

Оригинальная статья

УДК 629.113

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-436-446>

ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ

А. В. Васильев

*Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244*

Поступила в редакцию 05.04.2021 г., после доработки 15.06.2021 г., принята 20.08.2021 г.

Аннотация. Рассмотрены проблемы мониторинга транспортного шума. Существующие подходы к мониторингу транспортного шума обладают рядом недостатков. Проведена оценка влияния шума транспорта и других источников на здоровье населения на примере г. Тольятти, которая показала, что существует достоверная, статистически значимая зависимость роста заболеваемости населения от акустического загрязнения. Предложена и апробирована в условиях Самарской области России новая система мониторинга транспортного шума, имеющая ряд преимуществ для акустических исследований. Также исследовались акустические характеристики отдельных автотранспортных средств и их спектральные значения. Анализ результатов измерений транспортного шума для автомобилей различных типов показывает, что наиболее значительные уровни шума наблюдаются в диапазоне низких частот. Таким образом, при снижении транспортного шума до приемлемых гигиенических требований особое внимание следует уделить снижению низкочастотной составляющей шума.

Ключевые слова: транспортный шум, воздействие, мониторинг

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (соглашение № 20-19-00222).

Для цитирования. Васильев А. В. Особенности и результаты мониторинга транспортного шума на примере Самарской области России // Поволжский экологический журнал. 2021. № 4. С. 436 – 446. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-436-446>

ВВЕДЕНИЕ

Негативное воздействие транспортного шума на человека и биосферу представляет собой серьезную экологическую проблему, существующую во всем мире (Васильев, 2004; Kerner et al., 2005; Santiago et al., 2000; Vasiliev, 2007; Melloni et al., 2016; Carrese et al., 2017; Vasilyev, 2017, 2019; Chukarin et al., 2021). Подходы к решению этой проблемы в разных странах различны и находятся в большой зависимости от культуры, экономики и политики каждой страны.

✉ Для корреспонденции. Поволжский ресурсный центр инженерной экологии и химической технологии Самарского государственного технического университета.

ORCID и e-mail адрес: Васильев Андрей Витальевич: <https://orcid.org/0000-0002-6068-5537>, avassil62@mail.ru.

Проблема остается даже в тех областях, где обширные ресурсы были затрачены для регулирования, оценки и снижения негативного воздействия шума. Фактически современные автомобили излучают значительно меньший шум, чем выпускавшиеся ранее, но значительное увеличение количества автотранспортных средств и объема перевозок привело к тому, что всех ранее принимаемых мер стало недостаточно, а уровень шума еще больше увеличился.

Официальные данные свидетельствуют, что в России примерно 35 млн человек (или 30% городского населения) подвержены воздействию транспортного шума, превышающего нормативы.

Самым распространенным источником шума и главной причиной слухового раздражения и беспокойства людей во всех странах мира является автомобильный транспорт. По данным зарубежных источников (Kerner et al., 2005; Melloni et al., 2016; Carrese et al., 2017; Lo Castro et al., 2021), в странах Европы на шум от автомобилей приходится более 90% недопустимых уровней шума. По данным российских источников, в нашей стране также наибольший вклад в загрязнение окружающей акустической среды вносит автотранспорт – 80% от общего шума. В Москве, Санкт-Петербурге и других крупных городах уровень шума от транспорта днем достигает 90 – 100 дБ и даже ночью в некоторых районах не опускается ниже 70 дБ, при предельно допустимом уровне шума для ночного времени 40 дБ.

Поэтому необходимо осуществлять мониторинг шума, создаваемого транспортом, прежде всего автомобильным.

Существующие подходы к мониторингу транспортного шума обладают рядом недостатков. Использование результатов измерений, выполненных в течение короткого промежутка времени (например, одного дня), приводит к появлению постоянной погрешности, связанной с нетипичностью атмосферных условий и состоянием земного покрова. Величина такой погрешности может составлять до 10 дБ. Кроме того, однодневные результаты измерений не соотнесены с одним источником шума и содержат погрешности маскирующего воздействия других источников шума. Большую проблему при неавтоматизированном сборе данных представляет обеспечение качества входных данных, так как именно от них во многом зависит точность конечного результата.

