



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

Шумовое загрязнение в малых городах на примере города Копейска

**Выпускная квалификационная работа по направлению
05.03.06 Экология и природопользование**

Направленность программы бакалавриата

«Природопользование»

Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований:
64,021 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
рекомендована/не рекомендована

« 08 » июня 2023 г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и методики
обучения химии

Сутягин А.А. Сутягин А.А.

Выполнил:

Студент группы ОФ-401/058-4-1
Горячев Данила Константинович

Научный руководитель:

д-р. б. наук, профессор

Назаренко Назар Николаевич

Челябинск
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ШУМА.....	5
1.1 Источники шумового загрязнения.....	7
1.2 Классификации шума.....	9
1.3 Экологические и санитарно-гигиенические нормативы.....	10
1.4 Методы картографирования.....	18
Выводы по первой главе.....	25
ГЛАВА 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ.....	27
2.1 Ухудшение слуха.....	27
2.2 Нарушение речи.....	31
2.3 Сердечно-сосудистые проблемы	32
2.4 Влияние на психику.....	38
2.5 Проблемы со сном.....	39
2.6 Нарушение когнитивных функций.....	45
2.7 Влияние частотных характеристик шума на организм человека...	47
Выводы по второй главе.....	55
ГЛАВА 3. ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В МАЛЫХ ГОРОДАХ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КОПЕЙСКА.....	56
Выводы по третьей главе.....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Шум определяется как любое нежелательное акустическое воздействие, возникающее в окружающем пространстве и состоящее из множества звуков разной частоты, громкости и продолжительности. Шумовое загрязнение окружающей среды как одна из форм загрязнения воздуха, представляет угрозу для здоровья и благополучия населения, особенно для тех, кто проживает в крупных городах и некоторых других населенных пунктах, входящих в состав городской агломерации.

Эта проблема распространена более широко, чем когда-либо прежде, и она будет продолжать увеличиваться в масштабах и серьезности последствий из-за продолжающегося роста населения, урбанизации и связанного с этим роста использования более мощных, разнообразных и высококомобильных источников шума.

Шум и дальше будет занимать лидирующие позиции среди опасных загрязнителей приземной атмосферы из-за устойчивой тенденции увеличения доли автомобильного транспорта.

Актуальность исследования. В г. Копейске, находящемся в Челябинской области, данные типы транспорта также являются основными источниками постоянного высококомобильного шума и потенциальные последствия шумового загрязнения для здоровья многочисленны, широко распространены, устойчивы и значимы с медицинской и социальной точек зрения, хотя и не получили должного внимания общественности. Шум имеет прямой и кумулятивный неблагоприятный эффект, оказывающий неблагоприятное воздействие на физическое и психическое здоровье населения, ухудшающий социальные, жилищные и рабочие условия.

В связи с этим определение уровней шума и масштабов его распространения в городе, а также выявление потенциальных угроз для здоровья населения представляет собой актуальное теоретическое и практическое направление.

Цель исследования: оценить уровень и потенциальные последствия шумового загрязнения г. Копейска.

Задачи исследования:

- 1) проанализировать систему экологических и санитарно-гигиенических нормативов, определяющих уровни возможного воздействия на городскую среду и человека;
- 2) определить возможное воздействие шума на здоровье человека;
- 3) дать оценку уровней шумового загрязнения г. Копейска;
- 4) дополнить имеющиеся рекомендации по снижению негативного воздействия шума в условиях города.

Объект исследования: селитебные территории г. Копейска.

Предмет исследования: уровень шума на селитебных территориях и крупных участках дорог.

Научная новизна: впервые проведено комплексное исследование шумового загрязнения г. Копейска, включающее в себя оценку уровней шума и его воздействия на здоровье населения, разработку картографического материала для интерпретации данных, а также предложения по снижению негативного воздействия городского шума.

Практическая значимость: материалы исследования могут быть использованы жителями города и органами местного самоуправления при изучении акустической обстановки города и разработке мероприятий по снижению уровня шума на селитебных территориях г. Копейска.

Методы исследования: методы анализа и синтеза, методы мониторинга, методы полевых инструментальных исследований, методы геоинформационного картографирования, математико-статистические методы.

Структура работы: выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 74 страницах, содержит 16 рисунков и 2 таблицы. Список использованных источников включает в себя 44 наименования.

ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ШУМА

Шум – это термин, который используется для описания нежелательного звука или совокупности звуков, приводящих к загрязнению окружающей среды, что в свою очередь может негативно повлиять на дикую природу и здоровье населения, преимущественно проживающего в городах и городских округах.

Шум, как и все другие звуки, является формой акустической энергии. Эта энергия проявляется в виде вибраций в воздухе или любой другой среде кроме вакуума от источника звука к уху. Звуки изменяются по мере изменения амплитуды, частоты и длины волны (рис. 1).

Частота – количество волновых циклов, которые происходят в данный период времени.

Амплитуда – максимальная протяженность волны, измеренная от положения равновесия.

Длина волны – расстояние между последовательными гребнями.

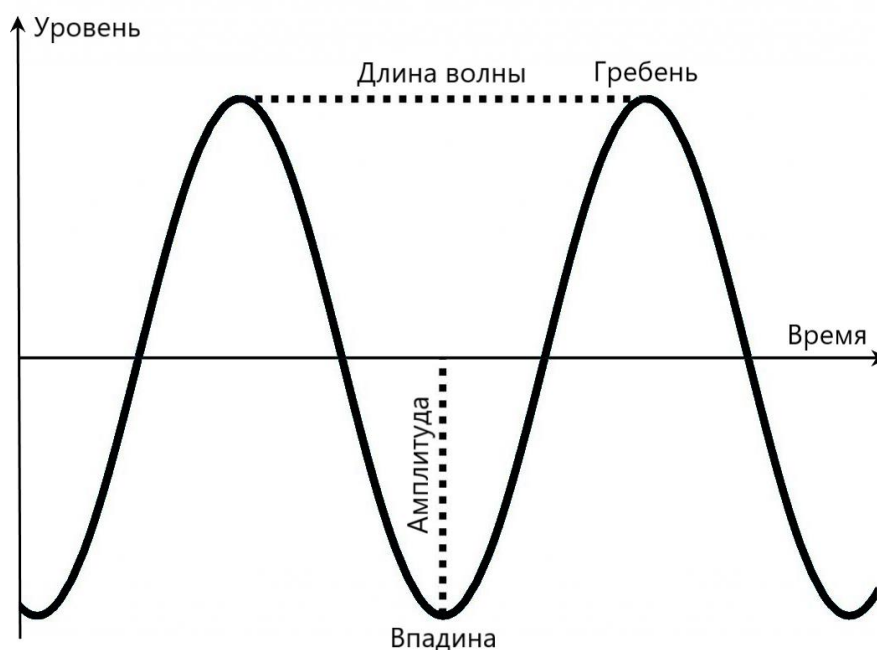


Рисунок 1 – Параметры звуковой волны

Громкость звука также изменяется при изменении величины волны акустической энергии. Величина энергетической волны представляет собой количество энергии, которой обладает звук, т.е. чем выше амплитуда, тем громче звук. Величина звука измеряется в единицах, называемых децибелами, сокращенно дБ.

Однако, поскольку человеческое ухо не может одинаково слышать все частоты, система измерения децибел должна быть масштабирована или взвешена, чтобы учесть тот факт, что человеческие уши менее чувствительны к низким звуковым частотам. Если бы для измерения всех звуков, слышимых человеческим ухом, использовалась линейная шкала, то большинство звуков возникало бы только в нижнем 1 % всего диапазона возможного человеческого слуха. При невзвешенной форме измерения было бы очень трудно показать различия в уровнях звука между шумами.

Вместо линейной шкалы для представления уровней звука используется логарифмическая шкала. В этом случае стандартное измерение в децибелах взвешено по шкале «А» для учета человеческого слуха. Взвешенные измерения «А» обозначаются аббревиатурой дБА, а не просто дБ. Одна из интересных особенностей логарифмической шкалы заключается в том, что увеличение уровня звука на 10 дБА фактически эквивалентно удвоению магнитуды. Другими словами, увеличение на 10 дБА означает, что звук становится в два раза громче. Кроме того, если объединить звуки одинаковой громкости, общее увеличение амплитуды составит всего 3 дБА. Например, два динамика, каждый из которых выдает 50 дБА звука, будут выдавать в сумме только 53 дБА, если их разместить рядом.

В дополнение к децибелам и взвешенной шкале децибел «А», еще одним полезным измерением для оценки уровня шума или звука является эквивалентный уровень звука или $L_{\text{ЭКВ}}$ – это среднее значение звуковой энергии за определенный период времени. Это измерение представляет все

звуки, которые происходят в определенном месте в течение определенного периода времени, с одним средним значением.

В некотором смысле измерение $L_{\text{экв}}$ является более эффективным способом оценки шумового загрязнения. Суть в том, что длительное воздействие высоких уровней шума может нанести больше вреда человеческому уху, чем один очень громкий звук, который возникает в течение очень короткого периода времени. Это имеет место даже в том случае, если значение дБА кратковременного шума значительно выше, чем долгосрочные уровни звука.

Еще одна причина, по которой $L_{\text{экв}}$ является хорошим средством измерения уровня звука, заключается в том, что он позволяет лучше сравнивать уровни шумового загрязнения в разных местах. Поскольку они представляют средние или типичные условия, измерения $L_{\text{экв}}$ также могут использоваться для выявления проблемных областей, связанных с шумовым загрязнением [43].

1.1. Источники шумового загрязнения

Источники шумового загрязнения можно разделить на две категории:

1. Природные источники.

Природная среда наполнена различными звуками – раскатами грома извержениями вулканов, землетрясениями, оползнями и звуками, издаваемыми животными.

2. Антропогенные источники.

С ростом населения, увеличением масштабов человеческой деятельности и, как следствие, быстрой индустриализацией, урбанизацией и использованием современных средств передвижения шумовое загрязнение оказалось в лидерах среди физических загрязнителей приземной атмосферы.

Оба типа шумового загрязнения влияют на сон, слуховой аппарат, физическое и психологическое здоровье.

2.1. Автомобильный шум.

Современные транспортные средства, включая легковые и грузовые машины, автобусы, мотоциклы и скутеры, поезда, самолеты являются основными источниками шумового загрязнения приземной атмосферы крупных городов и их окрестностей.

2.2. Промышленный шум.

Промышленные и торговые предприятия, фабрики, заводы могут издавать разнообразные по характеристикам звуки: от монотонных продолжительных до резких оглушающих, которые, в любом случае, могут навредить слуху и спокойствию, проживающих поблизости людей. Шумовое загрязнение является неотъемлемой частью промышленной среды с тяжелыми машинами, механизмами и устройствами, используемыми в промышленности и, следовательно, такой шум растет вместе с ростом промышленности.

2.3. Строительные и ремонтные работы.

Безудержное строительство и ремонт также являются причинами шумового загрязнения в городской среде и её окрестностях. Возведение нового дома или микрорайона, прокладка нового дорожного полотна, труб и других систем поддержания комфортного уровня жизни в городских условиях почти всегда сопровождается различными по характеристикам шумами, что, так или иначе, сказывается на жителях.

2.4. Бытовой шум.

Из-за стремительного роста городского населения, жилые территории постоянно разрастаются и ради экономии места дома стараются расположить довольно близко друг к другу и, как следствие, уровень бытового шума увеличивается. Подобные районы могут быть наполнены различными шумами, доносящимися из множества квартир, которые могут вызвать проблемы с психикой, стресс, раздражение и т. д.

2.5. Шум из-за плохой городской планировки.

Ряд факторов, связанных с городским планированием, оказывают значительное влияние на уровень шума. Городская планировка может влиять на интенсивность движения и распределение транспортных потоков в городе. Также, близость промышленных и жилых зон может приводить к шумовому загрязнению, особенно если промышленные объекты не имеют соответствующих защитных мер и зоны буферной зоны между ними и жилыми районами.

Известно, что с временной и пространственной точки зрения наиболее важным источником шума в городах являются автомобили. Для этого устанавливается взаимоотношение между городским планированием и различными факторами (плотность, городская морфология, городское землепользование, распределение улиц и зеленые насаждения). Таким образом, факт нахождения условий более благоприятного города может быть ближе, по крайней мере, в отношении шумового загрязнения. Хорошее знание этих взаимосвязей позволит лучше анализировать и предотвращать такое загрязнение за счет эффективного проектирования городской среды [29].

1.2. Классификации шума

Шум можно классифицировать по временным показателям, спектральному составу и его характеру.

По спектральному составу шумы делятся на:

- низкочастотные (20-350 Гц);
- среднечастотные (350-1000 Гц);
- высокочастотные (свыше 1000 Гц).

По характеру спектрального состава шумы делятся на:

- тональные (в спектре присутствуют дискретные тона);
- широкополосные (с непрерывным спектром шириной более одной октавы).

По временным показателям шумы делятся на:

- постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день или за время измерения изменяется не более, чем на 5 дБА;
- непостоянные, для которых это изменение за 8-часовой рабочий день более 5 дБА.

Непостоянные шумы, также, делятся на:

- колеблющиеся, т.е. уровень звукового давления изменяется;
- прерывистые, т.е. уровень звука ступенчато изменяется на 5 дБА и более не чаще, чем через 1 сек. и более;
- импульсные, т.е. состоящие из нескольких звуковых сигналов, длительностью менее 1 сек. и разностью в уровнях звука 7 дБА [11].

1.3. Экологические и санитарно-гигиенические нормативы

В федеральном законе «Об охране окружающей среды» экологическое нормирование определяется как разработка нормативов, говорящих о качестве окружающей среды, а также нормативов допустимого воздействия на нее во время производственной или хозяйственной деятельности.

Механизмы экологического нормирования:

- исследования, направленные на обоснование норматива в рамках природоохранной сферы;
- разработка условий создания норматива;
- экспертные изыскания на утверждение норм;
- создание информационной базы по установленным нормам;
- контроль над использованием нормативов;
- прогнозирование последствий на социальном, экономическом или экологическом уровне.

Объектами экологического нормирования являются различные антропогенные факторы, которые влияют или могут повлиять на биосферу,

а также на отдельные её компоненты, и природные факторы, воздействующие на человека [4].

Основы нормирования в области охраны окружающей среды:

1. Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

2. Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, иных нормативов в области охраны окружающей среды, а также государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны окружающей среды.

3. Нормативы и нормативные документы в области охраны окружающей среды разрабатываются, утверждаются и вводятся в действие на основе современных достижений науки и техники с учетом международных правил и стандартов в области охраны окружающей среды.

4. Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в порядке, установленном Правительством РФ. Нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

5. Разработка нормативов в области охраны окружающей среды включает в себя:

- проведение научно-исследовательских работ для обоснования нормативов в области охраны окружающей среды;

- установление оснований для разработки или пересмотра нормативов в области охраны окружающей среды;

– утверждение и опубликование нормативов в области охраны окружающей среды в установленном порядке;

– оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения нормативов в области охраны окружающей среды [10].

К числу вредных физических факторов можно отнести тепловое, радиационное, акустическое воздействие, вибрации, магнитные, электрические и электромагнитные поля и с точки зрения оценки качества окружающей среды на определенной территории одними из наиболее важных являются акустические характеристики.

Для подобной оценки устанавливаются нормативы физического состояния окружающей среды – предельно допустимые уровни (ПДУ).

