

О. Н. Николаева^{1, 2}, И. А. Краснопольский¹*

О дискретном подходе к картографированию шумового загрязнения в населённых пунктах

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: onixx76@mail.ru

Аннотация. Современные методы оценки и картографирования шумового загрязнения городской территории в значительной степени основаны на проведении полевых измерений и последующей визуализации результатов измерений в виде изолинейных карт. Недостатки такого подхода очевидны: во-первых, необходимо организовать репрезентативную, достаточно обширную сеть наблюдений, а во-вторых, в процессе последующего картографического моделирования нужно выбрать такой способ построения изолиний, который будет наиболее эффективно отражать пространственное распределение шума по территории. В целом подобные исследования весьма затратны, а их выполнение требует соответствующей квалификации. Однако в архитектурном проектировании и градостроительстве существуют виды работ, для которых актуально оперативное выполнение примерной оценки шумовой нагрузки на территорию в границах существующей или планируемой застройки с опорой на ограниченный круг заранее известных (например, установленных проектировщиками) показателей. Для решения таких задач традиционный подход к оценке шумового воздействия с проведением полевых работ и привлечением специалистов-экологов может оказаться избыточен и слишком затратен по финансам и времени. Поэтому авторами предпринята попытка разработать новый подход к оценке и картографированию уровня шума внутри проектируемых зданий и сооружений, исходя из ограниченного круга параметров. Разрабатываемый подход базируется на разбиении исследуемой территории на пространственные ячейки, и вычислении уровня шума для каждой ячейки исходя из проектных или фактических данных об особенностях транспортной инфраструктуры территории. Далее выполняется трехмерное картографическое моделирование, отображающее уровни шума в различных секциях зданий и на уровне различных этажей застройки.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, картографирование шумового загрязнения, картографическое моделирование шума, 3D-моделирование, моделирование шумового воздействия

O. N. Nikolaeva^{1, 2}, I. A. Krasnopol'skij¹*

On a discrete approach to noise mapping in city areas

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technology, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: * e-mail: onixx76@mail.com

Abstract. Modern methods for noise assessing and mapping in urban areas are largely based on field measurements and subsequent visualization of the measurement results in the form of isoline maps.

The disadvantages of this approach are obvious: firstly, it is necessary to organize a representative, fairly extensive network of observations, and secondly, in the process of subsequent cartographic modeling, it is necessary to choose a method for drawing isolines that will most objectively reflect the spatial variability of noise levels. In general, such studies are very expensive, and their implementation requires appropriate qualifications. However, there are processes in architecture and urban planning, for which is sufficient to perform an approximate assessment of the noise levels within the boundaries of existing or planned development, based on a limited range of previously known (for example, established by designers) indicators. To solve such problems, the traditional approach to assessing noise impact with field work and the involvement of environmental specialists may turn out to be redundant and too costly in terms of finances and time. Therefore, the authors made an attempt to develop a new approach to assessing and mapping the noise level inside designed buildings and structures, based on a limited range of parameters. The approach being developed is based on dividing the study area into spatial cells and calculating the noise level for each cell based on designed or actual data on the characteristics of the territory's transport infrastructure. Next, three-dimensional mapping modeling is carried out, displaying noise levels in different sections of buildings and at the level of different floors of the building.

Keywords: noise pollution, noise pollution mapping, noise cartographic modeling, 3D modeling, noise impact modeling

Введение

Шумовое загрязнение — важный экологический фактор, оказывающий значительное воздействие на комфортность проживания городского населения. Регулярное и (или) постоянное воздействие повышенных уровней шума на человеческий организм зачастую вызывает значительные нарушения в физическом и психическом здоровье человека [1-3, 12], поэтому уровень шума в городах нормируется рядом государственных и отраслевых стандартов, а также санитарных и строительных норм и правил.

Согласно действующим нормативным документам, шумовая нагрузка на территории обязательно должна анализироваться и оцениваться как на стадии предварительного проектирования новой городской застройки, так и на стадии полноценного функционирования построенных зданий и объектов инфраструктуры.

В современном экологическом картографировании преобладает подход, когда шумовое воздействие на территорию рассматривается как непрерывное в пространстве поле, количественная оценка которого базируется на традиционных методах построения статистических поверхностей по серии точек полевых измерений [4, 5]. Следует заметить, что такой подход к оценке уровней шума закреплен и в нормативных документах [6]. Этим обусловлены две наиболее обсуждаемые на сегодняшний день проблемы шумового картографирования: проблема оптимизации процесса сбора исходных данных, и проблема поиска наиболее объективной аппроксимации реальной картины шумового загрязнения посредством системы изолиний [7].