Можно выделить следующие проблемы классического подхода к мониторингу транспортного шума: 1) зависимость результатов измерений от условий окружающей среды: ветер, температура и температурные отклонения, влажность, препятствия в виде барьеров и зданий, поглощение почвой и др.; 2) зависимость конечного результата от квалификации оператора; 3) результаты измерений не соотнесены с одним источником шума и содержат погрешности от маскирующего воздействия других источников; 4) трудоемкость заключительной обработки результатов измерений. Таким образом, существующие подходы к мониторингу шума обладают рядом недостатков.

Целью статьи является разработка и апробация усовершенствованной системы мониторинга транспортного шума.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Очевидно, что для того чтобы снизить погрешности измерений, необходимо проведение долгосрочного мониторинга транспортного шума с использованием автоматизированных станций. При этом необходимо собрать огромное количество данных, которые сложно структурировать и анализировать с помощью традиционных методов и систем мониторинга. Благодаря GPRS (или ADSL) – технологиям и сети Интернет – в настоящее время возможны автоматизированный сбор, хранение и публикация шумовых данных в сети в реальном времени, а также публикация обновляющихся шумовых карт в соответствии с измеренными уровнями шума.

Предлагается система мониторинга транспортного шума, которая выполняет ежесекундный срез данных третьоктавных спектров шума и устанавливает среднее значение уровня звука в дБ(А). Её использование позволяет распознавать различные виды событий и устанавливать зависимости шумовых данных с другими собранными параметрами, такими как плотность потока автомагистралей, железных дорог, промышленных предприятий, строительных площадок и пр.

Предлагаемая система позволяет выполнять автоматизированную круглосуточную регистрацию данных, обеспечивая сбор результатов измерений уровней шума и других соответствующих параметров окружающей среды и проведение измерений в полевых условиях при отсутствии оператора.

Непрерывный мониторинг транспортного шума обеспечивает постоянный контроль за соответствием уровней шума установленным ограничениям.

В состав системы мониторинга уровня шума входят:

- одна или несколько станция мониторинга – шумомер с всепогодным микрофоном, система электропитания и маршрутизатор;
- центральный модуль (устройство анализа и хранения данных);
- канал передачи данных (GPRS/ADSL и Internet).

При помощи шумомера измеряется широкий спектр акустических параметров, включая текущие эквивалентные уровни звука $L_{эв}$ (дБА) и максимальные. Посредством сети интернет станции системы непрерывного мониторинга соединены с центральным, в котором осуществляется хранение и анализ полученных данных.

Внутри станции мониторинга, основной частью которой является шумомер, снабженный внешним микрофоном, также находится система электропитания и специально спроектированный маршрутизатор, который обеспечивает настройку шумомера и спроектирован для того, чтобы обеспечивать в реальном времени сбор данных от шумомера и отправку их в центральный сервер по выбранному каналу передачи.

Все результаты измерений, накапливаемые и временно хранящиеся в памяти станции мониторинга, периодически сбрасываются в центральный сервер для обработки и длительного хранения.

Маршрутизатор внутри станции мониторинга служит также для оптимизации передачи данных (а именно: сжатия данных, управления потоками данных и т.д.) и предотвращает потери данных из-за сбоев сети GPRS.

Вместе с собранными шумовыми данными возможна передача видеoinформации по транспортному шуму. Вместо шумомера система может снабжаться различными устройствами, например, виброметром, для сбора данных по вибрации вместо данных по шуму.

Все станции мониторинга постоянно синхронизируются при помощи NTP-сервера, благодаря этому возможно осуществлять сравнение данных, полученных с разных станций, установленных в одном районе.

Опционально могут собираться и передаваться в центральный сервер и другие параметры, такие как положение GPS, метеоусловия или плотность потока. Все данные, переданные станциями мониторинга, постоянно собираются центральным сервером и сохраняются в системе управления базой данных. Данные измерений в виде нескольких видов графиков доступны на общей или защищенной паролем веб-странице.

