Whaley et al., 2021).

Настоящие руководящие принципы применимы как к наружным, так и к внутренним средам во всем мире. Таким образом, они охватывают все условия, где люди проводят время.

Эти руководящие принципы не включают рекомендации, касающиеся смесей загрязнителей или совокупного воздействия загрязнителей. В повседневной жизни люди подвергаются воздействию смеси загрязнителей воздуха, которая варьируется в пространстве и времени. ВОЗ признает необходимость разработки всеобъемлющих моделей для количественной оценки воздействия множественных воздействий на здоровье человека.

Однако, поскольку основной массив фактических данных о качестве воздуха и здоровье по-прежнему сосредоточен на воздействии отдельных маркеров загрязнения окружающего воздуха на риск неблагоприятных последствий для здоровья, в настоящих руководящих принципах содержатся рекомендации по каждому загрязнителю воздуха в отдельности.

Глобальные руководящие принципы по качеству воздуха направлены на защиту населения от неблагоприятных последствий загрязнения воздуха. Они предназначены для того, чтобы служить важнейшим ориентиром для оценки того, приводит ли и в какой степени воздействие на население (включая особо уязвимые и/или восприимчивые подгруппы) различных уровней рассматриваемых загрязнителей воздуха к проблемам со здоровьем.

Руководящие принципы являются важнейшим инструментом для следующих трех основных групп пользователей:

- директивные органы, законодатели и технические эксперты, действующие на местном, национальном и международном уровнях, которые отвечают за разработку и осуществление правил и стандартов в области качества воздуха и борьбы с загрязнением воздуха;

- национальные и местные органы власти и неправительственные организации, организации гражданского общества и правозащитные группы, такие как пациенты, группы граждан, промышленные заинтересованные стороны и экологические организации;
- ученые, специалисты по оценке воздействия на здоровье человека и окружающую среду, а также исследователи в широкой области загрязнения воздуха.

Осуществление руководящих принципов требует наличия и функционирования систем мониторинга загрязнения воздуха; доступ общественности к данным о качестве воздуха; юридически обязательные, согласованные на масштабном уровне стандарты качества воздуха; и системы управления качеством воздуха. Решения по установлению приоритетов для действий будут основываться на оценке риска загрязнения воздуха для здоровья.

2 Биологическая безопасность воздушной среды с позиций научных подходов

Основными подходами к решению задач обеспечения биологической безопасности на объектах жизнедеятельности человека, по мнению автора настоящей статьи, являются:

- системный подход, обеспечивающий всестороннее изучение проблемы;
- комплексный подход, учитывающий технические, экологические, медицинские и другие аспекты и их взаимосвязи, обеспечивающий комплексное решение проблемы.

С позиций системного подхода, любой объект с искусственной средой обитания можно рассматривать как сложную систему с множеством элементов, межэлементные связи которых, структура и свойства системы, обеспечивают жизнедеятельность человека на объекте и выполнение им заданных функций. Изменение числа элементов или связей между структурными элементами системы может привести к изменению не только ее структуры, но и свойств системы. Комплексное понимание взаимозависимости всех элементов системы, позволяет выделить приоритеты и оптимизировать основные параметры системы [9, 10].

Все объекты жизнедеятельности в искусственных средах обитания человека являются подсистемами некоторой большей системы, которой является внешняя среда, естественная среда обитания человека, основным элементом которой является атмосферный воздух.

Воздух является одним из основных жизненно важных компонентов на объектах жизнедеятельности в искусственных средах обитания человека и в – естественных условиях внешней среды.

Физиологически благоприятной для человека воздушной средой является среда, очищенная от взвешенных в воздухе вредных для организма твердых и аэрозольных частиц при условии обеспечения нормированных физических характеристик.

Качество воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека – это состояние воздушной среды, обеспечивающее комфортную жизнедеятельность и безопасность пребывания человека на объекте, исключающее негативное воздействие на здоровье человека, соответствующее нормированным показателям химических и физических характеристик, чистоты воздуха. Качество воздуха определяется его химическим составом, физическими характеристиками и содержанием загрязняющих веществ, определяющих чистоту воздуха в среде объекта. В основе требований к качеству воздуха лежит охрана здоровья человека. Критерии качества воздуха: химический состав, чистота, запах и физические характеристики воздуха.

В проводимых автором настоящей статьи исследованиях, рассматриваются физические характеристики воздуха: температура, влажность, давление, аэроионный состав. При выборе критериев оценки качества воздуха и биологической безопасности среды обитания особое внимание уделяется униполярности аэроионов, имеющих разные скорости подвижности и концентрации отрицательных аэроионов кислорода воздуха, имеющих высокую скорость подвижности: $2,2 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Это объясняется тем, что аэроионный состав воздуха является эффективным показателем состояния воздушной среды и чистоты воздуха на объекте [11].