Для решения этих проблем предлагаются различные способы, начиная от краудсорсингового сбора данных об уровнях шума в различных точках террито-

рии [9] до привлечения нейросетей к процессу построения изолиний шума и учету посторонних факторов, влияющих на уровень шума [10-11]. Однако в целом все эти способы не выходят за рамки традиционного рассмотрения шумового воздействия на территорию как явления, имеющего сплошное пространственное распространение и характеризующееся плавными перепадами в пространстве.

Авторами данной статьи предпринята попытка разработать новый, - дискретный — подход к определению и картографическому моделированию шумового загрязнения. Суть подхода заключается в разбиении территории на пространственные ячейки, и вычислении уровня шума для каждой ячейки исходя из проектных или фактических данных об особенностях транспортной инфраструктуры территории. Следует заметить, что данный подход предлагается для оценки шумового загрязнения городской территории на стадии предпроектных исследований, проводимых в крупном масштабе картографирования, и призван ускорить и упростить труд архитекторов и градостроителей на начальных этапах реализации проектов комплексной городской застройки.

Материалы и методы

Идея дискретного моделирования шумового воздействия на территорию основана на особенностях современного градостроительства, которые выражаются, прежде всего, в секционной застройке городских территорий. Наиболее употребительными в настоящее время являются размеры секций — 3 на 3 метра [8]. Это означает, что современные здания как бы формируются из ячеек, размер которых по горизонтали составляет 3 м (так называемая «оконная секция»), а по вертикали — также 3 метра (стандартная высота этажа, считая межэтажные перекрытия). Подробнее это деление показано на рисунке 1.

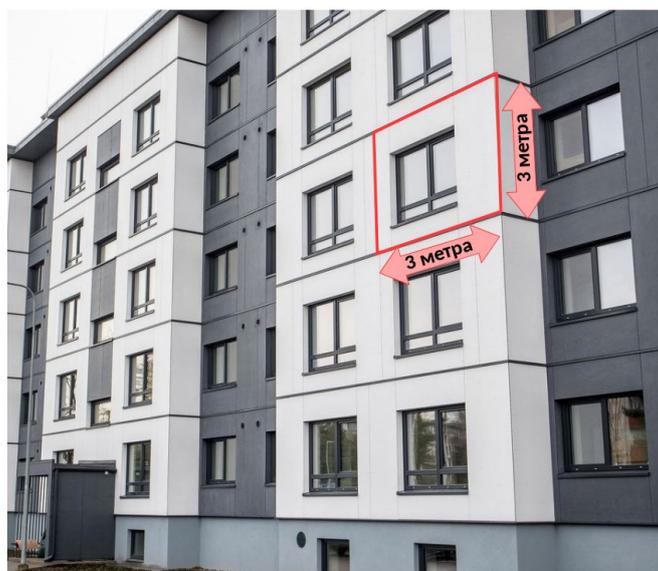


Рис. 1. Дискретизация городского пространства в современном градостроительстве. Красным цветом выделены оконная секция и указаны ее параметры (3x3 метра)

Пространственные особенности секционной застройки определяют первый из принципов дискретного моделирования шумового загрязнения территории, который заключается в том, что интерполирование уровней шума выполняется не для точек местности, а для пространственных ячеек размером 3x3 м, что снижает объем работ.

Второй из принципов дискретного моделирования шумового загрязнения устанавливает, какой вид исходных данных необходимо использовать при интерполировании уровней шума. Предпроектное исследование далеко не всегда выполняется при проектировании сооружения на уже застроенной территории; часто работы заключаются в разбивке новых кварталов на незастроенной территории, где отсутствует сеть улиц и проездов. В этом случае не имеет смысла проводить традиционные для подобных исследований замеры имеющегося уровня шума, так как они получатся заведомо ниже, чем после завершения строительства. Поэтому второй принцип дискретного моделирования состоит в том, что в качестве исходных данных для моделирования шумового загрязнения необходимо использовать категорию улиц и проездов, планируемых или уже существующих на территории. Для установления категории улицы или проезда обращаются к действующим СНиП.

Третий принцип дискретного моделирования шумового загрязнения города предполагает использование ГИС-технологий для объективной оценки и наглядной визуализации особенностей пространственного распространения шумового загрязнения по территории.

