

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.4.08:534.836.2

DOI: 10.15372/GIPR20230206

С.В. ХАРЧЕНКО*, **, А.Р. МУХАМЕТШИН***, Н.В. АНИКИНА**, М.А. БЫКАНОВА****

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия, har4enkkoff@yandex.ru**Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, стр. 4, Россия,
har4enkkoff@yandex.ru, nikitina.nadine@gmail.com***ООО «ИК Девон», 117279, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 36а, Россия, ar.mukhametshin@mail.ru****Курский государственный медицинский университет,
305041, Курск, ул. Карла Маркса, 3, Россия, marina.bickanova@yandex.ruВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ)

Приводятся результаты натурных измерений автотранспортного шума на 10 ключевых участках в Москве в 2019 г. с пересеченным мезо- и микрорельефом местности. Замеры проводились синхронно у дороги и на различном удалении от нее — в точках перелома гипсометрического профиля. Парные измерения позволяли оценить величину гашения (редукции) транспортного шума. Вместе с этим гашение уровня шума было определено инструментально и заверено компьютерным моделированием для субгоризонтальной поверхности. Все это позволило оценить влияние, оказываемое рельефом земной поверхности на распространение транспортного шума. Показано, что это влияние оценивается величинами до 17 дБА (ослабление звука за счет шумозащитной функции рельефа). На ряде профилей было зарегистрировано усиление уровней шума за счет аккумуляционного эффекта, когда грани рельефа, обращенные к источнику шума, возвращают не поглощенную поверхностью звуковую энергию и увеличивают уровни шума относительно номинальных (для субгоризонтальных поверхностей) на 2–4 дБА. В целом, однако, влияние рельефа, вне зависимости от формы конкретного профиля, — редуцирующее со средними показателями гашения 5 дБА на всей длине профиля (40–120 м в различных случаях). Показано, что на выпуклых перегибах поверхности (бровки, гребни) даже субметровые различия по высоте выражаются в статистически значимых различиях уровней шума около 1,5 дБА сверх погрешности шумомеров. При этом влияние рельефа тем более значимо, чем более расчленена поверхность в непосредственной близости к дороге (первые десятки метров). На удалении 150 м роль отдельного источника звука в городской среде становится столь мала, что и оценивать влияние рельефа на него не имеет смысла.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, рельеф, натурные измерения, гашение звука, топография.

S.V. KHARCHENKO*, **, A.R. MUKHAMETSHIN***, N.V. ANIKINA**, M.A. BYKANOVA****

*Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia, har4enkkoff@yandex.ru**Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Staromonetnyi per., 29, str. 4,
Russia, har4enkkoff@yandex.ru, nikitina.nadine@gmail.com***EC Devon Ltd., 117279, Moscow, ul. Miklukho-Maklaya, 36a, Russia, ar.mukhametshin@mail.ru****Kursk State Medical University,
305041, Kursk, ul. Karla Marksa, 3, Russia, marina.bickanova@yandex.ru,URBAN TERRAIN EFFECT ON THE TRAFFIC NOISE SPREADING
(A CASE STUDY OF MOSCOW)

The results of vehicle noise measurements at 10 key areas in Moscow in 2019 with crossed meso- and micro-relief of the terrain in the article are presented. The measurements were carried out synchronously near the road and at different distances from it — at the

breakpoints of the hypsometric profile. Paired measurements made it possible to estimate the amount of traffic noise damping (reduction). At the same time, noise suppression was determined instrumentally and verified by computer simulation for a sub-horizontal surface. All this made it possible to assess the influence of the earth's surface on the traffic noise spread. This effect is estimated at values up to 17 dBA (sound damping due to the noise protection function of the relief). On the series of profiles increasing in noise level was recorded due to the accumulation effect, when the facing noise source relief facets return not absorbed by the surface sound energy and increase the noise level relative to the nominal (for subhorizontal surfaces) by 2–4 dBA. However, the influence of the relief is mostly reducing with average damping rates of 5 dBA over the entire length of the profile (40–120 m in various cases), regardless of the particular profile shape. It is shown that on convex kinks of the surface (terrain brows, ridges) even sub-meter elevation differences are expressed in statistically significant changes in the noise level of the order of 1.5 dBA over the error of sound level meters. At the same time, the influence of the relief is more significant than more dissected Earth's surface near the road (the first tens of meters). A distance of about 150 m from a separate sound source in an urban environment.