Установив связь системы с соответствующим программным обеспечением для прогнозирования уровней шума, можно частично изменять рассчитанные ранее карты шума, а также публиковать через заданный временной интервал обновленные шумовые карты территории мониторинга в соответствии с измеренными уровнями шума. Для этого необходимо выбрать расположение станций мониторинга таким образом, чтобы получать данные, являющиеся характерными для каждого источника шума, присутствующего на исследуемой территории.

Все загруженные с центрального сервера данные обрабатываются при помощи специально разработанного программного обеспечения для того, чтобы составить графики и диаграммы спектра, временные диаграммы для каждой полосы частот, сонограммы, а также чтобы вычислить почасовые эквивалентные уровни шума. Данные измерений и вычисленные параметры можно вывести на печать или представить в виде текстовых или графических форм.

При изучении воздействия шумовой нагрузки анализировались статистические данные по заболеваемости, возможной с учетом биологического действия фактора шума. В исследуемую группу вошли заболевания сердечно-сосудистой системы, нервной системы, желудочно-кишечного тракта – всего 14 нозологических единиц.

Источниками информации о заболеваемости являлись материалы первичной обращаемости граждан в медицинские учреждения г. Тольятти по месту жительства. С помощью специализированных процедур, одной из которых является метод И. Я. Липы, проведена оценка параметров уравнения множественной линейной регрессии и проверка существенности влияния исследуемых факторов на заболеваемость.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью программного обеспечения была построена трехмерная модель выбранного квартала (рис. 1).

Затем в течение одного месяца выполнялись круглосуточные измерения шума при помощи фиксированной станции мониторинга, установленной на жилом доме со стороны автомобильной дороги.

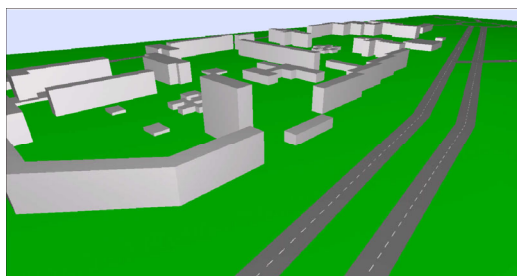


Рис. 1. Трехмерная модель квартала № 73 г. Тольятти

Fig. 1. A 3D model of Block no. 73 of Togliatti city

Наименьший зафиксированный уровень шума наблюдался в ночное время суток в период с 3 до 4 часов. Он составил 49.5 дБ(А), что на 9.5 дБ(А) превышает установленный согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 гигиенический норматив.

Наибольший зафиксированный уровень шума наблюдался в дневное время суток в период с 9 до 10 часов. Он составил 65 дБ(А), что на 15 дБ(А) превышает установленный согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 гигиенический норматив.

Данные измерений со станции мониторинга были введены в программное обеспечение, с помощью которого были произведены вычисления уровней шума во всех точках обследуемого квартала в соответствии с построенной ранее трехмерной моделью и построены карты шума (рис. 2, 3).