ПДУ шума – уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Нормирование шума производится по комплексу показателей с учетом их гигиенической значимости на основании следующих санитарных норм:

1) санитарные нормы «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (СН 2.2.4/2.1.8.562-96);

2) санитарные нормы «Инфразвук на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (СН 2.2.4/2.1.8.583-96).

Параметрами нормирования постоянного шума являются значения L , дБ в девяти октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Совокупность этих девяти допустимых уровней звукового давления составляет предельно допустимый уровень шума (табл. 1).

Таблица 1 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука проникающего шума в помещения жилых зданий и на селитебных территориях

Помещение, территория	Время	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L _A и L _{Aэкв.} , дБА	L _{Aмакс.} , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Жилые комнаты квартиры	7-23	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	23-7	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
Территории, прилегаю- щие к жилым домам	7-23	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	23-7	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Для ориентировочной оценки общего уровня шума допускается использовать уровень звука (L_A, дБА), измеренного по шкале «А» шумомера (характеристика А имитирует кривую чувствительности уха человека).

Нормируемой характеристикой непостоянного шума является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА.

Эквивалентный уровень звука непостоянного шума (дБА) – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет то же самое среднее квадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

Предельно допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, разработанные с учетом категорий тяжести и напряженности труда, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест СН 2.2.4/2.8.1.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [11]

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Творческая и научная деятельность, преподавание и обучение, врачебная деятельность и т.д. Рабочие места в помещениях дирекции, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в медпунктах и т.д.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2.Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории;	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3.Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа;	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4.Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами;	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5. Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в П. 1-4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

1.3.1. Методика измерения шума на селитебной территории и в жилых зданиях

1. При измерении уровня шума предпочтительнее закреплять микрофон или шумомер на штативе. При этом сам микрофон или шумомер должен быть направлен к источнику шума. Если источник шума неизвестен, то измерительный микрофон должен быть вверх перпендикулярно поверхности.

2. Во время измерений шума оператор, проводящий измерение, должен находиться от измерительного микрофона на расстоянии не менее 0,5 м для уменьшения нежелательных отражений звука. Между измерительным микрофоном и источником шума не должны находиться какие-либо лица или размещаться посторонние (особенно крупногабаритные) предметы.

3. Перед проведением измерения шума как на селитебной территории, так и в помещениях жилых и общественных зданий необходимо:

- определить, шум от каких источников будет измеряться и оцениваться (общий шум или шум известного источника);
- убедиться в наличии или отсутствии акустических помех;
- определить категорию шума (постоянный, непостоянный).

4. При проведении измерений уровней шума от известных источников измерения следует проводить сначала при работающих источниках, а затем в тех же точках при выключенных источниках (фоновый шум).

5. Если разность между измеренным уровнем шума от известных источников и уровнем фонового шума не превышает 10 дБ, то необходимо внести поправку в результаты измерения.

6. Если разность уровней шума при работающих и при отключенных известных источниках шума менее 3 дБ, то необходимо перенести измерения на более тихий период суток (с меньшим уровнем фона). При отсутствии возможности в любой период суток обеспечить разность уровней шума при работающих и при отключенных известных источниках не менее 3 дБ принимается решение о невозможности корректной оценки влияния данных источников шума. В этом случае допустимо проводить измерение и оценку только общих (суммарных) уровней шума в данной ситуации в данное время, о чем в протоколе измерений должна быть сделана соответствующая запись.

7. Время оценки шума на селитебной территории и в жилых зданиях должно определяться, исходя из цели измерений.

8. Непосредственные измерения шума должны проводиться в такие периоды, чтобы в процессе измерений были зарегистрированы все типичные шумовые ситуации в месте измерений, в том числе и наиболее шумные периоды действия источников шума. Для их выявления должно

быть проведено предварительное изучение периодов действия основных источников шума и установлена категория излучаемого ими шума.

9. Измерения шума проводятся отдельно для дневного (с 7.00 до 23.00 ч) и для ночного (с 23.00 до 7.00 ч) периодов суток при условии действия основных источников шума в соответствующий период. Если режим работы источника шума не меняется в течение суток, то допускается проведение измерений только в дневное время при условии распространения полученных результатов и на ночное время. При этом оценка шума должна проводиться отдельно как для дневного, так и для ночного периода суток в соответствии с допустимыми для них уровнями шума.

10. Продолжительность отдельного непосредственного измерения шума (длительность временного интервала измерения) должна приниматься в зависимости от характера шума. Допускается выбирать в течение времени оценки (временного интервала наблюдения) несколько временных интервалов измерения различной длительности, которые могут отделяться друг от друга паузами. При этом суммарная длительность временных интервалов измерения может быть меньше или равняться времени оценки шума. Измерения в каждой точке измерения должны быть проведены не менее чем для трех временных интервалов.

11. При измерении постоянного шума минимальная продолжительность каждого измерения должна быть такой, чтобы изменения эквивалентного уровня звука или изменения эквивалентных уровней звукового давления в каждой октавной или третьоктавной полосе при временной характеристике «медленно» составляли бы в течение 1 мин. не более 0,5 дБ.

12. При измерении колеблющегося шума длительность измерительного интервала в каждой измерительной точке должна составлять не менее 5 мин. В отдельных случаях, например, когда необходимо измерить шум от инженерного оборудования в квартире, но при этом наблюдается высокий фон от движения транспорта перед домом,

допускается выбирать несколько интервалов измерения длительностью менее 5 мин в периоды наименьшего фонового шума.

13. При измерении прерывистого шума длительность измерительного интервала должна охватывать не менее трех следующих подряд друг за другом циклов характерного действия источника прерывистого шума.

14. При измерении импульсного шума длительность измерительного интервала должна охватывать не менее десяти следующих подряд друг за другом импульсов шума или фактическое количество импульсов шума при меньшем их числе.

15. Во время проведения измерения шума должна быть зафиксирована вся необходимая информация об источнике или нескольких источниках шума, о месте, времени и условиях измерения, о применявшейся аппаратуре и о полученных результатах измерений, достаточная для составления протокола проведения измерения шума в соответствии с приложением А [3].

1.4. Методы картографирования шума

Карты создаются с использованием различных методов картографического представления и экстраполяции полученной информации, а сам процесс создания карты называется картографированием или картированием. Существуют различные способы картографирования:

– способ значков. Этот метод использует небольшие символы или иконки для передачи информации о конкретных объектах или явлениях на карте. Каждый значок представляет определенный объект или концепцию, такие как деревья, здания или достопримечательности;

– способ линейных знаков. В этом методе линейные объекты, такие как дороги, реки или железные дороги, изображаются с помощью линий разной толщины и стиля. Линии отображают пространственное распределение и характеристики представляемых объектов;

– способ изолиний. Изолинии – это линии на карте, соединяющие точки с одинаковым значением для определенного атрибута или явления. Обычные примеры включают контурные линии на топографических картах, которые соединяют точки с одинаковой высотой;

– способ качественного фона. Этот метод использует разные цвета или узоры, чтобы представить качественные данные или атрибуты. Он может использоваться для отображения землепользования, типов растительности или любой другой категориальной информации на карте;

– способ локализованных диаграмм. В этом методе используются небольшие диаграммы внутри карты, чтобы предоставить подробную информацию о конкретной области или объекте. Он помогает представить сложные данные или взаимосвязи лаконичным и локализованным образом;

– способ точек. В этом методе индивидуальные точки или символы используются для представления конкретных объектов или событий. Он может использоваться для указания местоположений городов, достопримечательностей или других дискретных объектов;

– способ областей. Этот метод использует разные формы или области для представления разных атрибутов или количеств. Например, фоновые картограммы используют градиенты цвета или узоры для отображения разных уровней переменной, такой как плотность населения или доход, в определенных географических областях;

– способ знаков движения. Этот метод представляет движение или поток объектов, людей или явлений с помощью направленных стрелок, или линий. Обычно он используется для изображения транспортных сетей, миграционных паттернов или распространения заболеваний;

– способ картограмм. Картограмма – это специальная карта, искажающая географические формы или размеры областей для представления определенной переменной или атрибута. Он предоставляет визуальное представление данных, изменяя размеры областей в соответствии со значениями, которые они представляют. Например, на

картограмме населения страны или регионы масштабируются в соответствии с их численностью населения, а не с их фактическим географическим размером.

Эти методы картографического представления используются для эффективной передачи пространственной информации, паттернов и взаимосвязей на карте, в зависимости от типа данных и целей картографического представления [9].

Процесс картирования шумового загрязнения может осуществляться как вручную, с использованием специализированных инструментов, так и с помощью компьютерных программ, таких как «SoundPLan», «ExNoise» или «Эколог-Шум». Они применяют методы векторного вычисления для определения уровней шума в конкретных точках расчета. Эти современные программные решения предоставляют обширный набор инструментов для картографирования и анализа шума, что позволяет проводить точную и подробную оценку распределения шума в различных областях.

Использование компьютерных программ может быть сведено к двум распространенным случаям:

1. Экстраполяция результатов полевых исследований (для получения более полной картины распределения).
2. Создание прогностических моделей, которые позволяют предположить закономерность изменений в распространении шума через определенное количество лет или в результате реконструкции автомагистрали.

В связи с этим все большее значение приобретают программные пакеты, способные обрабатывать упрощенные планы местности, такие как те, которые получены путем оцифровки топологических карт. Эти программные средства обеспечивают эффективную обработку и анализ пространственных данных, позволяя создавать точные представления о местности и ее особенностях. Используя такое программное обеспечение, исследователи и проектировщики могут эффективно изучать и

моделировать различные аспекты, связанные с шумовым загрязнением, включая схемы его распространения, области потенциального воздействия и эффективность мер по снижению шума.

В настоящее время существует дополнительный фактор, влияющий на выбор модели для расчета распространения шума. В связи с растущей тенденцией строительства густонаселенных районов, явление множественных отражений от фасадов зданий вносит значительный вклад в общее распространение шума. Более того, при наличии соседних зданий становится крайне важным автоматически учитывать дифракционную составляющую распространения шума, поскольку она сильно влияет на характер распространения звуковой волны.

Основные научные и технические проблемы, возникающие при одновременном соблюдении санитарных норм, связанных с шумом, и требований к экологическим данным, в первую очередь связаны с доступностью данных. Соответствие имеющихся данных стандартам, обеспечение функциональной совместимости и доступности открытых данных являются особенно важными соображениями.

Кроме того, часто не хватает информации о физических свойствах различных элементов окружающей среды. Например, характеристики земельных участков часто сложно найти в открытом доступе или они плохо определены. Несмотря на небольшое количество данных из открытых источников, интеграция их в инструменты моделирования остается сложной задачей из-за проблем, связанных с неопределенностью местоположения, точностью по времени, охватом и описанием атрибутов.

Так или иначе, свойства фасадов зданий, такие как их тип, возраст и местоположение, которые в настоящее время получены из альтернативных источников, таких как OpenStreetMap или порталы открытых данных, отражают более широкую тенденцию к продвижению открытого доступа к данным. Такая ситуация ставит новые задачи перед экологической оценкой,

включая разработку методов обработки данных для сбора, документирования и объединения информации от различных поставщиков [8].

На распределение шумового загрязнения внутри населенного пункта, в первую очередь, влияют специфические характеристики его городской планировки. Такие факторы, как конфигурация дорожной сети, расположение промышленных и социально-культурных объектов, насыщенных различными стационарными и мобильными источниками шума, вносят значительный вклад в общую шумовую нагрузку. Однако в пределах определенной территории уровень шума может сильно варьироваться в зависимости от таких факторов, как наличие зеленых насаждений, шумозащитных барьеров, ориентации зданий и других местных факторов. Поэтому при изучении закономерностей шумового загрязнения в населенных пунктах геоинформационные методы играют решающую роль в сборе, анализе и моделировании исходных данных. Цифровые и электронные карты, наряду с картографическими моделями, служат важными инструментами для разработки мер по защите от шума.

В настоящее время для составления карт шумового загрязнения в городах обычно используются следующие подходы:

1. Создание карт на основе полевых измерений, проведенных с использованием шумомеров в заранее определенных местах. На этих картах показаны эквивалентные уровни шума, скорректированные с учетом частоты звука и измеренные в децибелах.

2. Оценка шумовой нагрузки с использованием косвенных показателей, таких как характеристики транспортных потоков и схемы застройки земель. В данном случае основное внимание при составлении карты уделяется таким атрибутам транспортного потока, как интенсивность, объем, состав и плотность, которые используются для расчета шумовой нагрузки.

Оба подхода имеют свои плюсы и минусы, но их объединяет в значительной степени зависимость от полевых измерений. Это связано с

тем, что инструментальные методы играют доминирующую роль в акустических исследованиях. Используя технологии GPS для записи координат точек отбора проб, и ГИС-технологии для последующего моделирования уровней шума в прилегающих районах, процесс формирования полного набора данных может быть упрощен и ускорен [7].

Европейский подход основан на упрощенной реализации французского национального метода «NMPB-08», который состоит из двух этапов:

1. Оценка исходящего шума от дорог.

2. Расчет уровней звука по запрограммированной сети приемников, Каждый компонент реализации основан на нескольких гипотезах по сравнению с этими двумя последними методологическими руководствами для снижения вычислительной нагрузки и решения проблемы нехватки входных данных.

В отношении уровней шума применяются значительные упрощения, которые касаются описания типа и возраста дорожного покрытия, секций дороги для остановок и стартовых участков, поток транспортных средств и распределения их движения в различные времена суток, вследствие отсутствия соответствующих данных.

Однако следует отметить, что большинство дорог в населенных районах имеют непроницаемое покрытие, а особенно такие покрытия активно используются на участках с ограничением скорости свыше 70 или 90 км/ч. Поэтому, при моделировании, игнорируются иные типы покрытий, такие как резиновый асфальт.

Отсутствие указанной информации также оказывает влияние на моделирование распространения звука. Проблема заключается в том, что данные о землепользовании обычно представлены в другой географической системе, что затрудняет их совмещение с другими данными. Более того, применяется упрощение при расчетах распространения звука, используя двумерные модели вместо трехмерных. Это означает, что источников звука

размещаются близко к поверхности земли, а приемники, соответственно, на той же горизонтальной плоскости, что и источники. Таким образом, отраженные и дифрагированные звуковые поля остаются в одной плоскости, параллельной поверхности земли. Учитывается только горизонтальная дифракция на вертикальных краях зданий, позволяя звуковым волнам распространяться вокруг зданий. Однако не учитывается вертикальная дифракция на горизонтальных краях зданий, что означает, что звуковые волны не могут распространяться над зданиями.

Важно отметить, что влияние последнего упрощения на предсказание уровней шума относительно невелико в условиях плотной застройки с несколькими источниками звука, как это наблюдается в городских районах, где доминирующими составляющими звукового поля являются прямая и отраженная составляющие, а дифрагированная составляющая играет меньшую роль.

Кроме того, поскольку метеорологические условия влияют на отражение звука от поверхности земли и вертикальную дифракцию, которые не учитываются из-за вышеупомянутых упрощений, рассматриваются только однородные атмосферные условия при проведении расчетов [20].

Пространственный анализ относится к набору аналитических методов, используемых для изучения паттернов, взаимосвязей и процессов в пространственно-ссылочных данных. Он включает изучение того, как географические объекты и их характеристики взаимодействуют и влияют друг на друга. Пространственный анализ использует различные методы и инструменты для анализа и интерпретации пространственных данных, таких как географические информационные системы (ГИС), статистический анализ и моделирование.