На объектах жизнедеятельности, имеющих низкое качество воздуха, наблюдается физиологически неблагоприятная аэроионная обстановка, которая характеризуется низкой концентрацией легких отрицательных аэроионов кислорода воздуха (менее $250 \text{ ион}/\text{см}^3$), значительными концентрациями легких положительных аэроионов (более $500 \text{ ион}/\text{см}^3$) и тяжелых аэроионов двух полярностей (более $1000 \text{ ион}/\text{см}^3$). Такая воздушная среда способствует развитию различных заболеваний в связи с проявлением тромбгеморрагического синдрома, обусловленного потерей отрицательного заряда организмом. На таких объектах необходимо управлять физическими характеристиками воздушной среды.

Нельзя исключать целевое заражение воздушной среды патогенными для человека микроорганизмами – результата возможных террористических актов. Задачи биологической безопасности воздушной среды на объектах жизнедеятельности человека сегодня весьма актуальны.

Под биологической безопасностью воздушной среды на объектах жизнедеятельности человека, в рамках проводимых исследований, будем понимать систему медико-биологических, организационных, инженерно-технических мероприятий и средств, направленных на защиту человека и среды от воздействия биологических агентов (патогенных для человека микроорганизмов, генно-инженерно-модифицированных микроорганизмов и токсинов, опасных для жизни человека).

Критериями безопасности воздуха являются опасности, способные причинить вред здоровью и жизни человека, оказывающие негативное влияние на искусственную среду обитания объекта. Опасности могут не обладать избирательным свойством и при своем возникновении воздействуют не только на человека. Источниками и носителями опасностей являются: воздух, техногенная среда, естественные процессы и явления, действия людей.

Основным внутренним источником опасности для воздуха являются загрязнения, образующиеся в результате жизнедеятельности человека на объекте. Наиболее распространенными источниками загрязнения воздуха на объектах с искусственной средой обитания описаны в статье «Вопросы выбора критериев оценки безопасности воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека» (Мещеряков А.Ю. и др., 2011 г.).

3 Оценка качества воздуха

Для оценки качества воздуха нет необходимости определять количественно все загрязняющие воздух вещества. Как правило, определяют вещества, концентрация которых в данных условиях может оказаться близкой к предельно допустимой концентрации, или наличие которых в воздухе целевого объекта требуется специально установить.

Для экспрессной оценки гигиенического состояния воздуха находят различные суммарные показатели, характеризующие какое-либо суммарное действие, свойство или фрагмент похожего химического строения загрязнителей по различным группам или комплексно.

Суммарными показателями, характеризующими загрязненность воздуха, являются содержания общего и органического углерода, фотооксидантов, окисляемость воздуха, плотность заряда тяжелых аэроионов, количество отрицательных тяжелых аэроионов, озонный индекс и некоторые другие.

Известно, что применение озонного индекса в качестве характеристики чистоты воздуха было предложено лабораторией физико-химических и радиологических методов исследования Института общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Сысина АМН СССР. В 2017 году на его базе создано ФГБУ "Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью" Министерства здравоохранения РФ. Оценка применимости озонного индекса применительно к целевым объектам с искусственной средой обитания человека не проводилась.

Для оценки качества воздуха представляет интерес провести экспериментальное исследование применимости озонного индекса и определить ограничения его использования в реальных условиях искусственной среды обитания человека.

Рассмотрим результаты проведенных исследований и экспериментов.

Применение озонного индекса основано на искусственной генерации озона. Озон обладает высоким окислительным действием и окисляет подавляющее большинство органических и неорганических соединений, образуя их высшие окисные формы: перекиси, окислы, гидроперекиси и др. Чем больше загрязнен воздух, тем быстрее происходит разложение озона. Скорость распада озона находится в зависимости от концентрации озона, концентраций каждого загрязнителя воздуха, скорости реакций загрязнителей с озоном. Определение концентрации каждого загрязнителя воздуха является трудоемким и сложным процессом. Скорости различных загрязнителей с озоном - неизвестны. Скорость распада озона можно выразить в пересчете на одно вещество, всегда присутствующее в воздухе, являющееся загрязнителем среды и условно суммирующее действие всех имеющихся в воздухе загрязнителей. Этим веществом является гексен-1 (С₆H₁₂).

