

Обзор существующих подходов к расчету и картографированию уровней шумового загрязнения территории

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

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. В статье обосновывается роль картографического метода исследования при изучении и контроле шумового загрязнения в городах. Рассмотрена зарубежная и отечественная нормативная документация, регламентирующая процесс изучения и картографирования шумовой нагрузки. Изложены требования к замерам уровней шума и их картографированию. Представлены фрагменты карт, созданных в России и за рубежом, отмечены их достоинства и недостатки. Описаны три основных подхода к замеру и картографированию уровней шума, в том числе мобильное картографирование шума. Рассмотрен опыт конкретных исследований по использованию различных способов интерполяции для расчета шумовой нагрузки на территорию. Сформулированы предложения по картографическому моделированию шумовой нагрузки крупного российского города в среде ГИС. Охарактеризованы основные источники данных для такого моделирования, позволяющие оценить шумовую нагрузку как напрямую, так и косвенно.

Ключевые слова: уровни шума, шумовое загрязнение, шумовое воздействие, шумовая нагрузка, города, промышленные центры, картографирование шума, карты шума

An overview of modern approaches for assessment and mapping of noise pollution

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

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

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

* e-mail: onixx76@mail.com

Abstract. The article substantiates the role of the cartographic research method in the study and control of city noise pollution. The regulatory documentation in scope of studying and mapping the noise load is considered. The requirements for measurement and mapping of noise levels are outlined. Fragments of maps created in Russia and abroad are presented, their strengths and weaknesses are described. The three main approaches to measuring and mapping noise levels, including mobile noise mapping, are characterized. Case-studies on the use of various interpolation methods for calculating the noise load are considered. Proposals are formulated for GIS-based city noise modeling. The main sources of data for direct and indirect city noise modeling are characterized.

Keywords: noise levels, noise pollution, noise load, city, noise mapping, noise maps

Введение

Шум является одним из ведущих факторов, оказывающих негативное воздействие на качество жизни и уровень здоровья жителей крупных городов. Постоянное превышение уровня шума свыше 40 дБ (громкость обычного разговора)

приводит к угнетению центральной нервной системы вплоть до неврозов, нарушению обмена веществ, язве желудка, обострению гипертонии и профессиональных заболеваний [1].

Распределение шумовой нагрузки по территории населенного пункта в значительной степени обусловлено особенностями планировки городской территории (конфигурация дорожно-транспортной сети, локализация промышленных и социально-культурных объектов, оборудованных вентиляционными установками, громкоговорителями и прочими источниками шума, и т. п.). Однако при этом уровень шума может сильно варьироваться в пределах одного и того же локального участка местности в силу наличия зеленых насаждений и шумовых экранов, ориентировки зданий и прочих местных факторов. Поэтому при изучении закономерностей формирования шумовых загрязнений в населенных пунктах важную роль играют геоинформационные методы сбора, анализа и моделирования исходных данных, а в качестве одного из основных инструментов для разработки шумозащитных мероприятий выступают цифровые и электронные карты и картографические модели.

Действующая нормативная документация

В настоящее время основным нормативным документом, регламентирующим подходы к моделированию шумового загрязнения на международном уровне, является стандарт ISO 9613-2:1996 «Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation». В соответствии с ним западными исследователями выделяются понятия «стратегические карты шума» (Strategic Noise Maps) и «действующие карты шума» (Action Noise Maps).

Стратегические карты шума определяются как «графическое представление прогнозной ситуации в отношении шума на конкретной территории и от конкретных источников, с отображением разных уровней шума в децибелах посредством разных цветов» («A strategic noise map is a graphical representation of the predicted situation with regards to noise in a particular area and from particular noise sources, with different colours representing different noise levels in decibels»), [2]. Исходными данными являются усредненные за год результаты мониторинга уровней шума на территории в дневное (07:00 – 19:00), вечернее (19:00 – 23:00) и ночное (23:00 – 07:00) время суток; при этом нормативными документами особенно подчеркивается, что цель картографирования – отобразить средний уровень шума на территории, а не точечные результаты конкретных измерений. Объектами мониторинга являются наиболее крупные автомобильные дороги (транспортный поток более 3 млн. автомобилей в год), железные дороги (пассажиропоток более 30 000 пассажиров в год), аэропорты (пассажиропоток более 50 000 пассажиров в год) и населенные пункты (население более 100 000 жителей). Стратегические карты шума обновляются 1 раз в 5 лет. Работы по их созданию возлагаются на местные муниципалитеты и организации, отвечающие за управление автомобильным, железнодорожным и авиационным сообщением [3]. Фрагмент стратегической карты шума, составленной на г. Дублин (Ирландия), представлен на рис. 1 [4]. В более полном виде с данной картой можно ознакомиться в Интернете [4].