Пространственная интерполяция, с другой стороны, является конкретным методом, используемым для оценки или предсказания значений в ненаблюдаемых местах в географическом пространстве на

основе известных значений в наблюдаемых местах. Она широко применяется, когда в пространственном наборе данных имеются пропуски или отсутствующие точки данных. Анализируя существующие точки данных и их пространственные взаимосвязи, методы интерполяции могут генерировать оценки для недостающих местоположений. Эти оценки обычно основаны на статистических или геометрических алгоритмах, направленных на создание правдоподобного представления пространственного изменения данных. Интерполяция может использоваться для различных целей, таких как создание непрерывных поверхностей на основе точечных данных, генерация моделей высот или оценка окружающей среды переменных в местах без замеров [36].

Выводы по первой главе

Из определения звука и его характеристик следует то, что высокочастотный звук имеет короткий временной период и короткую длину волны, а низкочастотный звук наоборот, следовательно, звук с выраженной низкочастотной составляющей будет более раздражительным за счёт своего всепроникающего характера, в отличие от высокочастотного, т.к. его распространение могут остановить зелёные насаждения, стены, шумозащитные экраны и т.п.

Существует множество источников шума, среди которых наиболее распространенным является автомобильный шум. Это основной источник шума на территории городской застройки, а значит важно его контролировать. С этой целью разработаны следующие санитарные нормы: СН 2.2.4/2.1.8.562-96 и СН 2.2.4/2.1.8.583-96, а также, разработана методика измерения шума на селитебной территории и в жилых зданиях.

Для выявления загрязненных шумом территорий, интерпретации и экстраполяции полученных данных, а также, для создания прогностических моделей используются различные способы картографирования шума (способ изолиний, точечный способ, способ картограммы и т.д.).

В настоящее время наиболее распространены следующие подходы:

1) создание карт по данным полевых измерений при помощи шумомеров в заранее определенных точках местности;

2) оценка шумовой нагрузки по косвенным показателям (особенности транспортного потока, характер застройки территории и пр.).

Оба подхода характеризуются большими массивами данных, для хранения, обработки и анализа которых используют различные ГИС-технологии, в том числе пространственную интерполяцию, которая помогает быстро оценить уровень загрязнения местности и выявить наиболее загрязненные участки, требующие принятия ряда мер по снижению уровня шума.

ГЛАВА 2. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДОРОВЬЕ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) задокументировала семь категорий неблагоприятных для здоровья и социальных последствий шумового загрязнения, независимо от того, являются ли они профессиональными, социальными или экологическими:

- ухудшение слуха,
- нарушение речи,
- сердечно-сосудистые нарушения,
- проблемы с психическим здоровьем,
- нарушение когнитивных функций,
- негативное социальное поведение,
- бессонница.

Последний считается наиболее вредным не слуховым эффектом из-за его влияния на качество жизни и дневную работоспособность. Шум окружающей среды, в большей степени создаваемый транспортными средствами считается основной причиной экзогенных нарушений сна после соматических нарушений [23].

2.1. Ухудшение слуха

Шум является основной предотвратимой причиной потери слуха, которая может быть вызвана однократным воздействием интенсивного импульсного звука (взрыв и выстрел) или постоянным длительным воздействием при уровнях звукового давления выше 75-85 дБ, например, в промышленных условиях или на крупных дорогах города. Характерной патологической особенностью потери слуха, вызванной шумом, является потеря слуховых сенсорных клеток в улитке. Поскольку эти волосковые клетки не могут регенерировать, ремиссии наступить не может. Профилактика потери слуха, вызванной шумом, является единственным

способом сохранить слух. Потеря слуха, ведущая к неспособности различать различные звуки в повседневных ситуациях, может иметь серьезные социальные последствия, а также может повлиять на когнитивные способности и понизить внимание к выполнению поставленных задач. Несчастные случаи также связаны с не диагностированной потерей слуха, при этом избыточная смертность составляет 10-20% за 20 лет [27].

Потеря слуха, вызванная шумом, является проблемой общественного здравоохранения. С помощью глобального бремени болезней подсчитано, что от потери слуха страдает около 1,3-1,5 млрд. человек, и исследователи оценили потерю слуха как 13-ю по значимости причину (19,9 млн. лет, 2,6 % от общего числа) глобального количества лет, прожитых с инвалидностью (YLD). Потеря слуха у взрослых, не связанная с конкретным процессом заболевания, составила 79 % случаев YLD от потери слуха. В США и Европе 26 % взрослых страдают двусторонним нарушением слуха, и еще у 2 % имеются существенные односторонние проблемы со слухом. Распространенность шума с поправкой на возраст аналогична в Азии [21]. По оценкам ВОЗ, 10 % населения мира подвергается воздействию высоких уровней звукового давления, которые потенциально могут вызвать потерю слуха [28].

2.1.1. Потеря слуха, вызванная профессиональным шумом

Несмотря на внедрение стандартов защиты слуха, снижение воздействия профессионального шума в развитых странах и активные усилия общественного здравоохранения, потеря слуха остается дилеммой и находится в центре внимания обширных исследований. Потеря слуха, вызванная шумом, является наиболее распространенным профессиональным заболеванием в США. Около 22 млн. американских работников подвергаются воздействию опасных уровней шума на работе, и

ежегодно, по оценкам, 242 млн. долларов США расходуются на компенсацию инвалидности в связи с потерей слуха.

Многие страны применяют общее законодательство в области охраны труда и техники безопасности, которое определяет максимальные уровни воздействия и требования к действиям, включая оценку шума, регулярное аудиометрическое тестирование, защитное оборудование и мониторинг, которые предназначены для защиты как работников, так и населения. Однако имеющиеся доказательства связи между воздействием профессионального шума и потерей слуха сложны, и их качество варьируется.

Авторы обзора Кокрейновского сотрудничества пришли к выводу, что для лучшего предотвращения потери слуха, вызванной шумом, необходимы более качественные программы профилактики, более качественные исследования, особенно в области технического контроля, и более эффективное применение законодательства. Этот обзор также показал, что текущие усилия по профилактике потери слуха сосредоточены на защите слуха, а не на контроле шума.

Точный уровень воздействия шума в промышленных условиях, который несет риск повреждения слуха, обсуждается на международном уровне. Например, в Великобритании «Правила контроля шума на рабочем месте» устанавливают следующие уровни: $L_{\text{ср.экв.за8часов}} = 80$ дБ (защита может предоставляться по желанию) и 85 дБ (защита обязательна). 3-летнее последующее расследование 19 британских компаний, которые имели различную степень соответствия требованиям, показало, что эти значения были безопасными. Однако для подтверждения этих выводов необходимы исследования с более длительным периодом наблюдения. Администрация по безопасности и гигиене труда США (OSHA) продвигает менее строгие стандарты, чем другие, и устанавливает допустимый предел воздействия на уровне $L_{\text{ср.экв.за8часов}} = 90$ дБ. Однако, согласно правилам OSHA, работодатели должны осуществлять программу сохранения слуха, если работники

подвергаются воздействию уровней, превышающих 85 дБ. Хотя потеря слуха, вызванная шумом, хорошо известна в промышленных условиях, люди с другими профессиями, такие как музыканты или те, кто работает в вооруженных силах, также вносят существенный вклад в общее бремя потери слуха, вызванной шумом [40].

2.1.2. Воздействие социального шума

Чрезмерный шум часто воспринимается как часть общественной среды. Хотя уровень шума на производстве снизился с начала 80 г.г. XX в., число молодых людей с соответствующей степенью воздействия социального шума утроилось за тот же период. Все больше работ посвящено оценке риска потери слуха у подростков из-за использования персонального музыкального проигрывателя. В одном исследовании 66 % молодых людей, посещающих ночные клубы или рок-концерты в районе Ноттингема в Англии, сообщили о временных слуховых эффектах или звоне в ушах. Для снижения риска потери слуха при использовании персонального музыкального проигрывателя необходимы как более безопасные продукты, так и кампании общественного здравоохранения. Наушники с шумоподавлением являются эффективной профилактической мерой для уменьшения опасности использования персональных музыкальных плееров [32].

2.1.3. Вызванная шумом потеря слуха и возраст

Вызванная шумом потеря слуха определяется воздействием шума и событиями в течение жизни, соответственно, могут быть затронуты все возрастные группы. Воздействие различных типов шума с раннего детства может иметь кумулятивные последствия для нарушения слуха во взрослом возрасте. Появляется все больше доказательств того, что ранние социальные и биологические факторы могут влиять на слух в среднем возрасте (например, исследование пациентов, обследованных в возрасте 45 лет). Распространенность потери слуха тесно связана с возрастом. Данные

свидетельствуют о том, что патологические, но сублетальные изменения, вызванные ранним воздействием шума, существенно повышают риск старения внутреннего уха и связанной с этим потери слуха. Помимо шума, с возрастной потерей слуха связаны такие факторы, как употребление алкоголя и табака, а также гипергликемия. Таким образом, инициативы общественного здравоохранения должны касаться как общего состояния здоровья, так и здоровья слуха [30].

2.2. Нарушение речи

Часть людей, страдающих от тугоухости, при проведении речевой аудиометрии имеют существенное нарушение разборчивости речи, которая является более нарушенной, чем тональный слух. Это нарушение фонематического слуха известно, как «фонематическая регрессия». Тональная аудиограмма показывает незначительное понижение слуха, которое плавно возрастает на высоких частотах (в области 8-16 кГц), при этом фонематический слух существенно снижен. Часто при этом у больных могут быть симптомы сосудистых нарушений. Фонематическая регрессия предшествует более серьезным нарушениям умственной деятельности и связана с частичным нарушением кровообращения мозга. По Кархарту, фонематическая регрессия является признаком центральной глухоты. Ранним признаком коркового поражения слуха является нарушение разборчивости речи при нагрузке на психику, напряжении нервной системы, а также при наличии шумовых помех.

В дальнейшем наблюдается нарушение слуха и в обычных условиях. Исследования показывают, что возникает диссоциация между восприятием речи и тональным слухом, а также увеличивается утомляемость органа слуха. В поздней стадии распространение торможения на подкорковые узлы по системе звукового анализатора вызывает ухудшение тонального слуха. Членораздельное, четкое восприятие речи – это высшая функция коркового конца слухового анализатора, которая реализуется благодаря

формированию временных связей в процессе овладения речью. Она основана на выделении сигнальных признаков речи и подавлении других несущественных признаков. Небольшое искажение звуков при передаче речи по радио и телефону увеличивает требования к анализу и синтезу звуков, что становится сложной задачей при нарушении функции коры мозга. Поэтому изначально появляются затруднения при прослушивании радио, разговоре по телефону и т.д.

В первую очередь у больных с нарушением восприятия речи наблюдается проблема с односложными словами, в то время как у двусложных слов разборчивость может сохраняться на приемлемом уровне, т.е. если больной может услышать односложные слова только на расстоянии не более 1 м., то двусложные слова с похожим звуковым составом он может услышать на расстоянии 5-6 м. При этом могут поступать жалобы на плохое восприятие речи и частое повторение сказанного, что подтверждается при исследовании разговорной и шепотной речью, хотя тональная аудиограмма может быть нормальной.

У некоторых больных, страдающих гипертонической болезнью, можно наблюдать такую резкую диссоциацию между тональным и речевым слухом. Стоит отметить, что при гипертонической болезни обычно не возникают глубокие нарушения анализа и синтеза речи, как это наблюдается у больных с поражением коры левой височной доли мозга. При достаточной громкости произношения слов анализ происходит нормально. Некоторые исследования также указывают на наличие гиперacusии у больных с гипертонической болезнью, т.е. о повышенной чувствительности органа слуха к высоким звукам, что проявляется в повышении кровяного давления при воздействии [12].

2.3. Сердечно-сосудистые проблемы

Согласно модели шумовых эффектов Бабиша, помимо прямого слухового воздействия шума на организм (повреждение акустического

аппарата очень громкими звуками), не слуховые эффекты шума в первую очередь ответственны за запуск каскада стресса (рис. 2). Долгосрочный или кратковременный шум окружающей среды может вызывать реакции стресса, опосредованные нарушениями сна, общения и активности вместе с соответствующими когнитивными и эмоциональными реакциями. Они влияют на вегетативную (симпатическую) и эндокринную системы, например, повышенные концентрации катехоламинов и кортизона могут в результате привести к изменениям в метаболизме липидов, метаболизме глюкозы и регуляции артериального давления, которые затем способствуют повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний.

Как краткосрочные лабораторные исследования на людях, так и долгосрочные исследования на животных выявили биологические механизмы и правдоподобность теории о том, что длительное воздействие шума окружающей среды влияет на сердечно-сосудистую систему и вызывает выраженные заболевания, включая гипертонию, ишемическую болезнь сердца и инсульт. Острое воздействие различных видов шума связано с возбуждением вегетативной нервной системы и эндокринной системы. Исследователи неоднократно отмечали, что воздействие шума повышает систолическое и диастолическое кровяное давление, изменяет частоту сердечных сокращений и вызывает выброс гормонов стресса, включая катехоламины и глюкокортикоиды. Общая модель стресса является обоснованием этих реакций. Потенциальными механизмами являются реакции эмоционального стресса из-за воспринимаемого дискомфорта (косвенный путь) и неосознанный физиологический стресс от взаимодействия между центральной слуховой системой и другими областями ЦНС (прямой путь). Прямой путь может быть преобладающим механизмом у спящих людей, даже при низких уровнях шума [14].