Имея эти данные, экспериментально измеренную концентрацию озона на объекте с искусственной средой обитания и скорость разложения озона, можно найти концентрацию всех прореагировавших с озоном загрязнителей воздушной среды $Q = (84 \cdot V_p) / [O_3]$, где Q - концентрация всех загрязнителей, реагирующих с озоном в пересчете на гексен-1, мг/м³; V_p - скорость распада озона в воздухе, мкг/м³.мин; [O₃] - концентрация озона, оставшегося в воздухе после времени его взаимодействия с загрязнителями, мкг/м³.

С целью определения ограничений, которые нужно учитывать при использовании озонного

индекса для оценки загрязнения воздуха на объектах жизнедеятельности человека, проведены экспериментальные исследования.

Эксперименты проводили в закрытой аэрозольной камере и на объекте со средой обитания человека – лабораторной комнате. В комнате находились: лабораторная мебель: письменные столы, полки, шкафы, металлические сейфы, а также различные измерительные приборы и персональные компьютеры, принтеры и другое офисное оборудование. Для получения озона в аэрозольной камере использовался озонатор – ртутная лампа высокого давления. В лабораторном помещении использовался фотохимический источник получения озона - ультрафиолетовая лампа.

Отбор проб озона проводили после 15 минут работы озонатора. Длительность отбора проб составляла 15 минут. Одновременно, во время отбора проб на озон, при помощи счетчиков аэрозольных и твердых частиц, измеряли численные концентрации частиц. При помощи счетчика аэроионов УТ-9106 измеряли полярные плотности заряда легких и тяжелых аэроионов для различных скоростей подвижности ионов. Для измерения и непрерывной регистрации концентрации аэроионов в широком диапазоне подвижностей использовался универсальный счетчик аэроионов УТ-9106. Прибор разработан в Тартуском государственном университете и изготовлен для лаборатории «Управления по неполным данным» ИПУ РАН в единичном экземпляре эстонским АО «ТЭЭКУР».

Полярную плотность заряда легких и тяжелых аэроионов измеряли соответственно при предельных подвижностях 0,1 и 0,001 см²/(В·с). Исходная концентрация озона после выключения озонатора была около 100 мкг/м³. В лабораторной комнате озонный индекс измеряли аналогичным образом, но при различных исходных концентрациях озона. Одновременно с измерением озонного индекса измеряли полярную плотность заряда легких и тяжелых аэроионов.

Проведенные исследования позволили дать оценку применимости озонного индекса.

Озонный индекс зависит от: загрязнения воздушной среды, концентрации озона и характеристик целевого объекта. Абсорбирование молекул озона на различных поверхностях приводит к уменьшению концентрации озона на объекте. Озонный индекс повышается при увеличении насыщенности на объекте различных предметов (мебель, оборудование, офисная техника, измерительные приборы и др.). Причины этой зависимости нуждаются в дополнительных научных исследованиях. Высокая загрязненность воздуха твердыми и аэрозольными частицами приводит к значительному (в несколько раз) повышению озонного индекса за счет адсорбции озона на аэрозольных и твердых частицах различных веществ, содержащихся в воздухе, а также за счет химических реакций озона с частицами загрязнителей воздушной среды.

Работа приборов, основанных на УФ облучении объекта с искусственной средой обитания человека, приводит к уменьшению озонного индекса, увеличению концентрации положительных аэроионов, имеющих низкую скорость подвижности. Одновременно наблюдается увеличение отрицательных аэроионов кислорода воздуха, имеющих высокую скорость подвижности. Работа генераторов озона вызывает появление оксидов азота. Возможно неконтролируемое повышение концентрации О₃, превышающее допустимую норму ПДК.

Исследования позволили сделать выводы об оценке по озонному индексу суммарного загрязнения воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека:

Оценка качества воздуха может быть проведена способом, в основе которого лежит определение озонного индекса. Использование озонного индекса для оценки качества воздуха предполагает наличие профессиональной дорогостоящей измерительной аппаратуры, генераторов озона, учета особенностей целевого объекта, математических расчетов. При проведении исследований повышаются факторы риска возникновения различных негативных воздействий на организм человека, в связи с появлением оксидов азота, превышающих предельно допустимые концентрации в воздухе.

Необходимо выделить негативные стороны рассмотренного способа оценки качества воздуха. Способ основан на искусственной генерации аллотропной модификации кислорода – озона. Озон является сильнейшим окислителем и чрезвычайно ядовит, даже в низких концентрациях, для организма человека. В Российской Федерации озон отнесён к первому, самому высокому классу опасности вредных веществ: максимальная разовая предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе населённых мест 0,16 мг/м³; среднесуточная предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе населённых мест 0,03 мг/м³; предельно допустимая концентрация в искусственной среде обитания человека 0,1 мг/м³ (порог человеческого обоняния озона - 0,01 мг/м³). Высокая окисляющая способность озона и образование во многих реакциях с О₃ свободных радикалов кислорода определяют его высокую токсичность. Воздействие озона на организм может приводить к неспецифическим заболеваниям легких и преждевременной смерти.