Keywords: noise pollution, terrain, field measurements, sound reduction, topography.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема шумового загрязнения остро стоит практически во всех больших городах, а в особенности в мегаполисах. Например, в городах Евросоюза по состоянию на 2012 г. [1] чрезмерному звуковому воздействию подвергалось почти 90 млн чел. При этом шумовое загрязнение в 83 % случаев создавалось автомобильным транспортом, в 12 % — железнодорожным, в 3,5 % — авиационным, оставшиеся 1,5 % случаев приходились на индустриальный шум. Нормативные значения максимальных и средних эквивалентных уровней шума не менялись в документации с 1980-х гг. [2–4], в то время как уровень автомобилизации в городах России вырос в десятки раз [5, 6]. Контрольные измерения в соответствии с существующими регламентами [7] проводятся чаще всего точечно и лишь несколько раз в год. В то же время наши наблюдения и измерения показывают, что нормативные значения уровней шума (в дневное время на селитебной территории — 55 дБА для эквивалентного уровня звука и 70 дБА для максимального) нарушаются сейчас почти повсеместно.

Борьба с транспортным шумом ведется активным (регулирование предельных скоростей движения, допустимой номенклатуры транспорта и т. д.) и пассивным (возведение шумозащитных сооружений, использование элементов ландшафта для экранирования шума) способами [8]. Множество трудов направлено на оценку шумопонижающего эффекта различных мер (например, [9]). В то же время в ряде публикаций [10–13] указывается на потенциально значительную роль рельефа земной поверхности в экранировании шума, причем в масштабах отдельно взятого города речь идет преимущественно о целых микроформах рельефа или отдельных элементах мезоформ. Несмотря на некоторый интерес к рельефу земной поверхности в контексте его шумозащитных функций, реальные показатели снижения уровня шума, которые он способен давать, в литературе фигурируют крайне редко [14, 15]. Особенно это заметно в сравнении с огромным количеством публикаций о шумозащитных свойствах древесных насаждений. Одна из причин этого — насаждения более просты в организации, а преобразования рельефа земной поверхности требуют больших затрат под нужды шумозащиты и, в отличие от древесных посадок, чаще всего не несут рекреационной нагрузки. Другая причина — в недооцененности (или даже неоцененности) шумозащитных свойств уже существующих форм рельефа. В данной статье мы хотим оценить, насколько сильно мезо- и микрорельеф трансформирует поле автодорожного шума в городской среде.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов для оценки на территории Москвы в границах по состоянию на 2011 г., до присоединения крупного сектора на юго-западе и ряда других участков (эти территории так называемой Новой Москвы пока еще слабо освоены и меньше подвергаются воздействию транспортного шума), взято 10 участков с различным пространственным (в том числе высотным) соотношением источника шума, как правило автомобильной дороги, и элементов окружающей территории. На этих участках в ходе полевых работ в 2019 г. было заложено 12 шумомерных профилей (табл. 1, рис. 1), где координата Z — не высота, а параметр гашения шума относительно исходных значений с удалением от источника. Выбор подобной переменной неслучаен. Простые средние уровни шума в серии точек с удалением от дороги использовать нельзя, ведь они будут являться функцией не только расстояния и шумозащитных эффектов урбанизированного ландшафта, но и самих исходных уровней шума (а они сильно изменчивы во времени, поэтому применять их можно только при одновременных изме-

Таблица 1

Перечень шумомерных профилей

№	Профиль	Широта, град.	Долгота, град.	Высота базы, м
1	Крутицкая набережная	55,72657	37,65815	123,85
2	пр. Вернадского (мост Лужники)	55,70717	37,55522	164,77
3	ул. Косыгина (смотровая площадка)	55,70983	37,54253	190,13
4	проезд Серебрякова – 1	55,84678	37,64286	145,2
5	проезд Серебрякова – 2	55,84656	37,63297	137,95
6	ул. Крылатская	55,72657	37,65815	123,85
7	ул. Минская	55,72483	37,49858	143,44
8	ул. Менжинского	55,871	37,65667	141,03
9	ул. Богатырский Мост	55,81681	37,68689	130,43
10	ул. Лосиноостровская (Богородский путепровод)	55,82719	37,71028	152,4
11	Ленинградское шоссе (Ленинградский мост)	55,87175	37,45711	179,12
12	ул. Академика Бакулева	55,64294	37,48933	193,47

рениях на всех точках профиля разом). Одновременно с проведением шумомерных работ строился топографический профиль или уточнялась на местности его форма, извлеченная из топографических планов. Нами использовались планы м-ба 1:500.