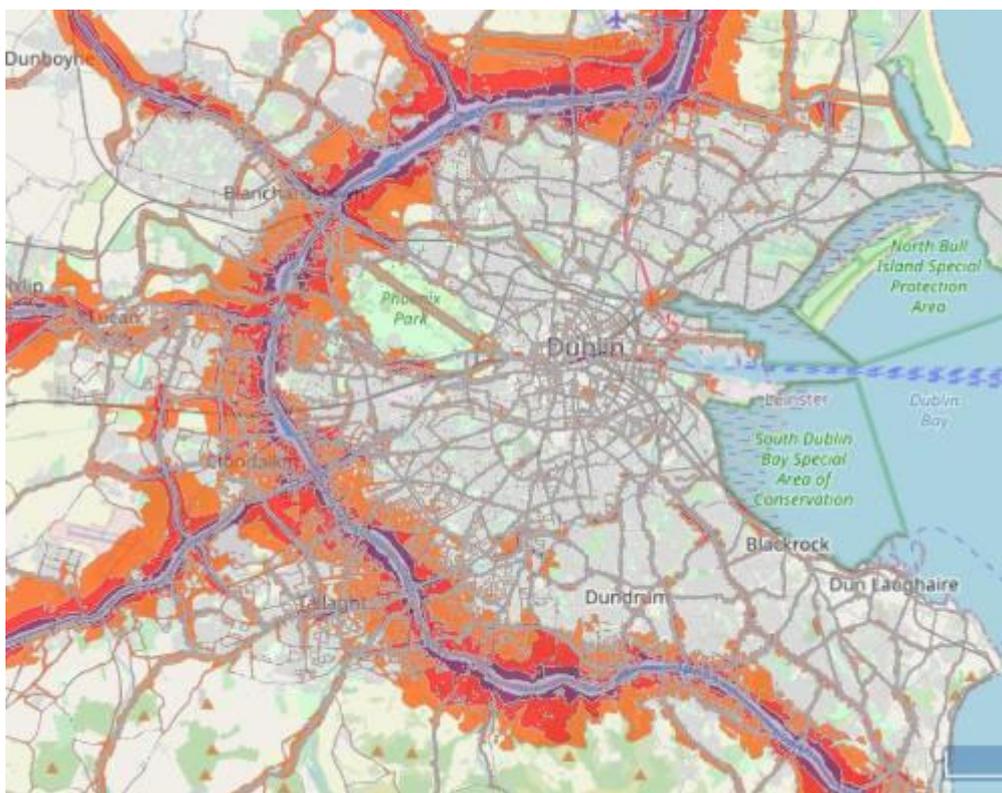


Рис. 1. Стратегическая карта шума города Дублин, Ирландия

Действующие карты шума (иногда встречается формулировка «действующие планы шума», Action Noise Plans), составляются для решения проблем, связанных с шумовым загрязнением и его последствиями («noise Action plans are developed by Local Authorities in order to manage noise issues and effects», [5]. Их основной задачей является обоснование мероприятий по снижению шума на локальных участках, где уровень шума превышает 55 дБ в дневное время и 50 дБ в ночное. Созданием таких карт занимаются местные муниципалитеты.

В России моделирование распространения шума по территории осуществляется на базе ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета [6], который является модификацией ранее упомянутого международного стандарта ИСО 9613-2:1996. В ГОСТ представлены схемы распространения и преломления звука в наиболее типичных ситуациях, однако полностью отсутствуют сведения о каких-либо приемах визуализации распространения шума по территории с географической привязкой. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков регламентирует создание оперативных карт шума, которые представляют собой «карту (план) территории с нанесенными на нее данными о шумовой обстановке, позволяющие оценить комплексное воздействие шума от всех или от отдельных источников шума на этой территории» [7], а также Национальный стандарт ГОСТ Р 53187-2008 Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий [8]. Из международного стандарта в эти документы перешло понятие Strategic Noise Map, которое было переведено