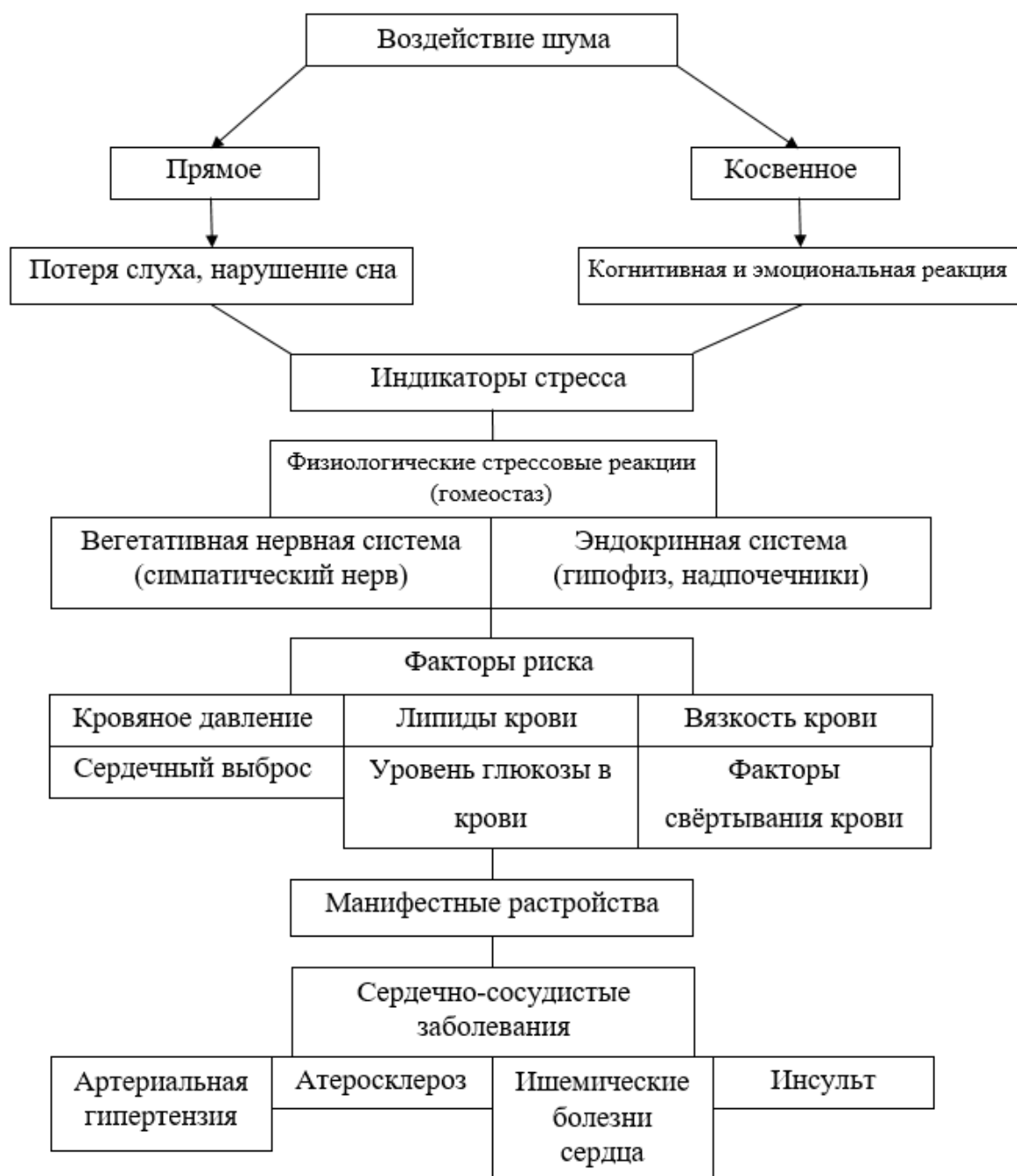


Рисунок 2 – Модель шумовых эффектов Бабиша

Хроническое воздействие может вызвать дисбаланс в гомеостазе организма (аллостатическая нагрузка), который влияет на обмен веществ и сердечно-сосудистую систему, с увеличением установленных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как артериальное давление, концентрация липидов в крови, вязкость крови и концентрация глюкозы в крови. Эти изменения повышают риск гипертонии, атеросклероза и связаны с тяжелыми событиями, такими как инфаркт миокарда и инсульт. Исследования профессиональной эпидемиологии и экологической

эпидемиологии показали более высокую распространенность сердечно-сосудистых заболеваний и смертность в группах, подвергающихся сильному воздействию шума. Оценки риска для профессионального шума с интенсивностью, повреждающей слух, как правило, выше, чем для шума окружающей среды (при более низких уровнях шума). Из-за различных акустических характеристик для разных источников шума (уровень звука, частотный спектр, временной ход, время нарастания уровня звука и психоакустические показатели) уровни шума от разных источников шума нельзя объединить в один показатель в децибелах. Для разных источников шума необходимы разные кривые «воздействия-реакции». Были проведены мета-анализы для количественной оценки связи между воздействием шума транспорта и реакцией на него (воздействие шума от автомобильной дороги и авиационного шума) и последствиями для здоровья (гипертония и ишемические болезни сердца, включая инфаркт миокарда). Исследователи определили увеличение риска на 7-17 % на каждые 10 дБ при увеличении эквивалентного уровня шума. Их результаты были скорректированы с учетом известных факторов риска, таких как возраст, пол, социально-экономический статус, курение, индекс массы тела и другие. Исследователи определили пол и возраст как модификаторы эффекта. Исследования комбинированного воздействия шума и загрязнения воздуха показали в значительной степени независимые эффекты, что может быть объяснено различными механизмами того, как оба воздействия могут влиять на здоровье (когнитивная и вегетативная реакция на стресс против воспалительных процессов) [15].

2.3.1. Ишемическая болезнь сердца

Три метаанализа показали, что шум дорожного движения приводит к значительному увеличению ишемической болезни сердца. Метаанализ, опубликованный Vienneau и др. в 2015 г., охватывал исследования о связи между шумом от самолетов и дорожного движения и частотой ишемической

болезни сердца. Для шума дорожного движения они обнаружили объединенный относительный риск, начиная с 50 дБ и при увеличении на 10 дБ (взвешенный уровень шума днем с 7 утра до 19 вечера; вечером с 7 до 11 вечера; ночью с 11 вечера до 7 утра в течение 24 часов, с добавлением 5 дБ для вечернего периода и 10 дБ для ночного). Этот эффект сохранялся после коррекции на переносимые воздухом токсины (в основном, оксиды азота или диоксид азота, документально подтвержденные в подгруппе исследований) и исключения исследований без данных о поведении при курении. Метаанализ, проведенный Бабишем, пришел к аналогичному выводу, начиная с 52 дБ и при увеличении на 10 дБ шума дорожного движения (взвешенный уровень дневного и ночного шума в течение 24 часов с добавлением 10 дБ). В исследовании ВОЗ, опубликованном в 2018 г., исследователи проанализировали лонгитюдные исследования и обнаружили, что шум дорожного движения, начинающийся с 50 дБ и увеличивающийся на 10 дБ, повышает частоту ишемической болезни сердца на 8 % [41].

2.3.2. Инфаркт миокарда

Когортные исследования, в которых учитывались загрязнители воздуха, социально-экономический статус и факторы образа жизни, выявили значительную связь между шумом дорожного движения и возникновением инфарктов миокарда. Данные большой датской когорты (50744 человек) показали, что воздействие шума дорожного движения (среднее значение за 10 лет), независимо от концентрации диоксида азота в воздухе, было связано с коэффициентом опасности (HR), равным 1,12 [1,03; 1,21] на межквартильном интервал дневного уровня шума [33].

В общенациональном когортном исследовании в Швейцарии (4415206 человек) авторы исследовали влияние шума от самолетов, автомобильного и железнодорожного транспорта на смертность от проблем, связанных с сердечно-сосудистой системой. Наиболее сильные ассоциации

наблюдались для смерти от инфаркта миокарда, с ЧСС 1,038 [1,019; 1,058] для шума дорожного движения, 1,018 [1,004; 1,031] для шума железнодорожного движения и 1,026 [1,004; 1,048] для шума воздушного судна, начиная с 30 дБ (для шума железнодорожного движения и самолетов) или 35 дБ (для дорожного движения) и при увеличении уровня дневного шума на 10 дБ с поправкой на концентрацию диоксида азота в воздухе [25].

Анализ датской когорты (57053 человек) показал, что шум дорожного движения, начинающийся с 42 дБ и увеличивающийся на 10 дБ, повышает частоту возникновения инфаркта миокарда на 12 % (коэффициент заболеваемости IRR) [1,02; 1,22] независимо от концентрации оксида азота в воздухе, курения, образования и питания [37].

2.3.3. Инсульт

В том же анализе датской когорты Sørensen M. и др. обнаружили, что, начиная с 55 дБ и при увеличении уровня дневного шума на 10 дБ, шум дорожного движения увеличивает риск инсульта на 14 % (IRR [1,03; 1,25]), независимо от концентрации NO в воздухе, курения, питания и потребления алкоголя [38].

Крупное исследование, в котором приняли участие 3,6 млн. жителей района вокруг аэропорта Хитроу вблизи Лондона, продемонстрировало, что авиационный шум, после учета факторов возраста, пола и образа жизни, был дозозависимо связан с увеличением числа госпитализаций по причине инсульта как днем (с 7:00 до 11:00), так и ночью (с 11:00 до 7:00). Риск госпитализации был выше при авиационном шуме ночью (RR 1,29 [1,14; 1,46]), чем днем (OR 1,24 [1,08; 1,43]) при сравнении воздействия высокого и низкого шума. Результаты по смертности, связанной с инсультом, в этом исследовании были схожими даже после учета твердых частиц (PM₁₀). Этот набор результатов свидетельствует о том, что особенно авиационный шум ночью связан с большей нагрузкой на сердечно-сосудистую систему [13].

Другое исследование, проведенное в Лондоне, на этот раз с участием 8,6 млн. человек, показало, что после контроля загрязнения твердыми частицами (PM_{2,5}) шум дорожного движения в течение дня был связан с повышенным риском госпитализации, связанной с инсультом, у лиц в возрасте от 25 лет до 74 лет (RR 1,05 [1,02; 1,09]) и у лиц в возрасте 75 лет (RR 1,09 [1,04; 1,14]). Более того, шум дорожного движения в течение дня был достоверно связан с общей смертностью (OR 1,04 [1,00; 1,07]), хотя связь с сердечно-сосудистой смертностью не достигла значимости (OR 1,03 [0,98; 1,07]) [24].

2.3.4. Гипертония

Метаанализ исследований ван Кемпена и Бабиша показал, что шум дорожного движения связан с повышенным риском возникновения высокого кровяного давления (OR 1,034 [1,011; 1,056]), начиная с 45 дБ и при увеличении на 5 дБ) [39]. Этот анализ был ограничен перекрестными исследованиями, поэтому сила любых выводов о причинной роли шума ограничена. Однако крупные проспективные исследования продемонстрировали, что воздействие как авиационного шума, так и шума дорожного движения связано с повышенным риском гипертонии, причем более сильное воздействие оказывает авиационный шум ночью (OR 2,63 [1,21; 5,71]) при увеличении на 10 дБ ночью, чем шум дорожного движения (RR 1,03 [0,99; 1,07]) при увеличении на 10 дБ днём [22].

2.4. Влияние на психику

Анализ, основанный на данных GHS (Gutenberg Health Study), включающих 15010 человек, демонстрирует, что депрессия и генерализованное тревожное расстройство увеличивались дозозависимо от степени общего раздражения шумом (наивысший рейтинг раздражения из всех проанализированных категорий шума, включая шум самолетов, дорожного движения и железной дороги), даже после корректировки на пол,

возраст и социально-экономический статус. По сравнению с отсутствием раздражения коэффициент распространенности (КР) депрессии и генерализованного тревожного расстройства неуклонно увеличивался от незначительного, более чем умеренного и сильного до крайнего раздражения. В случае крайней раздражительности этот коэффициент для депрессии составил 1,97 (95 % CI: 1,62-2,39), а для генерализованного тревожного расстройства 2,14 (95 % CI: 1,71-2,67) [18].

Эти результаты были подтверждены в проспективном немецком исследовании Heinz Nixdorf Recall (HNR), показавшем, что шум дорожного движения был связан с повышенным относительным риском (ОР) выраженных депрессивных симптомов при последующем наблюдении: 1,29 (95 % CI: 1,03-1,62 для >55 дБ против ≤55 дБ) [31].

В другом исследовании на тему «воздействие-реакция», основанном на NORAH (Noise-related, Annoyance, Cognition and Health), изучалась связь между воздействием шума дорожного движения и риском возникновения депрессии. Шум дорожного движения был связан с отношением шансов (ОШ) 1,17 (95 % CI: 1,10-1,25) при уровнях шума >70 дБ, ОШ 1,23 (95 % CI: 1,19-1,28) был обнаружен при уровнях шума самолетов от 50 дБ до 55 дБ, а в случае шума железных дорог ОШ составил 1,15 (95 % CI: 1,08-1,22) при уровнях шума от 60 дБ до 65 дБ. Самый высокий ОШ 1,42 (95 % CI: 1,33-1,52) был выявлен при комбинированном воздействии шума из трех источников при уровнях шума выше 50 дБ [34].

2.5. Проблемы со сном

Сон является важным биологическим императивом, а также довольно активным процессом, который выполняет несколько жизненно важных функций. Спокойный сон достаточной продолжительности необходим для поддержания трудоспособности днём, поддержания высокого качества жизни и здоровья. Многочисленные экспериментальные исследования продемонстрировали, что ограничение сна вызывает, среди прочего,

изменения в метаболизме глюкозы и регуляции аппетита, ослабление иммунного ответа на вакцинацию, нарушение консолидации памяти и дисфункцию кровеносных сосудов. Они являются предвестниками таких явных заболеваний, как ожирение, диабет, высокое кровяное давление и, вероятно, также деменция [44]. По этим причинам нарушение сна, вызванное шумом, считается одним из наиболее важных не слуховых эффектов воздействия шума окружающей среды.

Слуховая система выполняет сигнальную функцию и постоянно сканирует окружающую среду на предмет потенциальных угроз. Люди воспринимают и реагируют на звуки даже во время сна. Шум в ночное время часто можно охарактеризовать как прерывистый, т.е. преобладают отдельные шумовые явления, а не постоянный фоновый шум. В данном случае воздействие на сон в первую очередь определяется количеством и акустическими свойствами, например, максимальным SPL или спектральным составом. Шум может сопровождаться вибрациями, например, от проезжающего вблизи поезда, а сочетание шума и вибрации вызывает более серьезные нарушения сна. Нарушение сна зависит и от ситуационных факторов, например, от глубины фазы сна, чувствительности. Повторяющиеся пробуждения, ухудшают качество сна и восстановление сил из-за изменений в его структуре, включая снижение продолжительности, замедленное начало сна и ранние пробуждения, менее глубокий и быстрый сон, а также больше времени, проведенное без сна и на поверхностных стадиях (рис. 3).

Неакустические факторы также могут влиять на сон. Внешние факторы, например, высокая температура и влажность и внутренние факторы, например, тревожность, ночные кошмары также могут вызывать пробуждение, затрудняя однозначное отнесение нарушения сна к шуму. В то же время классические показатели фрагментированного сна, например, пробуждения, движения тела являются частью физиологического процесса сна и происходят несколько раз в течение ночи и у здоровых людей, спящих

без внешних стрессоров, без патологических последствий. Например, здоровый взрослый человек ненадолго просыпается около 20 раз в течение 8-часового периода сна (большинство из этих пробуждений слишком короткие, чтобы вспомнить о них утром) [19].



Рисунок 3 – Схема влияния шума на сон

В настоящее время неясно, сколько дополнительных пробуждений, вызванных шумом, являются приемлемыми и не имеют последствий для восстановления сна и здоровья, особенно с учетом больших межиндивидуальных различий в восприимчивости к шуму. Хотя и присутствуют компенсаторные механизмы, неясно, в какой момент они исчерпываются или какие биологические издержки несут.

Краткосрочные последствия нарушения сна, вызванного шумом, включают ухудшение настроения, повышенную дневную сонливость и нарушение когнитивных функций. Предполагается, что вызванное шумом нарушение сна способствует повышению риска сердечно-сосудистых заболеваний, при воздействии в течение нескольких месяцев или даже лет.

Учитывая множество жизненно важных биологических функций сна и тот факт, что резко сокращенный или фрагментированный сон имеет немедленные последствия для бодрости и работоспособности на следующий день, воздействие шума на сон не следует оценивать исключительно на основе долгосрочных последствий для здоровья. Сон удовлетворяет базовую потребность человека, если его не нарушать, и он длится достаточно долго. Следовательно, нарушения сна, вызванные шумом или другими внешними или внутренними факторами, необходимо свести к минимуму даже при отсутствии четко установленных связей с долгосрочными последствиями для здоровья.