Четвёртый принцип дискретного моделирования шумового загрязнения заключается в необходимости учета отражения шума от препятствий, в результате чего шум может либо гаситься, либо усиливаться. Расчет отраженного шума выполняется по законам отражения света.

Результаты и обсуждение

Разработанная последовательность дискретного моделирования шумового загрязнения включала в себя следующие основные действия:

1) Сбор исходных сведений об исследуемой территории (цифровые слои с контурами зданий и сооружений с указанием их этажности, цифровой слой существующих и проектируемых улиц и проездов с указанием их категории, значения уровня шума в исходных точках);

2) Разбивка исследуемой территории (в плане) на сеть ячеек размером 3x3 метра для определения сети дополнительных точек, для которых будут проинтерполированы значения уровня шума. Дополнительные точки будут размещаться вдоль улиц и проездов.

3) Объемное моделирование уровня шума исходя из этажности зданий. Для этого в каждой из точек осуществляется построение «полусферы шума», выражающей направление и интенсивность распространения шума в пространстве вокруг данной точки; для упрощения процесса моделирования полусфера состоит из многочисленных «лучей шума» - прямолинейных отрезков, проходящих

от данной точки до стены здания или сооружения (оба термина предложены авторами). Примеры полусферы шума и лучей шума представлены на рисунке 2.

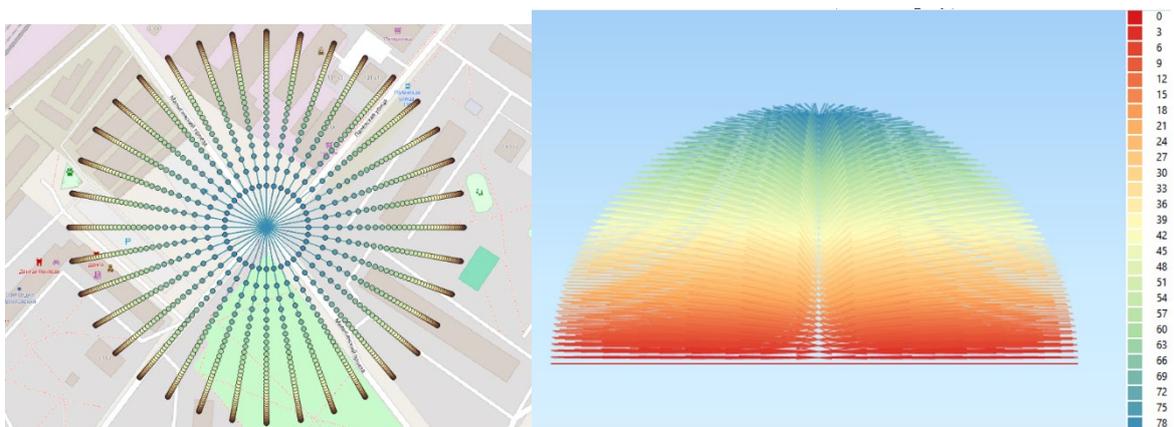


Рис.2. Геопространственное моделирование распространения шума на отдельной точке (вид сверху и вид сбоку)

4) Расчет и моделирование отражения шума от препятствий выполнялся исходя из особенностей пространственных конфигураций препятствий, расположенных на пути прохождения луча шума от точки до стены здания (сооружения). При этом выполнялось решение прямой геодезической задачи. Пример расчета и визуализации отражения шума представлен на рисунке 3.

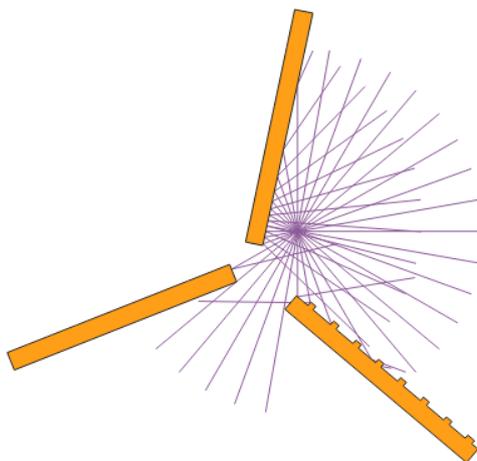


Рис. 3. Моделирование отражения шума от препятствий (зданий)

5) Картографическая визуализация рассчитанных значений уровней шума для каждой из ячейки 3x3 метра, из которых состоят стены зданий и сооружений на исследуемой территории. Результатом визуализации является «матрица шума» - статистическая поверхность, ориентированная вертикально и выражающая уровень шума в помещениях, расположенных внутри данного здания (тер-

мин предложен авторами). Пример получившейся матрицы высот представлен на рисунке 4. Общая визуализация района работ предполагается в виде перспективного изображения (3D-видеосцены), которая позволит архитектору-проектировщику данной застройки оценить и сопоставить шумовую ситуацию при разной транспортной нагрузке и разной конфигурации зданий, сооружений и препятствий для звука (шумоотражающих экранов, зеленых насаждений и пр.).