как «оперативная карта шума» и трактовано как «карта местности или план ограниченной территории с нанесенными на нее данными о шумовой обстановке, позволяющая оценить комплексное воздействие шума от всех источников на данной территории, воздействие шума от отдельных источников, а также прогнозировать суммарные воздействия шума для такой территории». Объектом картографирования является комплексный уровень всех источников шума на городской территории, процесс измерения и картографирования не отличается принципиально от подхода, используемого за рубежом и описанного выше. Аналог Action Noise Maps в русскоязычных нормативных документах не упомянут, хотя в ГОСТ Р 53187-2008 детально охарактеризован процесс мониторинга шума от конкретных источников (промышленных предприятий, рельсового и авиационного транспорта), что, по логике вещей, должно предполагать и картографирование результатов исследований.

Материалы и методы

Как в России, так и за рубежом, в настоящее время, наиболее распространены следующие подходы к картографированию шумового загрязнения городов [9]:

– создание карт по данным полевых измерений, выполняемых с применением шумомеров в заранее определенных точках местности. Данный подход позволяет получить непосредственные сведения о шумовой нагрузке, однако, он предполагает выполнение значительного количества измерений (в разное время суток, не только на «зашумленной», но и на эталонной «тихой» территории) и, соответственно, значительных затрат человеко-часов на сбор исходных данных. Также необходимо тщательно продумать конфигурацию наблюдательной сети, дабы охватить все источники шума, представленные на данной территории, и выполнять измерения с использованием сертифицированного оборудования или с привлечением сторонних исполнителей, имеющих соответствующую квалификацию и аккредитацию. Объектом картографирования в этом случае являются эквивалентные уровни шума, скорректированные в зависимости от частоты звука и измеряемые в децибелах.

– оценка шумовой нагрузки по косвенным показателям (особенности транспортного потока, характер застройки территории и пр.). Этот подход в основном используется при оценке шумового воздействия от автомобильного, железнодорожного и авиационного транспорта. Объектом картографирования являются характеристики транспортного потока (интенсивность и объем движения, состав и плотность потока), относительно которых затем рассчитывается шумовая нагрузка. Эти характеристики достаточно легко определяются путем анализа GPS-треков транспортных средств, а загруженность дорожно-уличной сети может быть оценена по материалам аэрокосмической съемки (в том числе – свободно распространяемых, подобно картам Google и Яндекс). Современные компании, предлагающие свои услуги по оценке шумовых загрязнений городских территорий, зачастую выполняют свои исследования именно по этому принципу. При этом для отдельных участков местности может быть осуществлены полевые замеры с помощью шумомеров.

Развитие мобильных средств связи привело к формированию с 2010-х гг. нового подхода к мониторингу шумового воздействия – мобильному картографированию шума (Smartphone-based noise mapping, mobile noise mapping и т. п.). Этот подход основывается на использовании обычных смартфонов и специально разработанного программного обеспечения для фиксации уровней шума в различных точках городской территории, причем в исследованиях могли принимать участие не только специалисты, но и добровольцы [10], что фактически заложило основу для внедрения краудсорсинга в процесс картографирования шума.

Независимо от используемого подхода важную роль в картографировании шума играют методы, используемые для интерполяции значений уровня шума на территории между точками наблюдений, для получения общей картины шумового загрязнения территории. Наиболее часто для построения изолинейных карт шума используется метод Кригинга, хотя некоторыми исследователями делались выводы о большей пригодности иных методов интерполяции.

Результаты и обсуждение

Картографирование шума по данным полевых измерений с применением специального оборудования и обученного персонала до сих пор лежит в основе многих исследований шумового загрязнения городских территорий. Однако главный недостаток этого подхода – значительные затраты на оборудование и время выполнения работ, – побуждает исследователей всевозможными способами сокращать объемы полевых работ. Всё большее значение приобретают альтернативные методы исследования, и в частности – оценка шумовой нагрузки по комплексным показателям. В этом случае становится возможным свести количество полевых измерений к десяткам, и даже единицам. Так например, македонскими исследователями [11] была выполнена прогнозная оценка шумового загрязнения города Скопье (Северная Македония). В качестве пилотной области был выбран один из центральных городских кварталов площадью 0,4 км² и населением в 10 000 чел, ограниченный четырьмя основными транспортными магистралями. Для этого квартала была оценена плотность транспортного потока, которая сопоставлялась с результатами полевых измерений уровня шума, которые выполнялись в 4 точках. Выявленная зависимость между плотностью трафика и уровнем шума была экстраполирована на остальные улицы города. Сопоставление фактических и прогнозных значений выявило, что прогнозные значения были занижены относительно фактических не более чем на 2 дБ для дневного и вечернего времени, и примерно на 4 дБ для ночи. Прогнозная карта шумового воздействия и схема размещения точек измерения шума представлены на рис. 2.