Одной из основных целей исследований шумовых эффектов является получение функций «воздействие-реакция», которые затем могут быть использованы для оценки воздействия на здоровье и, в конечном счете, для информирования о процессе принятия решений по борьбе с шумовым воздействием. Эти функции обычно имеют сигмоидальную (s-образную) форму и демонстрируют монотонно возрастающую вероятность реакции с увеличением максимальных уровней звукового давления (SPL) или уровней звукового воздействия (SEL). Максимальные значения SPL, достигающие 33 дБА, вызывают физиологические реакции во время сна, то есть, как только организм способен отличить шумовое событие от фонового, можно ожидать физиологических реакций. Этот порог реакции не следует путать с предельными значениями, используемыми в законодательных и политических установках, которые обычно значительно выше. Поскольку функции реагирования на воздействие, как правило, не сопровождаются четко различимым внезапным увеличением нарушений сна при определенном уровне шума и из-за индивидуальных различий в чувствительности к шуму, определение предельных значений не является простой задачей. Обычно это включает экспертную оценку существующих фактических данных и взвешивание негативных последствий шума для здоровья и социальной пользы от источника шума.

Эквивалентные уровни шума часто используются в обследованиях и эпидемиологических исследованиях в качестве показателей долгосрочного среднего воздействия и, следовательно, также часто встречаются в законодательном и политическом контекстах. Например, Руководящие принципы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по ночному шуму для Европы определяют воздействие ночного шума на основе среднегодовых значений ночного шума на открытом воздухе. Значение эквивалентных уровней шума при описании его воздействия на сон более ограничено, поскольку различные сценарии шумового воздействия могут рассчитываться для одного и того же эквивалентного уровня шума, но существенно различаются по своим свойствам, нарушающим сон. Существует общее согласие в том, что количество и акустические свойства отдельных шумовых событий лучше отражают фактическую степень нарушения ночного сна за одну ночь. Таким образом, сомнительно, можно ли использовать показатели ночного шума в качестве единственного показателя для прогнозирования воздействия шума на сон и последствий нарушения сна, вызванного шумом, или необходимы дополнительные показатели.

Люди, подвергающиеся воздействию шума, обычно привыкают. Например, вероятность того, что шум вызовет физиологические реакции, в целом выше в первые ночи лабораторного эксперимента, чем в последние, а зависимости «воздействие-реакция», полученные в полевых условиях, где испытуемые часто подвергались воздействию шума в течение многих лет, обычно намного меньше, чем те, которые получены в лабораторных условиях, которые часто включают воздействие незнакомых шумовых явлений в незнакомой обстановке. Привыкание является разумным механизмом, который сохраняет энергетические ресурсы. Однако привыкание не является полным, т.е. люди продолжают реагировать на шумовые события даже после нескольких лет воздействия. К сожалению, мало что известно об индивидуальных различиях в способности привыкать

к шуму и потенциальных предикторах. Важно отметить, что активации вегетативной нервной системы в гораздо меньшей степени приводят к привыканию к шуму по сравнению с возбуждением коры головного мозга. Они обеспечивают биологическую достоверность наблюдаемой связи между долгосрочным воздействием шума и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Также возможно, что подвергшиеся воздействию люди становятся более чувствительными к воздействию шума на сон. Это может быть связано, например, с индивидуальными изменениями, такими как старение, новое заболевание, изменения в воздействии шума или изменения в освещении в средствах массовой информации. Однако научные знания о чувствительности к шуму в настоящее время весьма ограничены [16].

Чувствительность к воздействию ночного шума у разных людей значительно различается. Было обнаружено, что мужчины более чувствительны к шуму дорожного движения, чем женщины, а специфические особенности электрических потенциалов, генерируемых мозгом, так называемые сонные веретена, были связаны с устойчивостью к вызванному шумом нарушениям сна. Пожилые люди, дети, люди, работающие посменно, и пациенты с уже существующими нарушениями сна считаются отнесенными к группам повышенного риска нарушения сна, вызванного шумом. Больницам часто требуется дополнительная звукоизоляция, чтобы отразить повышенную чувствительность пациентов.

Полноценный сон является необходимым условием для высокой работоспособности в дневное время, хорошего самочувствия и здоровья. Шум окружающей среды может всячески нарушать его и ухудшать восстановление сил после сна. Для принятия правильных решений и смягчения воздействия шума окружающей среды на сон необходимы надежные и актуальные взаимосвязи между воздействием шума окружающей среды и нарушениями сна [17].

2.6. Нарушение когнитивных функций

Ухо играет ключевую роль в передаче звуковых сигналов в мозг, который реагирует на различные стимулы и помогает организму адаптироваться к изменяющейся среде. Однако, если мозг длительное время подвергается воздействию шума, это может привести к ухудшению его функций, в том числе замедлению скорости реакции и нарушению когнитивных функций, которые связаны с процессом восприятия и понимания информации.

Люди, проживающие в районах с высоким уровнем шума, обусловленного оживленным транспортным движением, близостью аэропорта и железной дороги или шумных ночных клубов, как правило, имеют более низкий уровень когнитивных способностей, чем те, кто живет в более тихих районах.

Влияние воздействия высоких уровней шума на когнитивные способности можно объяснить с помощью модели возбуждения Поултона, которая утверждает, что воздействие шума сначала повышает когнитивные способности. Причиной этого является усиление возбуждения для уменьшения влияния шума на когнитивные функции. Но постепенно эффект возбуждения ослабевает и начинают проявляться негативные эффекты шумового воздействия на когнитивные функции.

Исследование Allahverdy и Jafari показало, что сложность мозговой активности увеличивается на средних частотах, показывая влияние изменения частоты на мозговую активность. Еще одним эффективным параметром в отношении шума и производительности является тональность шума. В исследовании Joonhee и др. было замечено, что производительность снижалась с увеличением силы шумового тона. Тип шума также важен при оценке влияния шума на когнитивные функции. Исследования показали, что влияние флуктуирующего шума на когнитивные функции выше, чем постоянного шума.

Все когнитивные процессы в мозгу осуществляются посредством активности нейронов, таких как синапсы и спайки. Ориентация и исполнительная функция, которые участвуют в обработке внимания, специально подрываются, чтобы обеспечить обработку информации. Нарушение внимания, вероятно, происходит у испытуемых всякий раз, когда возникает потребность в постоянном внимании.

Здесь анализ сигнала мозга показал, что шум влияет на частотные диапазоны альфа и бета. При повышении уровня шума, относительная мощность альфа-диапазона увеличилась, а бета-диапазона уменьшилась. Топографическое картирование кожи головы показывает, что шум обычно поражает все четыре доли головного мозга, но более выражено это в лобных и затылочных долях.

Из этого исследования можно сделать и другие выводы относительно взаимосвязи между зрительно-слуховым вниманием и относительной силой альфа- и бета-диапазонов. Можно сказать, что с увеличением уровня шума оценка слухового и визуального внимания участников снизилась, в то время как относительная мощность полос альфа и бета увеличилась и уменьшилась соответственно. Топографическое картирование скальпа показывает, что область, отвечающая за обработку внимания, расположена в лобной, височной и затылочной областях мозга. В результате, при воздействии различных уровней шума умственная нагрузка, зрительно-слуховое внимание, а также относительная мощность частотных диапазонов следуют аналогичной тенденции.

Топографическое картирование кожи головы указывает на то, что лобная и затылочная области, а также частотные диапазоны альфа и бета больше всего подвержены воздействию шума, учитывая влияние сложности задачи, личностных характеристик, влияние других психоакустических параметров на когнитивные и нервно-психические функции. Остается важным применение новых методов, таких как использование биосигналов мозга наряду со спектральной плотностью мощности в оценке стресса,

особенно в случае шумового воздействия. Таким образом, можно сделать вывод, что оценка умственной нагрузки, слуховое и зрительное внимание, а также сигналы мозга (мощность спектральной плотности) в сочетании могут рассматриваться как полезный показатель для оценки влияния шумового воздействия на когнитивные функции [26].

2.7. Влияние частотных характеристик шума на организм человека

Человеческие уши обладают чувствительностью к частотам от 20 Гц до 20 кГц. При соответствующей интенсивности эти частоты вызывают раздражение, а наибольшая чувствительность наблюдается в диапазоне частот, используемых для обработки речевых сигналов (от 200 Гц до 5 кГц). Однако слух выходит за эти пределы и все воспринимаемые звуки могут быть разделены на музыкальные «частотные зоны» с соответствующими ощущениями, включая кривые громкости Флетчера-Мэнсона (рис. 4) [42].

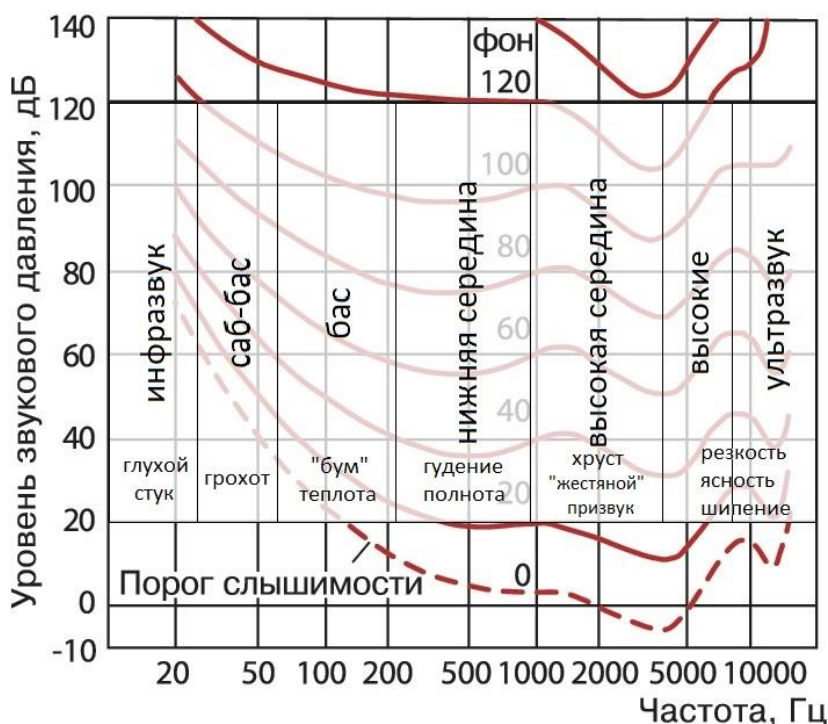


Рисунок 4 – Разбор и ощущение спектра частот

Однако некоторые данные о чувствительности человеческого уха выше этого диапазона ставят под сомнение эти ограничения. Было

обнаружено, что электрическая активность мозга и региональный мозговой кровотоков могут быть продемонстрированы в эксперименте по прослушиванию музыки гамелана (традиционный индонезийский оркестр и вид инструментального музицирования), которая чрезвычайно богата высокочастотными компонентами. Эта музыка представляет собой конкретный пример источника звука с двумя основными компонентами, а именно классически «слышимым» низкочастотным компонентом ниже 22 кГц и высокочастотным компонентом выше 22 кГц. Слушатели не могли распознать звук выше 22 кГц при изолированном представлении, но альфа-частотный диапазон их спонтанной электроэнцефалограммы (альфа-ЭЭГ), записанной в затылочной области, показал значительное увеличение при воздействии звука, содержащего как высокие, так и низкие частоты. Это воздействие было названо гиперзвуковым эффектом. Таким образом, были попытки изучить психологические эффекты таких «неслышимых» частот с использованием цифровых аудиоформатов с более высокой частотой дискретизации (96 кГц), но эти исследования еще не убедительно объяснили биологический механизм, лежащий в основе этого явления.

Граница между инфразвуком и низкочастотным звуком также открыта для интерпретации. Ниже 20 Гц тональное ощущение исчезает, звук приобретает прерывистый характер, сменяется ощущением давления и переходит в ощущение отдельных затяжек, которые можно отсчитывать на уровне одиночных циклов звуковой волны. Однако трудно определить, относятся ли ощущения на этом низкочастотном уровне к давлению, тактильной или слуховой природе.

Измерения порогов слышимости могут проводиться для частот 4 Гц в акустической камере и даже для частот ниже 1,5 Гц при прослушивании через наушники. Однако, чтобы ощутить частоты ниже 20 Гц необходимы гораздо более высокие уровни стимула.

В связи с этим, можно предположить, что существует иерархия рецепторов, при этом слуховая система является наиболее чувствительной,

за исключением более низких частот, где другие рецепторы также могут проявляться. Примерами могут служить многочисленные детекторы вибрации и контакта, находящиеся в коже и других органах и охватывающие различные частотные диапазоны, например, тельца Пачини, чувствительные к пороговым смещениям около 0,002 мм. при частоте 200 Гц. Однако на более низких уровнях их чувствительность снижается примерно на 50 дБ на каждые 10 Гц. Поэтому маловероятно, чтобы неслышимые звуковые волны возбуждали эти подкожные рецепторы при нормальном уровне громкости [35].

Более того, низкочастотный шум имеет особенности, отличные от шумов более высоких частот. Многие из них сводятся к его чрезвычайно всепроникающему характеру, т.е. он почти не ослабляется стенами и другими конструкциями; может сотрясать стены и предметы; маскирует более высокие частоты; преодолевает большие расстояния с небольшими потерями энергии; против него менее эффективны средства защиты органов слуха; он способен производить резонанс в теле человека; вызывает сильную субъективную реакцию.

Шум, имеющий больше низкочастотной информации, воспринимается как более раздражающий, даже при низком уровне. Сравнение широкополосных шумов с центральными частотами 80 Гц, 250 Гц, 500 Гц и 1000 Гц показало, что полоса частот 80 Гц была более раздражающей.

Однако сами по себе уровни громкости не могут предсказать раздражение. На самом деле было высказано предположение, что за чувство раздражения отвечает тип и особенно наклон, а также точка поворота шумового спектра, а не высокие уровни громкости. Более того, на субъективном уровне существует множество факторов, влияющих на шумовое раздражение.

На физическом уровне вместе с ощутимыми вибрациями часто появляется низкочастотный шум. Вибрация может активировать колебания в конструкциях жилья, а низкочастотные звуки также могут возникать в

результате вибраций в таких конструкциях, при этом комнатный резонанс действует как возможный усилитель низкочастотного звука. Точно так же высокие уровни низкочастотного шума могут вызывать вибрации в человеческом теле, особенно в области грудной клетки, которая резонирует в диапазоне 50-80 Гц; 30-40 Гц для лба и лица; 80-90 Гц для задней части черепа, а также:

- 20-30 Гц (резонанс головы),
- 40-100 Гц (резонанс глаз),
- 0,5-13 Гц (резонанс вестибулярного аппарата),
- 4-6 Гц (резонанс сердца),
- 2-3 Гц (резонанс желудка),
- 2-4 Гц (резонанс кишечника),
- 6-8 Гц (резонанс почек) [6].

Кроме того, было обнаружено, что уровни интенсивности, превышающие нормальные пороги, воспринимаются глухими людьми через тело. Вибротактильные стимулы могут вызывать сильные реакции в слуховой коре у врожденно глухих, что указывает на кроссmodalную пластичность некоторых областей (надвисочной слуховой коры) в том смысле, что повышенная способность обнаруживать внезапные тактильные изменения, вероятно, компенсирует для отсутствующего прослушивания при передаче сигналов. Однако степень, в которой такая сенсорная замена применима к нормально слышащим людям, все еще является предметом споров, поскольку область вибротактильного восприятия еще недостаточно изучена в контексте музыкального восприятия.