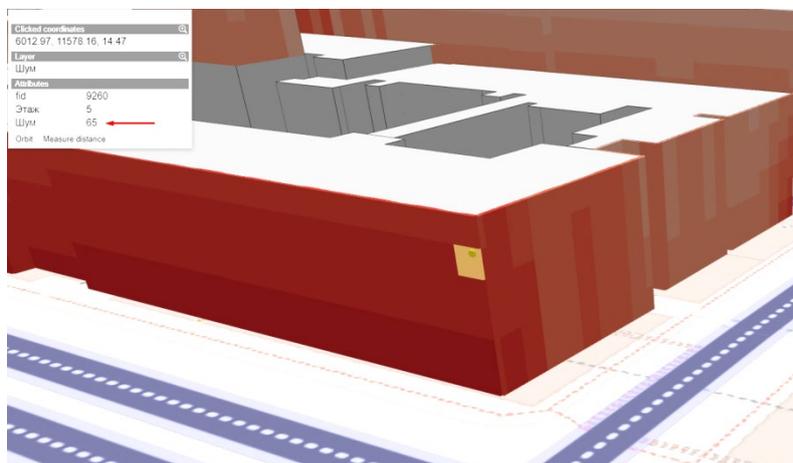


Рис. 4. Результат визуализации объёмного распространения шумового загрязнения

В процессе выполнения исследований закономерно встал вопрос: насколько объективную картину отображает дискретная модель шумового воздействия по сравнению с традиционной моделью, в которой шум моделируется изолиниями. Для ответа на этот вопрос был выполнен расчет уровней шума для ряда пробных точек в Северо-Восточном административном округе г. Москвы, в районе железнодорожной станции Лось. Результаты расчета представлены в таблице 1. Контрольные значения шума измерялись с помощью шумомера МЕГЕОН 92135S. Измерения проводились в соответствии с действующей методикой в разное время суток и в разные дни недели, поэтому в таблицу в качестве контрольных вынесены усреднённые значения. Кроме того, в исследовании была рассмотрена возможность использования альтернативного показателя вместо категории улиц, а именно — плотности транспортного потока, подсчитанного с помощью камер наблюдения. Схема размещения точек представлена на рисунке 5.

Оценка объективности дискретной модели шумового загрязнения

№ точки	Уровень шума, дБ,		
	по данным натуральных наблюдений	по данным дискретного моделирования шумового загрязнения (рассчитан исходя из категории улицы)	по данным дискретного моделирования шумового загрязнения (рассчитан исходя из плотности транспортного потока)
1	57	55	47
2	54	50	35
3	60	58	40
4	65	55	36

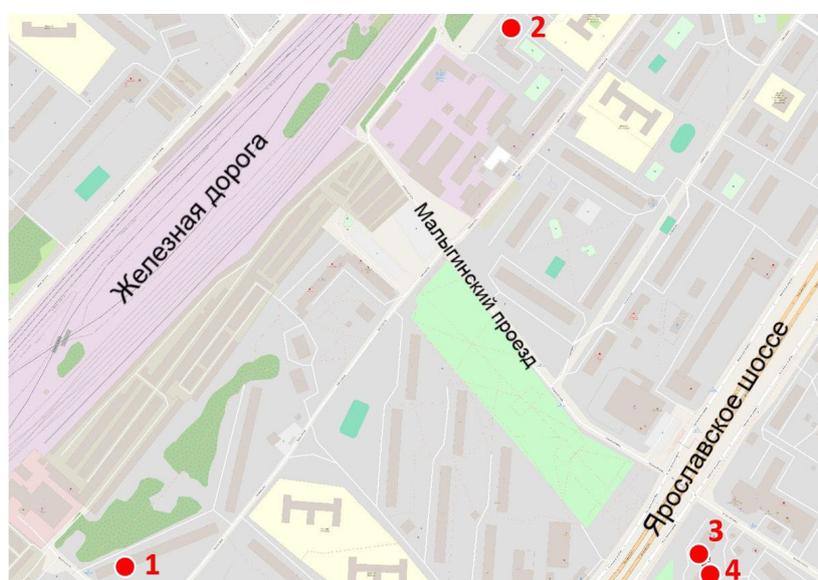


Рис. 5. Схема размещения точек полевых измерений уровня шума

Как видно из таблицы, дискретное моделирование шумового загрязнения с учетом категории улиц дает результаты, более близкие к натурным, чем моделирование с учетом плотности транспортного потока. Выяснение причины данного явления является частью перспективных исследований.