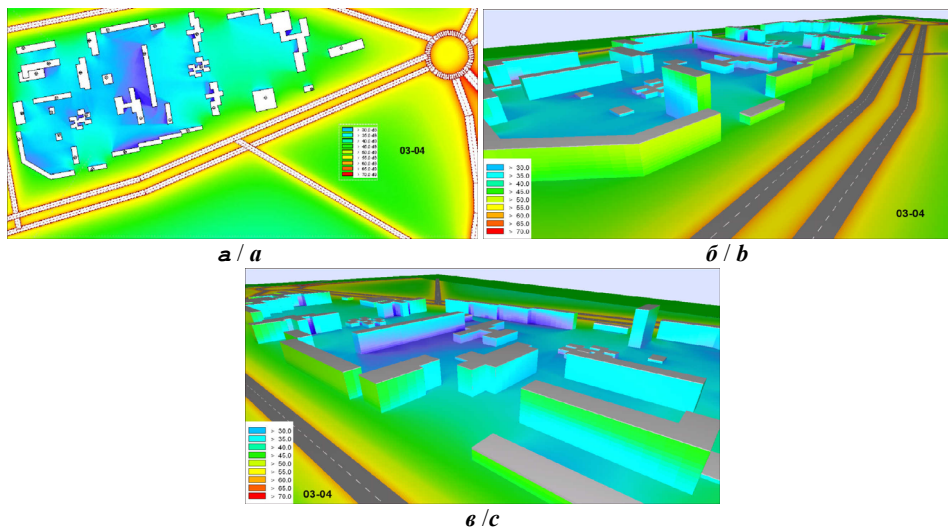


Рис. 2. Карты шума обследуемого квартала в наиболее тихое время суток – с 03.00 до 04.00 часов, составленные по результатам измерений станции непрерывного мониторинга, установленной в доме на ул. Банькина г. Тольятти ($L_{\text{экв}} = 49.5$ дБА, норматив: 40 дБА по СН 2.2.4/2.1.8.562-96): *a* – вид сверху, *b* – вид со стороны ул. Банькина, *c* – вид со стороны ул. Мира

Fig. 2. Noise maps of the surveyed block in the quietest day time – from 03.00 till 04.00 AM, compiled according to the results of measurements of the continuous monitoring station installed in a house in the Banykin Street of Togliatti city ($L_{\text{eq}} = 49.5$ dBA; the norm value: 40 dBA according to Russian Sanitary Norms 2.2.4/2.1.8.562-96): *a* – top view, *b* – view from the side of the Banykin Street, *c* – view from the side of the Mira Street

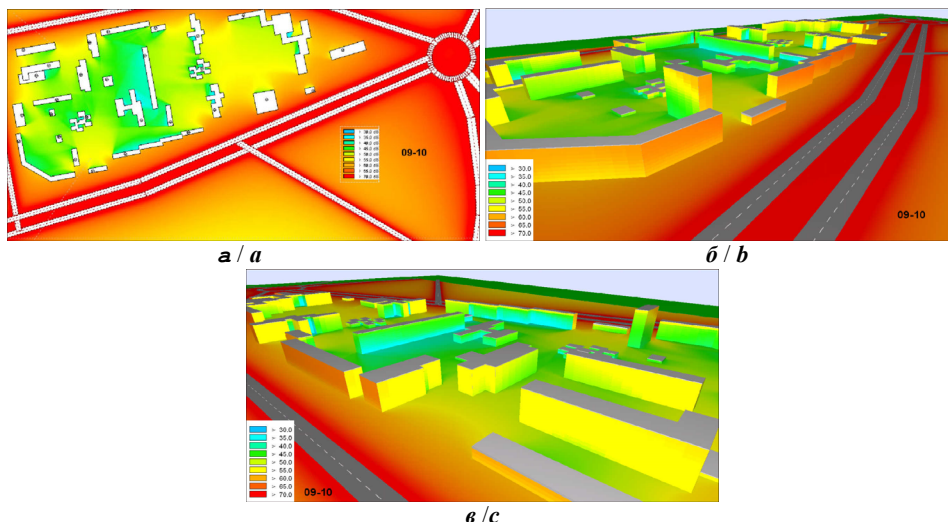


Рис. 3. Шумовые карты квартала в наиболее шумное время суток – с 09.00 до 10.00 дня, составленные с помощью ПО CadnaA по результатам измерений станции непрерывного мониторинга, установленной в доме на ул. Банькина г. Тольятти ($L_{\text{экв}} = 65$ дБА, норматив: 50 дБА по СН 2.2.4/2.1.8.562-96): а – вид сверху, б – вид со стороны ул. Банькина, в – вид со стороны ул. Мира

Fig. 3. Noise maps of the block in the most noisy day time – from 09.00 till 10.00 AM, compiled by using of CadnaA software according to the results of measurements of the continuous monitoring station installed in a house in the Banykin Street of Togliatti city ($L_{\text{eq}} = 65$ dBA; the norm value: 50 dBA according to Russian Sanitary Norms 2.2.4/2.1.8.562-96): a – top view, b – view from the side of the Banykin Street, c – view from the side of the Mira Street

Также исследовались акустические характеристики отдельных автотранспортных средств и их спектральные значения. На рис. 4 показаны результаты измерения уровня звукового давления для легкового автомобиля Ларгус Кросс.

Результаты измерений в режиме разгона на скорости 50 км/ч на второй передаче на расстоянии 7.5 м от проезжающего автомобиля и на расстоянии 0.5 м от среза выхлопной трубы фиксируют максимальное звуковое давление на частоте 125 Гц, что соответствует основной частоте работы двигателя.