После некоторых предпосылок о возможном вредном воздействии низкочастотных вибраций были предприняты попытки выяснить так ли это на самом деле. Эффекты этого воздействия были подробно описаны исследовательской группой Каштелу-Бранко, которые ввели термин «виброакустическая болезнь» для документирования ряда симптомов, обнаруженных у людей, подвергшихся воздействию такого шума.

Виброакустическая болезнь – это заболевание, проявляющееся у тех, кто длительное время (≥ 10 лет) подвергался воздействию большой амплитуды давления (≥ 90 дБ SPL) и низкочастотного шума (≤ 500 Гц).

Связанные с этой болезнью поражения являются реакцией биологической ткани на низкочастотный шум и были описаны в нескольких органах с сообщениями о поражении нервной системы, сердца, кровеносных сосудов, лимфатических и дыхательных тканей, а также с реорганизацией тканей и новообразованиями. Таким образом, фиброз был обнаружен в тканях, особенно в соединительной ткани, и органах, подвергшихся воздействию низкочастотного шума большой амплитуды давления при отсутствии видимых признаков воспаления, что указывает на направление защитной реакции ткани за счет увеличения продукции элементы со структурной ролью и вязкоупругими свойствами, чтобы противостоять воздействию сильного механического напряжения. Сообщаемые данные были собраны от целого ряда людей, таких как авиатехники, коммерческие и военные пилоты, инженеры-механики, работники ресторанов и ди-джей, а также группы населения, которые подвергались воздействию низкочастотного шума, который является частью их повседневной среды обитания [2].

Спектр большинства шумов содержит звуки с частотой до 10 кГц, а наиболее чувствительно ухо к сравнительно узкому диапазону среднечастотных звуков. К более низко- и высокочастотным звукам чувствительность резко падает. Это приводит к тому, что человек способен услышать в среднечастотном диапазоне звуки с энергией около 0 дБ и не слышать низкочастотные звуки в 20-40-60 дБ, то есть, звуки с одной и той же энергией в среднечастотном диапазоне могут восприниматься как громкие, а в низкочастотном как тихие или быть вовсе не слышны.

Основной особенностью уличного шума является его нестационарный характер – величины шума сильно меняются как в течение суток, так и за короткие промежутки времени. Спектральный состав шума

более постоянен. Уличный шум, как правило, имеет низкочастотный характер, т. е. максимум энергии приходится на область длинных частот от 50 Гц до 250 Гц.

Такой шум за счет преобладания в спектре частот с большой длиной звуковых волн мало затухает с удалением от источника шума, способен распространяться на далекие расстояния, легко огибая любые препятствия на своем пути за счет явления дифракции (огибания) [5].

2.7.1. Влияние слышимого спектра частот шума на органы слуха

Ухо анатомически состоит из трех частей: наружного уха, среднего уха и внутреннего уха. Наружное ухо включает ушную раковину и изогнутый наружный слуховой проход. Границей между наружным и средним ухом является барабанная перепонка, которая является гибкой мембраной, прикрепленной к рукоятке «молоточка» – одной из слуховых косточек, и придающей ей форму воронки.

Среднее ухо представляет собой полость, заполненную воздухом, которая содержит слуховые косточки. Оно соединено слуховой (евстахиевой) трубой с носоглоткой, что позволяет компенсировать разницу давлений по обе стороны барабанной перепонки. Рукоятка молоточка соединена с барабанной перепонкой, головка молоточка связана с «наковальной» – еще одной слуховой косточкой, а чечевицеобразный отросток наковальни соединен со «стремением» – овальным окном во внутреннем ухе.

Собственная резонансная частота воздушного столба в наружном слуховом проходе находится в узком диапазоне от 2 кГц до 4 кГц, соответственно, все звуковые колебания с подобной частотой получают усиление в этом диапазоне. Когда звуковые волны достигают барабанной перепонки, она колеблется вокруг своей верхней кромки, подобно жесткой поверхности, вращающейся вокруг оси. Эти колебания передаются через соединенную с перепонкой рукоятку «молоточка» на стремя. Стремя,

проходящее через овальное окно, также колеблется вокруг своей оси, находящейся у задней кромки окна. Уникальность усиления звукового давления наружной части уха достигается за счет соотношения площадей барабанной перепонки (55 мм²) и основания стремени (3,5 мм²), а также длины рычагов слуховых косточек, которые играют важную роль в этом процессе.

Оптимальное преобразование звуковой энергии происходит в среднем ухе в диапазоне частот от 1 кГц до 2 кГц, учитывая естественную резонансную частоту этой области уха. При движении основания стремени в жидкости внутри вестибулярной полости возникают бегущие волны: каждое движение внутрь основания вызывает прогиб мембраны в круглом окне барабанной полости, благодаря несжимаемости жидкости. Скорость этих волн зависит от эластичности базилярной мембраны, которая увеличивается по мере приближения к вершине улитки, что приводит к уменьшению скорости и длины волны.

При достижении определенной длины волны происходит передача энергии колебаний на мембрану Рейснера и базилярную мембрану. Амплитуда колебаний будет максимальной на расстоянии от овального окна, пропорционально низкой частоте возбуждения и большей длине волны. При низкой звуковой частоте максимальный прогиб базилярной мембраны находится ближе к вершине улитки, в то время как при высокой частоте прогиб находится ближе к основанию. Восприятие громкости звука зависит от частоты изменения потенциала в единицу времени и от количества активированных клеток, а восприятие частоты определяется формированием концентрации возбуждения в определенных нервных волокнах.

2.7.2. Высокочастотный шум и изменения в нервной системе

Известно, что слуховые нервы передают сигналы в центральные области продолговатого мозга, где они вызывают комплексные реакции

совместно с другими центрами, контролирующими различные функции: мускульное напряжение век, дыхание и кровообращение. Например, при неожиданном звуковом раздражении человек может съежиться, повернуть голову, закрыть глаза и изменить ритм дыхания. Некоторые реакции могут происходить с пониженной возбудимостью и медленно затухать после окончания воздействия.

Важную роль играет вегетативная нервная система (ВНС), которая регулирует функции органов и систем в соответствии с внутренними и внешними раздражителями. Она обеспечивает постоянную координацию различных функций, таких как гормональная секреция, пищеварение, кровообращение и дыхание. ВНС функционирует бессознательно и выполняет важные задачи каждый день.

ВНС состоит из двух подсистем:

- симпатической нервной системы (СНС),
- парасимпатической нервной системы (ПНС).

СНС активируется во время реакции «борьба или бегство» и вызывает такие реакции, как расширение бронхов, повышение артериального давления, расширение зрачков, увеличение частоты сердечных сокращений и ослабление перистальтики.

ПНС, или система «отдыха и усвоения», действует в противоположном направлении, устраняя последствия ответной реакции СНС. Обе системы дополняют друг друга.

Исследования показали, что высокочастотный шум (>4 кГц) активирует ПНС, вызывая пассивную реакцию «замереть и съежиться». Громкий звук высокой частоты приводит к сужению артериальных сосудов, снижению объема протекающей крови и снижению температуры кожи, особенно в конечностях человека. Ответ нервной системы на звуковой сигнал может различаться в зависимости от возраста, образа жизни, наследственности и экологической обстановки в регионе [1].

Выводы по второй главе

Воздействие шумового загрязнения может привести к различным нарушениям в организме человека, среди которых нарушения слуха, речи и когнитивных функций, нарушения в сердечно-сосудистой системе, а также могут появиться проблемы с психическим здоровьем, негативное социальное поведение и бессонница.

Помимо прямого слухового воздействия шума на организм, не слуховые эффекты шума в первую очередь ответственны за запуск каскада стресса. Долгосрочный или кратковременный шум может вызывать реакции, опосредованные нарушениями сна, общения и активности. Они влияют на вегетативную и эндокринную системы, например, повышенные концентрации катехоламинов и кортизона могут привести к изменениям в метаболизме липидов, метаболизме глюкозы и регуляции артериального давления, которые затем способствуют повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний.

Эффект воздействия городского шума, также зависит от его АЧХ, а так как человеческие уши и тело наиболее чувствительны к шумам с басовой составляющей и также чувствительны вплоть до 5 кГц, то эта область и обеспечивает наиболее выраженные раздражающие эффекты на организм. Также, раздражающий эффект исходит от высокочастотного шума. Связано это с тем, что собственная частота воздушного столба в наружном слуховом проходе человеческого уха равна 2-4 кГц, благодаря чему в этом диапазоне частот усиливаются все звуковые колебания. Помимо этого, воздействие высокочастотного шума (>4 кГц) активизирует ПНС, т.е., громкий звук высокой частоты провоцирует пассивную реакцию «замереть и съежиться».

ГЛАВА 3. ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В МАЛЫХ ГОРОДАХ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КОПЕЙСКА

В начале исследования были отобраны и нанесены на карту города мониторинговые точки (рис. 5).

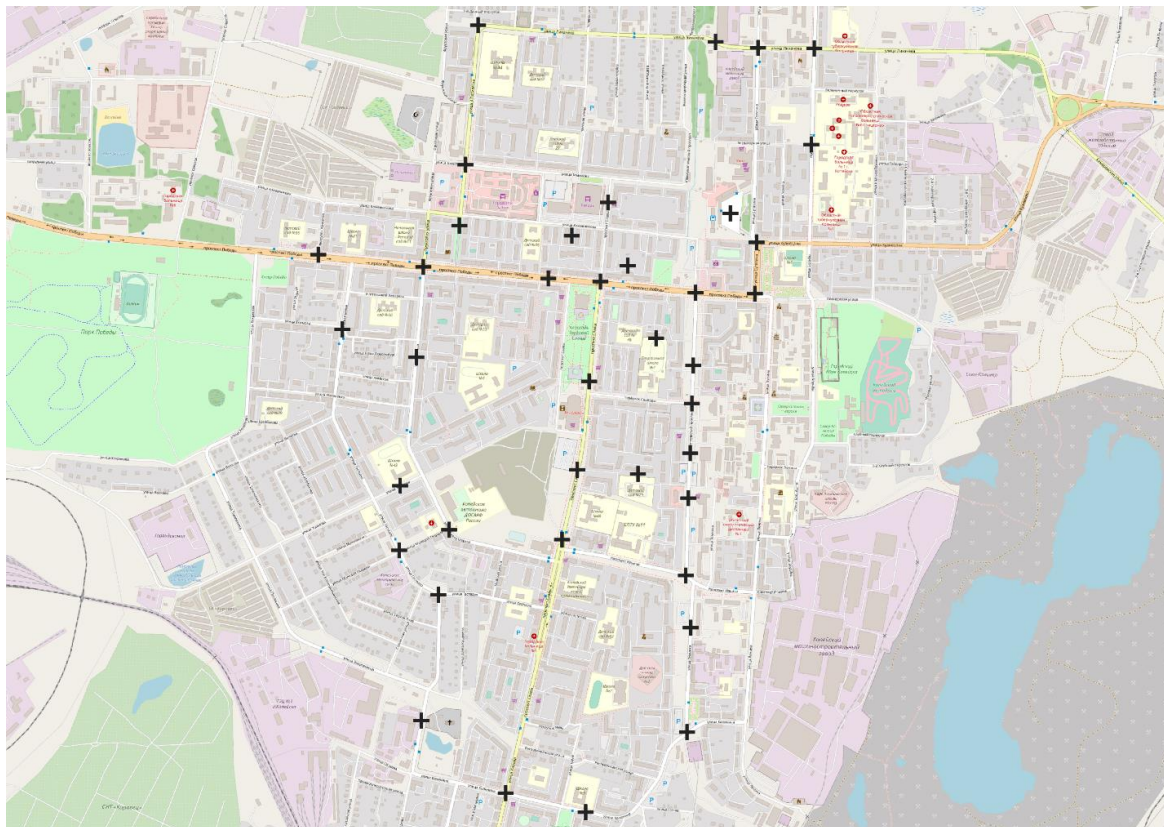


Рисунок 5 – Фрагмент участка карты г. Копейска с пунктами мониторинга уровня шума

Замеры шума происходили на селитебных территориях и на крупных перекрестках города, а также возле участков крупных дорог (микрофон был направлен к источнику шума на расстоянии около 1 м. от края дороги).

Время проведения замеров: суббота - воскресенье, около 2-4 часа дня.

На каждой точке делалось по 3 замера, длительностью 30 сек. Затем данные были проанализированы и на их основе была составлена картограмма шумового загрязнения г. Копейска (рис. 6).

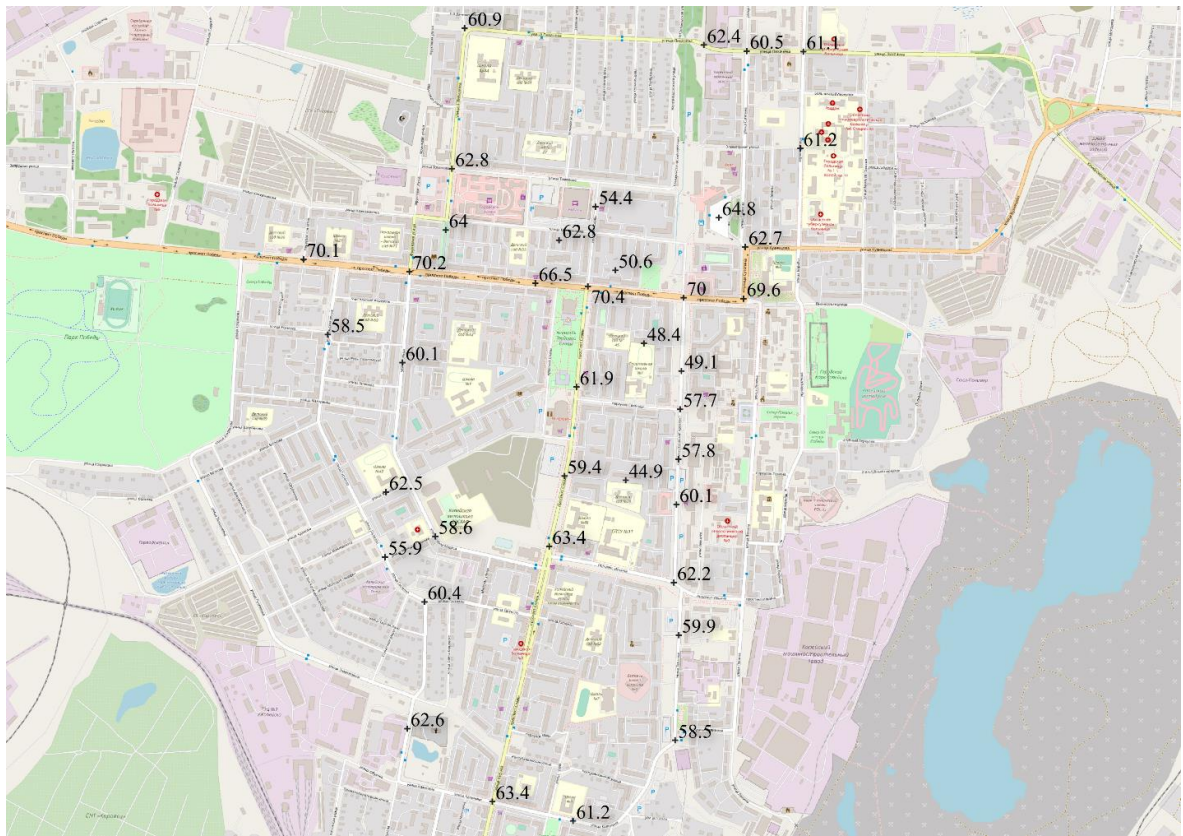


Рисунок 6 – Фрагмент участка карты г. Копейска со средними уровнями шума в пунктах мониторинга

Измерения производились с помощью многофункционального тестера окружающей среды «MASTECH MS 6300» (рис. 7), а также, для определения частотной составляющей шума был использован студийный конденсаторный микрофон VM-800 (рис. 8).