В работе [12], выполненной по схожим принципам и рассматривающей шумовое загрязнение от автомобильного транспорта в г. Дели (Индия), оказалось достаточным организовать лишь 10 контрольных точек полевых измерений уровня шума при общей площади города около 1500 км². Расхождения между измеренными и прогнозными значениями уровня шума составили от 4 до 7%. Турецкими исследователями еще в 2006 г. было смоделировано шумовое воздействие от автотранспорта в весьма крупном городе Шанлыурфа (население около

мобильного транспорта, но и стационарные объекты (железнодорожные вокзалы, строительные площадки, торговые центры). Однако при детальном анализе карты становится очевидным, что основным способом ее создания являлось построение буферных зон вокруг точечных и линейных источников шума, что привело к наличию на карте четких границ распространения шума, чего в реальности, безусловно, не наблюдается. Также не является достоинством и «плавающая» шкала ранжирования уровней шума, использование которой требует от читателя карты хорошо развитой способности различать близкие оттенки цвета.

Как было сказано выше, объективность карт шумового загрязнения в значительной степени обусловлена используемыми методами интерполяции, т. к. зачастую такие карты составляются с помощью способа изолиний. Ряд работ позиционирует метод Кригинга как дающий достаточно правдоподобное изображение при оптимальных затратах машинного времени [15, 16]. Однако в работе [17] наилучшие с точки зрения ее авторов результаты были получены с применением радиальной базисной функции, что авторы объяснили специфическим рельефом территории, представляющей собой плоскую равнину.

Однако, появление концепции мобильного измерения уровня шума с помощью смартфонов начинает, в настоящее время, составлять конкуренцию методу оценки шумового загрязнения путем анализа транспортных потоков.

Впервые, данный подход был предложен еще в 2008 г. группой австралийских и немецких ученых. Они разработали мобильное приложение, названное Laermometer (от латинского *laer* – шум, гул), и позволяющее любому желающему осуществлять самостоятельно измерение шума с помощью смартфона (использовался встроенный микрофон смартфона) [18]. Результаты измерений визуализировались посредством размерных значков, привязанных к точкам измерения шума (рис. 4).

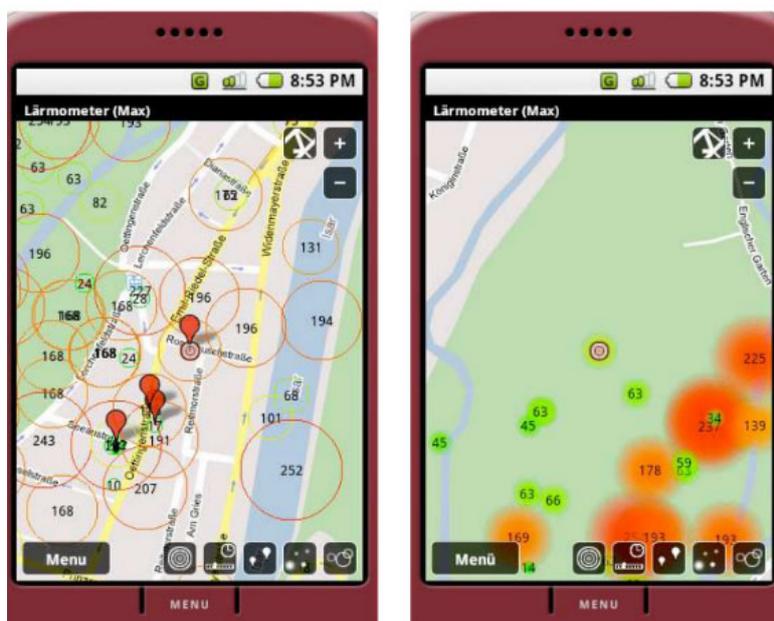


Рис. 4. Мобильное картографирование уровней шума [18]