В целом анализ результатов измерений транспортного шума для автомобилей различных типов показывает, что наиболее значительные уровни шума наблюдаются в диапазоне низких частот. В ряде случаев отмечаются превышения установленных гигиенических требований. Таким образом, при снижении транспортного шума до приемлемых гигиенических требований особое внимание следует уделить снижению низкочастотной составляющей шума.

Также проводилась оценка влияния шума транспорта и других источников на здоровье населения на примере г. Тольятти. Проведенный анализ внешних источников шума г. Тольятти и особенностей их воздействия на селитебную террито-

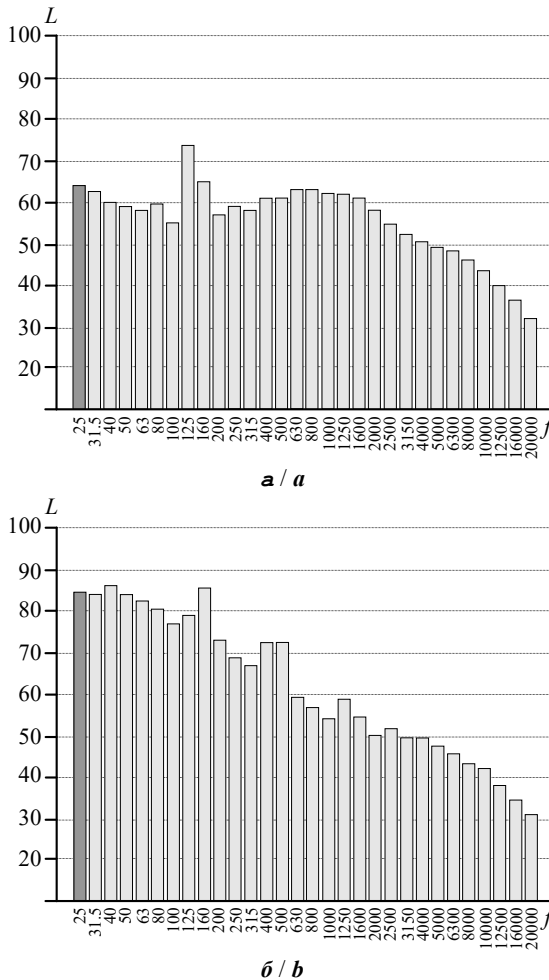


Рис. 4. Третьооктавный спектр уровня звукового давления, измеренный для легкового автомобиля Ларгус Кросс: *a* – в режиме разгона на скорости 50 км/ч на 2-й передаче на расстоянии 7.5 м от проезжающего автомобиля, *b* – на холостых и повышенных оборотах на расстоянии 0.5 м от среза выхлопной трубы; *L* – от 0 до 100 дБ, *f* – от 25 до 20000 Гц

Fig. 4. Third-octave spectrum of the sound pressure level measured for a Largus Cross car: *a* – in acceleration mode at a speed of 50 km/h in second gear at a distance of 7.5 m from a passing car; *b* – for idle and high speed at a distance of 0.5 m from the exhaust cut-off; *L* – from 0 to 100 dB; *f* – from 25 to 20,000 Hz

рию, а также проведенные ранее измерения показывают, что основную долю при воздействии на жилые массивы создают шум транспортных потоков, шум промышленных предприятий и внутриквартальные источники шума. При этом наиболее акустически неблагоприятными являются жилые массивы, примыкающие к транспортным магистралям.

Основываясь на результатах измерений шумовой нагрузки селитебной территории и на первичных медицинских статистических данных по заболеваемости населения г. Тольятти, можно утверждать, что существует достоверная, статистически значимая зависимость роста заболеваемости по рассматриваемым нозологиям от акустического загрязнения (рис. 5).

Предлагаемая система имеет ряд преимуществ для акустических исследований. Детализированные данные по транспортному шуму, которые могут быть собраны, позволяют идентифицировать различные виды источников шума и шумовых событий для того, чтобы достичь лучшего понимания исследуемой акустической среды. Очевидные преимущества такой системы заключаются и в доступности данных исследований в реальном времени из любой точки, где есть интернет, а также в визуализации результатов измерений.