Рисунок 7 – Многофункциональный тестер окружающей среды «MASTECH MS6300»



Рисунок 8 – Студийный конденсаторный микрофон «BM-800»

На основе замеров была произведена интерполяция методом обратных взвешенных расстояний (IDW) (рис. 9) и методом триангуляционной нерегулярной сети (TIN) (рис. 10).

Интерполяция методом IDW заключается в том, что происходит взвешивание точек таким образом, что влияние известного значения точки затухает с увеличением расстояния до неизвестной точки, значение которой надо определить.

Интерполяция методом TIN заключается в том, что с помощью него создается поверхность, состоящая из треугольников, формируемых ближайшими точками. Для этого вокруг точек сбора данных проводятся окружности, и их пересечения соединяются в сеть компактных треугольников, примыкающих друг другу без пересечений и разрывов.

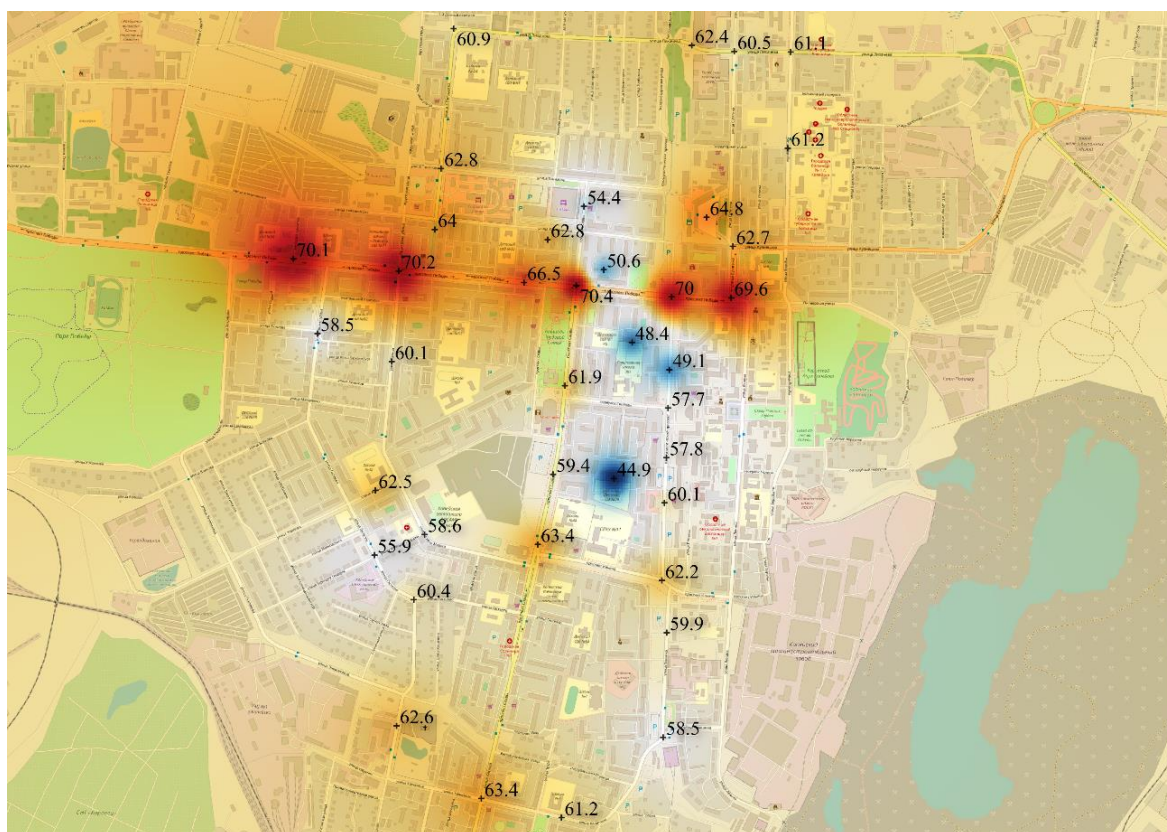


Рисунок 9 – Картограмма с результатами интерполяции уровней шума методом обратных взвешенных расстояний (IDW)

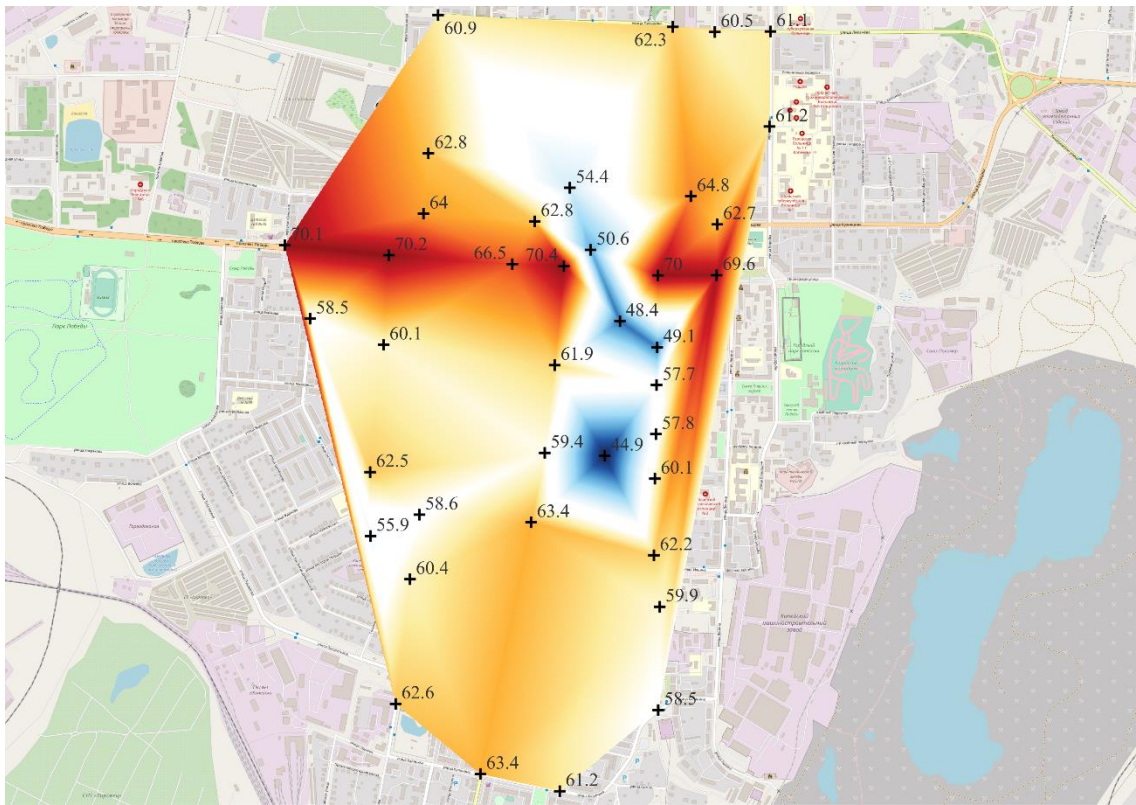


Рисунок 10 – Картограмма с интерполяцией уровней шума методом триангуляционной нерегулярной сети (TIN)

На основе данных интерполяции была составлена картограмма зон акустического дискомфорта г. Копейска (рис. 11).

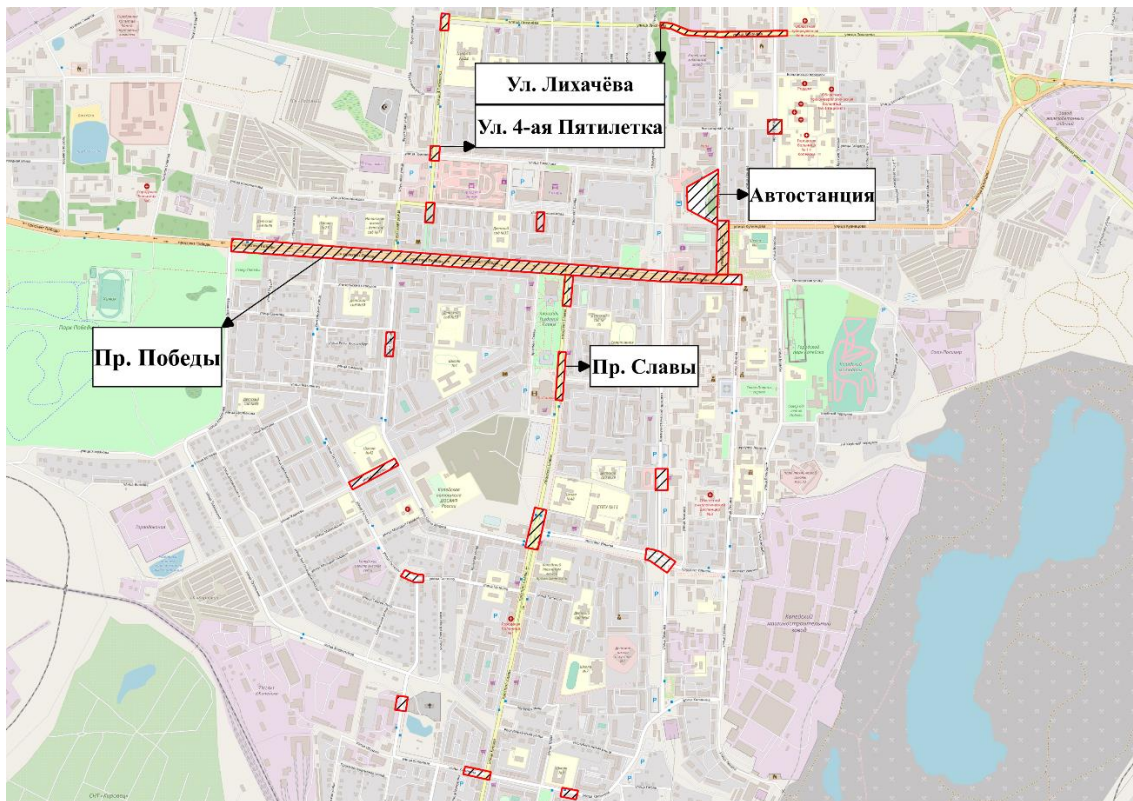


Рисунок 11 – Картограмма с зонами акустического дискомфорта

Также, на основе записи городского шума в мониторинговых точках с наибольшим превышением допустимого уровня были получены спектры амплитудно-частотной характеристики (рис. 12-16).



Рисунок 12 – АЧХ шума на пр. Победы, 2

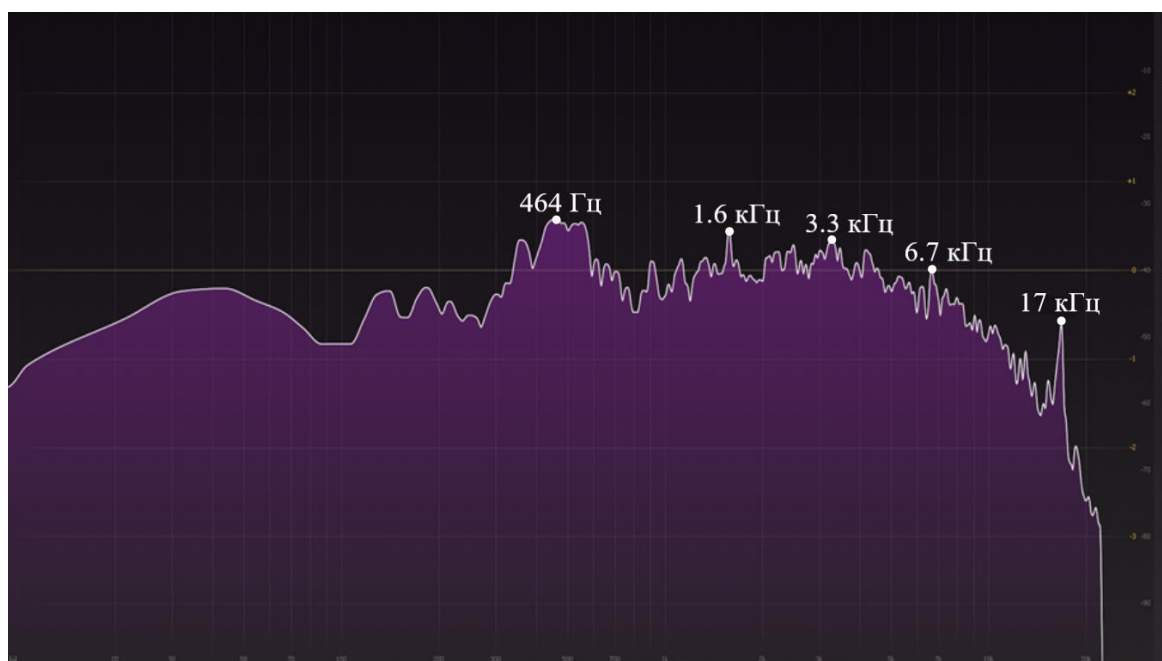


Рисунок 13 – АЧХ шума на пр. Победы, 4



Рисунок 14 – АЧХ шума на пр. Победы, 14



Рисунок 15 – АЧХ шума на пр. Победы, 36



Рисунок 16 – АЧХ шума на пр. Победы, 46А

Выводы по третьей главе

Проанализировав систему экологических и санитарно-гигиенических нормативов было выявлено, что на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, с 07:00 до 23:00 средний уровень звукового давления должен составлять 55 дБА, а максимальный уровень не должен превышать 70 дБА, следовательно, по полученным данным замеров и на основе данных интерполяции можно сделать вывод о том, что самой акустически неблагоприятной территорией города является пр. Победы, со средним уровнем шума около 70 дБА.

Большое количество жителей подвержены воздействию шума на этом участке по причине того, что эта самая крупная дорога, которая соединяет Копейск и Челябинск, а, следовательно, транспортный поток на этом участке дороги является самым интенсивным.

Также, можно выделить пр. Славы, который является вторым по ширине дорожного полотна и является местом проведения различных городских мероприятий, т.е. характеризуется большим скоплением людей и, как следствие, обладает повышенным уровнем шума.

Ул. 4-ой Пятилетки, переходящая в ул. Лихачёва обладает повышенным уровнем шума за счёт того, что является объездной дорогой для большегрузных машин, от которых исходит много низкочастотного шума.

Район автостанции обладает повышенным уровнем шума за счёт большого количества курсирующего общественного транспорта.

Превышение уровня шума в некоторых других районах города обусловлено низкой пропускной способностью некоторых участков дорог и, как следствие, образованием небольших пробок и заторов, что приводит к такому же эффекту постоянного фонового шума.