Заключение

Предложенный авторами подход к дискретному моделированию шумовой нагрузки дает объективную картину шумового воздействия, достаточную для рационального планирования городской застройки на стадии предпроектных исследований. Получившиеся трехмерные картографические модели наглядно показывают уровень шума в помещениях, расположенных в пределах конкретных строительных секций. Для построения модели требуется достаточно небольшой объем исход-

ных данных, которые могут быть получены путем использования открытых геопро-
странственных данных (цифровые слои с конфигурацией зданий и уличной сети,
информация об этажности зданий) и генеральных планов поселений, находящихся
в открытом доступе (категория улиц). Дискретный подход достаточно гибок, так
как позволяет варьировать размеры пространственных ячеек (так например для
анализа шумовой нагрузки на территории индивидуальной, а не многоэтажной за-
стройки, будут использованы ячейки с шагом 10 м по горизонтали, так как этот шаг
чаще всего используется при проектировании частных домов).

Перспективные исследования включают совершенствование визуализаци-
онной компоненты данного проекта, а также интеграцию в расчеты сведений о
рельефе местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В. Б., Май И. В., Клейн С. В., Кошурников Д. Н. Транспортный шум как фактор риска здоровью населения и установления ограничений использования земельных участков городских и сельских поселений // *Здоровье населения и среда обитания*. - 2022. - Т. 30, №. 10. - С. 25-32.
2. Кирсанов В.В., Григорьева И.Г. Воздействие акустических колебаний (слышимого шума, инфразвука, ультразвука) на окружающую природную среду // *Вестник Казанского технологического университета*. - 2014. - Т. 17, №. 17. - С. 126-129.
3. Шум как гигиеническая и социальная проблема : учебное пособие / Е. В. Жукова, Г. В. Куренкова, М. О. Потапова ; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра профильных гигиенических дисциплин. – Иркутск : ИГМУ, 2020. – 56 с.
4. Надежкина Е. В., Тушавина О. В. Изучение антропогенных шумовых воздействий в Москве (на примере района Сокол и территории МАИ) // *Экология урбанизированных территорий*. - 2022. - №. 2. - С. 22-26. doi:10.24412/1816-1863-2022-2-22-26
5. Францева Т. П., Сухомлинова А. Г., Чернышева Н. В. Оценка шумового режима в селитебной зоне // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. - 2022. - №. 178. - С. 204-209.
6. ГОСТ 23337-2014. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ ШУМ Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200114242>
7. Николаева О. Н., Краснопольский И. А. Обзор существующих подходов к расчету и картографированию уровней шумового загрязнения территории // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. - 2022. - Т. 4. - С. 210-219.
8. *СВОД ПРАВИЛ СП 54.13330.2022 «ЗДАНИЯ ЖИЛЫЕ МНОГОКВАРТИРНЫЕ. АКТУАЛИЗИРОВАННАЯ ВЕРСИЯ СНИП 31–01–2003»* [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/351139048>
9. S. Garg, K.M. Lim, H.P. Lee. An averaging method for accurately calibrating smartphone microphones for environmental noise measurement. *Appl Acoust*, 143 (2019), pp. 222-228.
10. Díaz, Wendy & Tarrillo, Anali & Ocaña, Candy & Quiñones Huatangari, Lenin. (2023). Noise estimation using an artificial neural network in the urban area of Jaen, Cajamarca. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 12. 1427-1434. 10.11591/eei.v12i3.4633
11. Zannin PHT, Do Nascimento EO, Da Paz EC, Do Valle F. Application of Artificial Neural Networks for Noise Barrier Optimization. *Environments*. 2018; 5(12):135. <https://doi.org/10.3390/environments5120135>
12. (4) M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*, 383 (2014), pp. 1325-1332

© О. Н. Николаева, И. А. Краснопольский, 2024