Ограниченность способов картографической визуализации данных мобильного картографирования шума, тем не менее, компенсировалась рядом других достоинств: оперативность; массовость; изначальная геопривязка данных; удобство импорта и обработки собранной информации в ГИС-среду. Последующие исследования в данном направлении подтвердили, что точность и объективность изолинейных карт шума, составленных по материалам мобильных исследований, отвечает точности карт, составленных с применением традиционных подходов [19, 20]. В 2016 году китайскими учеными было показано, что мобильное изолинейное картографирование шума дает более точные результаты, чем традиционные карты (в том числе, созданные с применением метода Кригинга) [21]. Очевидно, что данный эффект достигается за счет более обширного и детального покрытия исследуемой территории данными наблюдений, причем их объем позволяет без ущерба отбраковывать недостоверные результаты.

Вышеописанные исследования осуществлялись в различных инструментальных ГИС. Авторами данной статьи предлагается использовать для картографирования уровня шума ГИС QGIS3. В рамках ее возможностей доступно построение не только плановых, но и объемных моделей объектов капитального строительства, а также их оформление в зависимости от отображаемых показателей.

Основываясь на СП 51.13330.2011 «Защита от шума» [22] имеется возможность определить, на первом этапе, математические особенности распределения шума в объемной модели для использования в дальнейшем расчетов по определению поэтажного распределения шума в объектах капитального строительства. Используя СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» и СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги», можно оценить максимальные пропускные способности автодорог в населенных пунктах и тем самым определить максимальные показатели шумового загрязнения от них.

При использовании такого подхода к разработке методик по объемному картографированию шумового загрязнения на первых этапах исследования не будет необходимости для проведения полевых наблюдений и позволит лучше отработать программный механизм оценки шумового загрязнения. На последующих этапах используя данные из документации о загрязнении шумом урбанизированных территорий линейными и точечными объектами транспортной, инженерной инфраструктуры и пр. получится дать более полную картину шумового загрязнения.

После проведения анализа максимальных показателей шумового загрязнения необходимо перейти к сбору реальных данных о шумовом загрязнении территорий, для этого с помощью данных о треках в системе Open Street Map оценить реальную загрузку автодорожной сети и проанализировать на сколько максимальные показатели отличаются от реальных, а также определить методологию использования открытых данных для оценки шумового загрязнения. Для анализа загруженности улично-дорожной сети с помощью открытых данных сервиса «Яндекс карты» имеется возможность оценить загруженность автодорог в крупных городах по дням недели, а также по часам. Благодаря использованию

данных о загруженности дорог появится возможность для разработки интерактивных карт отображающих шумовое загрязнение в разные периоды времени. Для анализа пригородного и дальнего пассажирского железнодорожного сообщения можно использовать открытые данные о билетах ОАО «РЖД» и также появится возможность построения интерактивных карт. Для оценки шумового загрязнения в городе Москве от объектов городского хозяйства и прочих городских точечных источников шума есть возможность использовать портал открытых данных data.mos.ru, в котором удобно структурированы геоинформационные данные об объектах городской инфраструктуры и прочих городских объектах. В рамках данного исследования формируется потребность в анализе трех основных направлений, а именно: математическое формулирование способов определения шума, программное построение максимальных и определенных показателей уровня шума в трехмерном пространстве, анализ возможностей использования открытых данных для сбора информации о шумовом загрязнении и в последствии их структурирования.

Выводы

Благодаря стремительному развитию геоинформационных и компьютерных технологий и совершенствованию средств связи современное картографирование шума получило ряд новых инструментов для более объективного моделирования и визуализации шумовой нагрузки на территорию, одним из которых является мобильное картографирование шума. Использование индивидуальных средств связи для фиксации уровней шума в различных точках территории позволяет моделировать шумовую нагрузку практически в режиме онлайн. Доступность этого вида наблюдений для широкого круга пользователей позволяет собирать обширные массивы данных, что компенсирует невысокую точность единичных результатов, обусловленных малой чувствительностью микрофонов, встроенных в современную компьютерную технику. Очевидно, что такой подход имеет большие перспективы в сфере оценки комплексной шумовой нагрузки на городской территории.

Между тем, оценка шумового воздействия конкретных промышленных и транспортных объектов в соответствии с нормативными документами продолжает базироваться на синтезе полевых наблюдений и расчетных методов.