Приложениями данной системы являются мониторинг

транспортного шума, шума железных дорог, промышленных предприятий и строительных площадок, а также проектирование и верификация моделей прогнозирования шума.

Оценка параметров уравнения множественной линейной регрессии и проверка существенности влияния исследуемых факторов на заболеваемость проводились с помощью метода И. Я. Лиепы. Карты шума составлялись с помощью программного обеспечения «CadnaA» и «Sound-City-Test».

Обработка результатов измерений уровней звука осуществлялась с помощью программного обеспечения шумомеров «Октава» и «Ассистент».

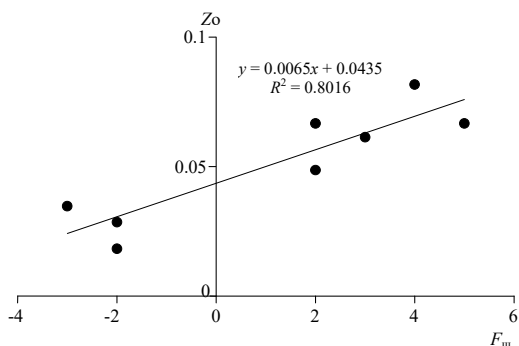


Рис. 5. Зависимость заболеваемости населения по всем учитываемым нозологиям (Z_o) от шумовой нагрузки (F_n)

Fig. 5. Dependence of the population morbidity on all the nosologies taken into account (Z_o) on noise impact (F_n)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация разработанной системы мониторинга транспортного шума позволит достичь существенного улучшения качества мониторинга шума, обеспечить непрерывность процесса мониторинга.

Анализ результатов измерений транспортного шума для автомобилей различных типов показывает, что наиболее значительные уровни шума наблюдаются в диапазоне низких частот. В ряде случаев отмечаются превышения установленных гигиенических требований. Таким образом, при снижении транспортного шума до приемлемых гигиенических требований особое внимание следует уделить снижению низкочастотной составляющей шума.

Проведенная оценка влияния шума транспорта и других источников на здоровье населения на примере г. Тольятти показала, что существует достоверная, статистически значимая зависимость роста заболеваемости населения от акустического загрязнения.

Полученные результаты планируются к внедрению в природоохранных службах административных учреждений, научно-исследовательских организациях, органах экологического надзора, муниципальных службах и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев А. В. Снижение шума транспортных потоков в условиях современного города // Экология и промышленность России. 2004. № 6. С. 37 – 41.
- Carrese S., Cipriani E., Mannini L., Nigro M. Dynamic demand estimation and prediction for traffic urban networks adopting new data sources // Transportation Research Part C : Emerging Technologies. 2017. Vol. 81. P. 83 – 98.

Chukarin A. N., Fedenko A. A., Shashurin A. E., Vasilyeva V. K. Regression analysis of the coefficients of vibration energy losses in gas-discharge systems of power plants // *Akustika*. 2021. Vol. 41. P. 115 – 118. <https://doi.org/10.36336/akustika202141115>

Kerner B. S., Demir C., Herrtwich R. G., Klenov S. L., Rehborn H., Aleksy M., Haug A. Traffic state detection with floating car data in road networks // *Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems*. 2005. P. 44 – 49. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2005.1520133>

Lo Castro F., Iarossi S., De Luca M., Vasilyev A. V. Infrasound monitoring technologies // *Akustika*. 2021. Vol. 39. P. 237 – 241. <https://doi.org/10.36336/akustika202139235>

Melloni A., Pecchioni G., Bellomini R., Luzzi S. Noise mapping and planning in the city of Florence // *Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration: From Ancient to Modern Acoustics, ICSV 2016*. Athens, Greece, 2016. P. 1528 – 1533.

Santiago J. S., Pons J. New acoustic map of Madrid // *Proceedings of “Inter-Noise 2000” International Congress*. Nice, France, 2000. Vol. 1. P. 3573 – 3576.

Vasilyev A. V. New methods and approaches to acoustic monitoring and noise mapping of urban territories and experience of its application in conditions of Samara region of Russia // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 176. P. 669 – 674.