Таким образом, необходимы поиски перспективных и безопасных, основанных на новых технологиях, способов оценки качества воздуха на различных объектах с искусственной средой обитания человека.

Заключение

Качество воздуха в средах обитания человека определяется наличием в нем взвешенных аэрозольных и твердых частиц, может рассматриваться как фактор биологической безопасности объектов жизнедеятельности в крупных городах и мегаполисах.

Обеспечение качества воздуха, создания благоприятной воздушной среды на объектах жизнедеятельности, приобрела в последние годы особую важность. Современные знания о качестве и безопасности воздуха на объектах со средой обитания все еще остаются неполными. Это отражает сложность явлений и взаимосвязей внешней среды, атмосферного воздуха, качества и безопасности воздуха на объектах со средой обитания человека.

Оценка качества воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека может быть проведена способом, в основе которого лежит определение озонного индекса. Использование озонного индекса для оценки качества воздуха предполагает наличие профессиональной дорогостоящей измерительной аппаратуры, генераторов озона, учета особенностей целевого объекта, математических расчетов. При проведении исследований повышаются факторы риска возникновения различных негативных воздействий на организм человека, в связи с появлением оксидов азота, превышающих предельно допустимые концентрации в воздухе среды обитания. Таким образом, использовать метод озонного индекса для оценки загрязнения воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека представляется весьма проблематичным.

Фундаментальной научной проблемой, на решение которой, по мнению автора настоящей статьи, должны быть направлены исследования, является разработка новых безопасных технологий и современных методов обеспечения качества воздушной среды на объектах жизнедеятельности человека в крупных городах и мегаполисах, установление закономерностей влияния внешних и внутренних факторов, влияющих на качество жизни и способных причинить вред здоровью человека.

Анализ рекомендаций ВОЗ в области загрязнений воздушно среды позволяет сделать вывод, что настоящее время накоплены фактические данные, достаточные для обоснования действий по сокращению воздействия основных загрязнителей воздуха на население не только в конкретных странах или регионах, но и в глобальном масштабе. Тем не менее, неопределенность и пробелы в знаниях сохраняются. Будущие исследования еще больше укрепят научную доказательную базу для принятия решений по принятию решений в области обеспечения чистого воздуха на объектах жизнедеятельности человека.

Литература

1. *Мещеряков А.Ю.* Safety and Quality of Air Criteria in Objects with Artificial Human Environments / Proceedings of the 14th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). М.: IEEE, 2021. С. 1-4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600208> (дата обращения: 01.08.2022).
2. *Мещеряков А.Ю.* Биологическая безопасность воздуха на объектах с искусственной средой обитания человека в крупных городах и мегаполисах / Труды 14-й Международной конференции "Управление развитием крупномасштабных систем" (MLSD-2021). М.: ИПУ РАН, 2021. С. 1726-1732.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России. МГУ имени М.В. Ломоносова. 2021. С. 1-864.
4. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. 2021. P. 1-10. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (дата обращения: 01.08.2022).
5. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 01.08.2022).
6. Regulating Air Quality: the First Global Assessment of Air Pollution Legislation // United Nations Environment Programme. 02 September 2021. P. 1-96. URL: <https://www.unep.org/resources/report/regulating-air-quality-first-global-assessment-air-pollution-legislation> (дата обращения: 01.08.2022).
7. *Hoffmann B.* Air Pollution in Cities: Urban and Transport Planning Determinants and Health in Cities. In: Nieuwenhuijsen M., Khreis H. (eds) Integrating Human Health into Urban and Transport Planning. Springer, Cham. 2019. P. 425-441. DOI: 10.1007/978-3-319-74983-9_21.
8. Всемирная организация здравоохранения. Шестдесят восьмая сессия Всемирной ассамблеи здравоохранения. Резолюции и решения. WHA68/2015/REC/1. Женева, 18-26 мая 2015 г. С. 1-256.
9. *Прангивили И.В.* Системный подход, системное мышление и энтропия фундаментальных знаний //

Проблемы управления. 2004. № 4. С. 3-7.

10. *Прангшвили И.В., Пашенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П.* Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. М.: Наука. 2001. С. 1- 525.
11. *Мецерыков А.Ю., Осипов С.Н.* Качество воздуха в средах обитания человека как фактор национальной безопасности Российской Федерации // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 4. С. 55-70.