Независимо от того, как именно собирались исходные данные, важную роль в создании карт шума играет совершенствование методов интерполяции и экстраполяции шумовой нагрузки, в том числе с учетом сторонних факторов (экранирование источников шума строениями, объектами озеленения, формами рельефа, искусственными конструкциями; ветровая нагрузка, этажность зданий и пр.). Оптимальным инструментарием для решения этой задачи являются ГИС, а пути ее решения будут показаны авторами данной статьи в последующих работах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков А.В., Сумарукова О.В. О методах проблемного обследования ООПТ в рамках учебной практики // Управление объектами недвижимости и развитием территорий: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. / Под ред. В.А. Тарбаева. Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2017. С. 274-277.

2. Noise mapping and action plans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.ie/our-services/monitoring--assessment/noise/noise-mapping-and-action-plans/>.
3. Environmental Noise Directive [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/environment/noise/directive_en.htm#:~:text=Directive%202002%2F49%2FEC%20relating.
4. EPA MAPS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis.epa.ie/EPAMaps/State%20and%20at%20EU%20level>.
5. Noise mapping and action plans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.ie/our-services/monitoring--assessment/noise/noise-mapping-and-action-plans/>
6. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200046351>
7. СП 276.1325800.2016. СВОД ПРАВИЛ. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456050585?marker=7D20K3>
8. ГОСТ Р 53187-2008. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200069469>
9. Беленко В.В. Б 43 Применение данных дистанционного зондирования для картографирования застраиваемых земель при проведении геоэкологической оценки: Учебное пособие. – М.: Издательство «Спутник +», 2016. – 119 с.
10. Murphy, Enda & King, Eoin. (2016). Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process. *The Science of the total environment*. 562. 852-859. 10.1016/j.scitotenv.2016.04.076.
11. Maja Anachkova, Simona Domazetovska, Zlatko Petreski, Viktor Gavriloski. Urban noise mapping: The impact of traffic noise level in the environmental noise pollution. *Forum Acusticum*, Dec 2020, Lyon, France. pp.3071-3076, ff10.48465/fa.2020.0604ff.
12. Mishra, Rajeev & Nair, Kartik & Kumar, Kranti & Shukla, Ankita. (2021). Dynamic noise mapping of road traffic in an urban city. *Arabian Journal of Geosciences*. 14. 10.1007/s12517-020-06373-9.
13. Yilmaz, G., Hocanlı, Y. Mapping of Noise by Using Gis in Şanlıurfa. *Environ Monit Assess* 121, 103–108 (2006). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9109-1>.
14. Карта шума [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://urbica.github.io/noisemap/>
15. Can, Arnaud & Dekoninck, Luc & Botteldooren, Dick. (2014). Measurement network for urban noise assessment: Comparison of mobile measurements and spatial interpolation approaches. *Applied Acoustics*. 83. 32–39. 10.1016/j.apacoust.2014.03.012.
16. Harman, Bilgehan & Koseoglu, Hasan & Yigit, Cemal. (2016). Performance evaluation of IDW, Kriging and Multiquadric Interpolation Methods in Producing Noise Mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. *Applied Acoustics*. 112. 147-157. 10.1016/j.apacoust.2016.05.024.
17. Bostancı, Bülent. (2018). Accuracy assessment of noise mapping on the main street. *Arabian Journal of Geosciences*. 11. 10.1007/s12517-017-3343-z.
18. Bilandzic, Mark & Banholzer, Michael & Peev, Deyan & Georgiev, Vesko & Balagtas-Fernandez, Florence & De Luca, Alexander. (2008). Laermometer - A mobile noise mapping application. *ACM International Conference Proceeding Series*. 358. 415-418. 10.1145/1463160.146320
19. Rana, Rajib & Chou, Chun Tung & Bulusu, Nirupama & Kanhere, Salil & Hu, Wen. (2013). Ear-Phone: A Context-Aware Noise Mapping using Smart Phones. *Pervasive and Mobile Computing*. 17. 10.1016/j.pmcj.2014.02.001
20. Murphy, Enda & King, Eoin. (2016). Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process. *The Science of the total environment*. 562. 852-859. 10.1016/j.scitotenv.2016.04.076.
21. Zuo, Jinbo & Xia, Hao & Liu, Shuo & Qiao, Yanyou. (2016). Mapping Urban Environmental Noise Using Smartphones. *Sensors*. 16. 1692. 10.3390/s16101692.
22. Защита от шума в градостроительстве/Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др. – М.: Стройиздат, 1993 – 96