Vasilyev A. V. Russian experience of transport noise estimation and mapping // *Akustika*. 2019. Vol. 32. P. 105 – 109.

Vasilyev A. V. Recent approaches to environmental noise monitoring and estimation of its influence to the health of inhabitants // *Proceedings of the 14th International Congress on Sound and Vibration (ICSV14)*. Cairns, Australia, 2007. P. 3242 – 3249.

Peculiarities and results of transport noise monitoring with the example of the Samara region of Russia

A. V. Vasilyev

Samara State Technical University
244 Molodogvardeyskaya St., Samara 443100, Russia

Received: 5 April 2021 / revised: 15 June 2021 / accepted: 20 August 2021

Abstract. Problems of transport noise monitoring are considered. Existing approaches to transport noise monitoring have a number of disadvantages. The influence of the noise from transport and other sources on the public health was estimated. The results show a reliable, statistically significant dependence of the population illness growth on acoustical pollution. A new system of transport noise monitoring is suggested and approved in conditions of the Samara region of Russia. This system has a number of advantages for acoustic research. The acoustic characteristics of separate vehicles and their spectral values were investigated as well. Analysis of our measurement results of the transport noise from cars of different kinds shows that the most significant noise values are observed within a low frequency range. Thus, when reducing transport noise down to appropriate hygienic values, special attention should be paid to reduction of the low-frequency component of noise.

Keywords: transport noise, impact, monitoring

Funding. The study was funded by Russian Science Foundation (agreement No. 20-19-00222).

For citation: Vasilyev A. V. Peculiarities and results of transport noise monitoring with the example of the Samara region of Russia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 436–446 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-436-446>

REFERENCES

- Vasilyev A. V. Reducing the noise of traffic flows in a modern city. *Ecology and Industry of Russia*, 2004, no. 6, pp. 37–41 (in Russian).
- Carrese S., Cipriani E., Mannini L., Nigro M. Dynamic demand estimation and prediction for traffic urban networks adopting new data sources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, vol. 81, pp. 83–98.
- Chukarin A. N., Fedenko A. A., Shashurin A. E., Vasilyeva V. K. Regression analysis of the coefficients of vibration energy losses in gas-discharge systems of power plants. *Akustika*, 2021, vol. 41, pp. 115–118. <https://doi.org/10.36336/akustika202141115>
- Kerner B. S., Demir C., Herrtwich R. G., Klenov S. L., Rehborn H., Aleksi M., Haug A. Traffic state detection with floating car data in road networks. *Proceedings. 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems*, 2005, pp. 44–49. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2005.1520133>

✉ Corresponding author. Povolzhskiy Resources Center of Engineering Ecology and of Chemical Technology, Samara State Technical University, Russia.

ORCID and e-mail address: Andrey V. Vasilyev: <https://orcid.org/0000-0002-6068-5537>, avassil62@mail.ru.

Lo Castro F., Iarossi S., De Luca M., Vasilyev A. V. Infrasound monitoring technologies. *Akustika*, 2021, vol. 39, pp. 237–241. <https://doi.org/10.36336/akustika202139235>

Melloni A., Pecchioni G., Bellomini R., Luzzi S. Noise mapping and planning in the city of Florence. *Proceedings of the 23rd International Congress on Sound and Vibration: From Ancient to Modern Acoustics, ICSV 2016*. Athens, Greece, 2016, pp. 1528–1533.

Santiago J. S., Pons J. New acoustic map of Madrid. *Proceedings of "Inter-Noise 2000" International Congress*. Nice, France, 2000, vol. 1, pp. 3573–3576.

Vasilyev A. V. New methods and approaches to acoustic monitoring and noise mapping of urban territories and experience of its application in conditions of Samara region of Russia. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 176, pp. 669–674.

Vasilyev A. V. Russian experience of transport noise estimation and mapping. *Akustika*, 2019, vol. 32, pp. 105–109.

Vasilyev A. V. Recent approaches to environmental noise monitoring and estimation of its influence to the health of inhabitants. *Proceedings of the 14th International Congress on Sound and Vibration (ICSV14)*. Cairns, Australia, 2007, pp. 3242–3249.