Также, проанализировав получившиеся частотные спектры городского шума, можно выделить 6 основных резонирующих диапазонов частот: 43-64 Гц (суббас), 129-185 Гц (бас), 442-464 Гц (нижняя середина), 1,1-1,6 кГц и 2,1-3,3 кГц (высокая середина), 5,3-6,7 кГц (высокие), т.е. во всех частотных зонах, кроме инфразвука и ультразвука, есть свои преобладающие частоты.

На основе получившихся частотных спектров, можно охарактеризовать городской шум как «V-образный», т.е. с ярко выраженными низкими и высокими частотами и небольшими завалами в области средних частот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении данной научно-исследовательской работы был решён ряд следующих задач:

– проанализированы экологические и санитарно-гигиенические нормативы, на основании которых для селитебных территорий города Копейска было установлено превышение среднего допустимого уровня шума, т.е. выше 55 дБА и в некоторых местах превышение максимально допустимого уровня шума, т.е. выше 70 дБА в дневное время;

– проведены мониторинговые исследования уровня звукового давления на селитебных территориях г. Копейска (2020-2023 г.г.). На основании полученных результатов замеров и разработанных картограмм шумового загрязнения г. Копейска, был обнаружен самый шумный участок города – пр. Победы, являющийся главной транспортной магистралью, которая соединяет Копейск и Челябинск, на которой зафиксировано превышение максимально допустимого уровня звукового давления в дневное время. Также, получены спектры амплитудно-частотной характеристики городского шума, на основании которых выделены основные резонирующие частоты, позволяющие охарактеризовать шум г. Копейска как «V-образный», т.е. с выраженными низкими и высокими частотами;

– выявлены и проанализированы основные негативные последствия воздействия шума на организм человека, среди которых нарушения слуха, речи и когнитивных функций, нарушения в сердечно-сосудистой системе, а также проблемы с психическим здоровьем, негативное социальное поведение и бессонница. Также, выявлено, что для жителей города опасными являются частоты от 20 Гц до 100 Гц, которые являются неотъемлемой частью городского шума и совпадают с внутренними резонансами человеческого организма. Это значит, что у некоторых жителей города может быть обнаружена «виброакустическая болезнь», которая может поражать нервную систему, сердце, кровеносные сосуды,

лимфатические и дыхательные ткани, а также вызывать реорганизацию тканей и новообразования. Совпадение резонансов шума и резонансов организма человека может вызвать десинхронизацию, что ведет к дисфункции систем и органов;

– дополнены имеющиеся рекомендации по снижению негативного воздействия шума в условиях города, среди которых:

1. Оптимизация дорожного движения с целью увеличения пропускной способности некоторых участков дорог города.

2. Высадка зелёных насаждений вдоль особо шумных участков дорог.

3. Зонирование жилой области с выносом источников шума за её пределы, например, перенос объездной дороги с ул. 4-ой Пятилетки, переходящей в ул. Лихачёва для большегрузов за пределы города.

4. Укладка шумопоглощающего асфальта (в первую очередь, на пр. Победы).

5. Повышение уровня осведомлённости населения о проблемах, которые может вызвать шумовое загрязнение и разработка профилактических мероприятий для исключения или снижения негативного воздействия в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильева В. К. Высокочастотный шум и особенности его снижения средствами индивидуальной защиты / В. К. Васильева, А. В. Храмов, Э. Л. Мышинский [и др.] // Noise Theory and Practice. – 2020. – №4. – С. 104–114. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysokochastotnyu-shum-i-osobennosti-ego-snizheniya-sredstvami-individualnoy-zaschity> (дата обращения: 27.05.2023).
2. Виброакустическая болезнь // Wikimedia : [сайт]. – URL: https://ru.frwiki.wiki/wiki/Maladie_vibroacoustique (дата обращения: 26.05.2023).
3. ГОСТ 23337–2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий : Межгосударственный стандарт : дата введения 2015-07-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 20 с.
4. Зайкова З. А. Методические рекомендации для студентов к практическому занятию по теме «Гигиеническая оценка шума и вибрации. Шумовая и вибрационная болезнь. Профилактика» / З. А. Зайкова // Гигиена труда. Гигиена : сб. науч. тр. / Иркутский государственный медицинский университет. – Иркутск : ИГМУ, 2016. – С. 5–6.
5. Исследование шума: методические указания к лабораторной работе для студентов всех специальностей / сост. Т.В. Тупицына. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 32 с.
6. Инфразвук среди нас // Роспотребнадзор : [сайт]. – URL: <https://13.rospotrebnadzor.ru/content/infrazvuk-sredi-nas> (дата обращения: 25.05.2023).

7. Николаева О.Н. Картографическое моделирование шумового загрязнения / О.Н. Николаева, Н.В. Лагутина // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. – 2021. – №3. – С. 31–35. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rdsuva> (дата обращения: 20.03.2023).

8. Овсянников М.С. Построение карт шумового загрязнения методом итеративной трассировки источников / М.С. Овсянников // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 55–57. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-kart-shumovogo-zagryazneniya-metodom-iterativnoy-trassirovki-istochnikov> (дата обращения: 20.03.2023).

9. Основные способы картографирования // Студопедия : [сайт]. – URL: https://studopedia.ru/18_34789_osnovnie-sposobi-kartografirovaniya.html (дата обращения: 19.03.2023).

10. Пименова Е. В. Гигиеническое и экологическое нормирование качества окружающей среды : учебное пособие / Е. В. Пименова, Т. Ю. Насртдинова, С. В. Лихачёв; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджет. образ. учреждение высшего образ. «Пермский гос. аграрно-технологический ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2017. – 151 с. – ISBN 978-5-94279-366-1.

11. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы: Утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 36. / Госкомсанэпиднадзор России. – Москва, 1996. – 19 с. – URL: <https://bazanpa.ru/goskomsanepidnadzor-rossii-sn-ot31101996-h1521942/> (дата обращения: 25.03.2023).

12. Фонемическая регрессия. Нарушение разборчивого восприятия речи / MedUniver.com : [сайт]. – URL: https://meduniver.com/Medical/otorinolaringologia_bolezni_lor_organov/492.html MedUniver (дата обращения: 05.04.2023).

13. Anna LH. Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study / LH. Anna, M. Blangiardo, L. Fortunato [et al.] // *BMJ*. – 2013. – №7928. – 347 p. – URL: <https://www.bmj.com/content/347/bmj.f5432.long> (дата обращения: 17.04.2023).

14. Babish W. The Noise/Stress Concept Risk Assessment and Research Needs / W. Babish // *Noise & Health*. – 2002. – Vol. 4, №16. – P. 1–11. – URL: <https://clck.ru/34pYnP> (дата обращения: 15.04.2023).

15. Babish W. The Cardiovascular Effects of Noise / W. Babish // *Noise and Health*. – 2011. – Vol. 13, №52. – P. 201–204. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6541745/> (дата обращения: 15.04.2023).

16. Basner M. Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study / M. Basner, A. Samel, U. Isermann // *The Journal of the Acoustical Society of America*. – 2006. – Vol. 119, №5. – P. 2772–2784. – URL: <https://clck.ru/34pYrv> (дата обращения: 21.04.2023).

17. Basner M. Single and Combined Effects of Air, Road, and Rail Traffic Noise on Sleep and Recuperation / M. Basner, U. Müller, EM. Elmenhorst // *Sleep Research Society*. – 2011. – Vol. 34, №1. – P. 11–23. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3001788/> (дата обращения: 23.04.2023).

18. Beutel ME. Noise Annoyance Is Associated with Depression and Anxiety in the General Population – The Contribution of Aircraft Noise / ME. Beutel, C. Jünger, EM. Klein [et al.] // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11, №5. – P. 983–990. – URL: <https://clck.ru/34pYpa> (дата обращения: 19.04.2023).

19. Bonnet MH. EEG Arousal Norms by Age / MH. Bonnet, DL. Arand // Journal of Clinical Sleep Medicine. – 2007. – Vol. 3, №3. – P. 271–274. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2564772/> (дата обращения: 21.04.2023).

20. Dutilleux G. The revision of the French method for road traffic noise prediction / G. Dutilleux, J. Defrance, B. Gauvreau [et al.] // The Journal of the Acoustical Society of America. – 2010. – Vol. 96, № 3. – P. 452–462. – URL: https://www.researchgate.net/publication/5327828_The_revision_of_the_French_method_for_road_traffic_noise_prediction (дата обращения: 02.04.2023).

21. Fuente A. Noise-induced hearing loss in Asia / A. Fuente, L. Hickson // International Journal of Audiology. – 2011. – Vol. 50, №1. – P. 3–10. – URL: https://www.researchgate.net/publication/49804744_Noise-induced_hearing_loss_in_Asia (дата обращения: 10.04.2023).

22. Fuks KB. Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE) / KB. Fuks, G. Weinmayr, X. Basagana [et al.] // European Heart Journal. – 2017. – Vol. 38, №13. – P. 983–990. – URL: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/38/13/983/2439478?login=false> (дата обращения: 16.04.2023).

23. Goines L. Noise Pollution: A Modern Plague / L. Goines, L. Hagler // Southern Medical Journal. – 2007. – Vol. 100, №3. – P. 287–294. – URL: <https://sma.org/southern-medical-journal/article/noise-pollution-a-modern-plague/> (дата обращения: 19.03.2023).

24. Halonen JJ. Road traffic noise is associated with increased cardiovascular morbidity and mortality and all-cause mortality in London / JJ. Halonen, AL. Hansell, J. Gulliver [et al.] // European Heart Journal. – 2015. – Vol. 36, №39. – P. 2653–2661. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4604259/> (дата обращения: 29.03.2023).

25. Heritier H. Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland / H. Heritier, D. Vienneau, M. Foraster [et al.] // *European Journal of Epidemiology*. – 2017. – Vol. 32, №4. – P. 307–315. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28280950/> (дата обращения: 29.03.2023).

26. Jafari MJ. The Effect of Noise Exposure on Cognitive Performance and Brain Activity Patterns / MJ. Jafari, R. Khosrowabadi, S. Khodakarim [et al.] // *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. – 2019. – Vol. 7, №17. – P. 2924–2931. – URL: https://www.researchgate.net/publication/337555054_The_Effect_of_Noise_Exposure_on_Cognitive_Performance_and_Brain_Activity_Patterns (дата обращения: 11.05.2023).

27. Karpa MJ. Associations Between Hearing Impairment and Mortality Risk in Older Persons: The Blue Mountains Hearing Study / MJ Karpa, B. Gopinath, K. Beath [et al.] // *Annals of Epidemiology*. – 2010. – Vol. 20, №6. – P. 452–459. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1047279710000578?via%3Dihub> (дата обращения: 26.03.2023).

28. Kujawa SG. Acceleration of Age-Related Hearing Loss by Early Noise Exposure: Evidence of a Misspent Youth / SG. Kujawa, MC. Liberman // *PubMed Central*. – 2006. – Vol. 26, №7. – P. 2115–2123. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1855187/> (дата обращения: 26.03.2023).

29. Kumar S. Noise Pollution / S. Kumar // *IndiaCelebrating* : [сайт]. – URL: <https://www.indiacelebrating.com/environmental-issues/noise-pollution/> (дата обращения: 23.03.2023).

30. Oishi N. Emerging treatments for noise-induced hearing loss / N. Oishi, J. Schacht // *PubMed Central*. – 2011. – Vol. 16, №2. – P. 235–245. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3102156/> (дата обращения: 01.04.2023).

31. Orban E. Residential road traffic noise and high depressive symptoms after five years of follow-up: results from the Heinz Nixdorf recall study / E. Orban, K. McDonald, R. Sutcliffe [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2016. – Vol. 124, №5. – P. 578–585. – URL: <https://clck.ru/34pYuT> (дата обращения: 16.04.2023).

32. Pauline A. The prevalence and type of social noise exposure in young adults in England / A. Pauline, A. Davis, M. Ferguson [et al.] // PubMed Central. – 2000. – Vol. 2, №6. – P. 41–56. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12689478/> (дата обращения: 16.03.2023).

33. Roswall N. Long-term residential road traffic noise and NO₂ exposure in relation to risk of incident myocardial infarction – A Danish cohort study / N. Roswall, M. Ketzel, A. Gammelmark [et al.] // Environmental Research. – 2017. – Vol. 156. – P. 80–86. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117300634?via%3Dihub> (дата обращения: 16.04.2023).

34. Sally L. Acute Effects of Noise on Blood Pressure and Heart Rate / L. Sally, M. Bonnie, M. Rosemary [et al.] // Archives of Environmental Health An International Journal. – 2004. – Vol.59, №8. – P. 392–399. – URL: https://www.researchgate.net/publication/7500227_Acute_Effects_of_Noise_on_Blood_Pressure_and_Heart_Rate (дата обращения: 17.04.2023).

35. Somaiya S. Receptors: Meaning, Classification and Properties / S. Somaiya // Biology discussion : [сайт]. – URL: <https://www.biologydiscussion.com/nervous-system/receptors-meaning-classification-and-properties/62823> (дата обращения: 09.05.2023).

36. Subramani T. A. Case Study And Analysis Of Noise Pollution For Chennai Using GIS / T. Subramani, S. Sounder // IJETTCS. – 2016. – Vol. 35, № 3. – P. 125–134. – URL: https://www.researchgate.net/publication/298708659_Studies_on_noise_pollution_model_for_Chennai (дата обращения: 19.03.2023).

37. Sørensen M. Road Traffic Noise and Incident Myocardial Infarction: A Prospective Cohort Study / M. Sørensen, ZJ. Andersen, RB. Nordsborg [et al.] // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, №6. – 7 p. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0039283> (дата обращения: 05.04.2023).

38. Sørensen M. Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study / M. Sørensen, M. Hvidberg, ZJ. Andersen [et al.] // European Journal of Epidemiology. – 2011. – Vol. 32, №6. – P. 737–744. – URL: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/32/6/737/497025?login=false> (дата обращения: 05.04.2023).

39. van Kempen E. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis / E. van Kempen, W. Babish // Journal of Hypertension. – 2012. – Vol. 30, №6. – P. 1075–1086. – URL: https://journals.lww.com/jhypertension/Abstract/2012/06000/The_quantitative_relationship_between_road_traffic.4.aspx (дата обращения: 05.04.2023).

40. Verbeek JH. Interventions to prevent occupational noise-induced hearing loss / JH. Verbeek, E. Kateman, TC. Morata [et al.] // Cochrane Library. – 2012. – №10. – 2 p. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6353150/> (дата обращения: 25.04.2023).

41. Vienneau D. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis / D. Vienneau, C. Schindler, L. Perez [et al.] // Environmental Research. – 2015. – Vol. 138. – P. 372–380. – URL: <https://clck.ru/34pZ2h> (дата обращения: 06.04.2023).

42. Wallmark Z. The Relentless Pursuit of Tone: Timbre in Popular Music / Z. Wallmark // ResearchGate : [сайт]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/326901508_The_Relentless_Pursuit_of_Tone_Timbre_in_Popular_Music (дата обращения: 08.05.2023).

43. Wanamaker C. What Is Noise and How Is It Measured? / C. Wanamaker // Owlcation : [сайт]. – URL: <https://owlcation.com/stem/What-is-Noise-and-How-is-it-Measured> (дата обращения: 02.03.2023).

44. Xie L. Sleep Drives Metabolite Clearance from the Adult Brain / L. Xie, H. Kang, Q. Xu [et al.] // Science. – 2013. – Vol. 342, №6156. – P. 373–377. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3880190/> (дата обращения: 26.04.2023).