Методика измерений уже применялась нами ранее [16, 17]. Она заключается в фиксации основных точек перегиба топографического профиля, расположенного по перпендикуляру к источнику звука, и измерении в них уровней шума, затем вычисляется интенсивность его гашения. Измерения проводятся минимум парой шумомеров, возможно применение большего числа аппаратов для ускорения работ. Нами использовались шумомеры 2-го класса точности (по ГОСТ Р 53188.1-2008 [18])

Smart Sensor AR844 с предельной инструментальной погрешностью 1,5 дБА, дискретностью 0,1 дБА. Один из них располагается в точке «база», где непрерывно фиксируются уровни шума на удалении 7,5 м от середины ближайшей полосы дороги, по которой происходит движение транспорта (крайние к тротуару полосы, занятые под парковку, не учитываются). Другие поочередно располагаются в точках перегиба топографического профиля — на станциях. Измерения производятся синхронно, после чего рассчитываются значения интенсивности гашения шума. В качестве контроля (для сепарации влияния рельефа на гашение шума и воздействия иных факторов рассеивания звуковой энергии) используются измерения на субгоризонтальной площадке и расчетные данные для нее же.

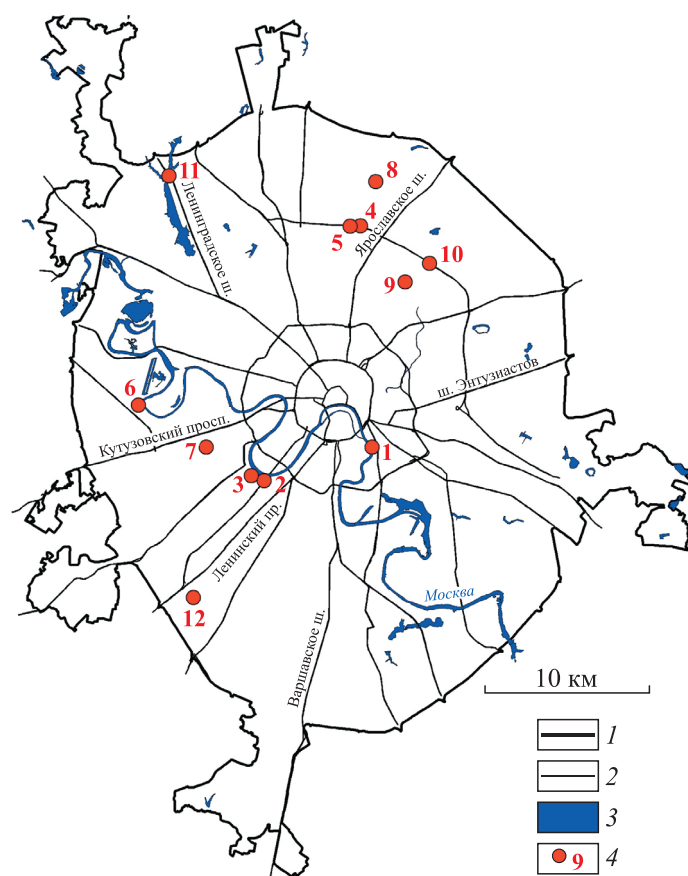


Рис. 1. Положение профилей на схеме Москвы в границах до 2011 г.

1 — граница города; 2 — крупнейшие транспортные артерии; 3 — водные объекты; 4 — местоположения и номера профилей натурных измерений.

Все измерения проведены с 16 февраля по 1 апреля 2019 г. Метеорологические условия во время натурных работ удовлетворяли техническим требованиям используемой аппаратуры и стандартам проведения измерений шума. Атмосферное давление нигде не отклонялось более чем на 7–8 мм рт. ст. от нормы с учетом поправки на высоту местности. Относительная влажность находилась в интервале 50–79 %. Общие условия погоды — пасмурно, иногда с прояснениями, без осадков. Температура колебалась от –5 до 5 °С, скорость ветра не превышала 5 м/с при фоновых значениях 2–3 м/с, направление ветра — переменное.

Подчеркнем, что реальные экранирующие функции рельефа в городских условиях проявляют себя в предельном случае на расстоянии первых сотен метров от источника шума. При текущей плотности источников шума в городе, относительной равномерности уровней звука, создаваемых ими, на удалении, например, 200 м от какого-либо мощного источника, шум от него нивелируется ближайшими менее мощными источниками. Два источника шума равной громкостью дают совокупную громкость лишь на 3 дБА выше, чем в каждом отдельном источнике [19]. Показатель суммарной громкости двух и более источников шума рассчитывается согласно уравнению

$$L_s = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right), \quad (1)$$

где L_s — итоговая громкость; n — число источников шума; L_i — громкость i -го источника шума.

При $n = 2$ и громкости источников шума, например, по 60 дБА, общая громкость составит 63 дБА. При $n = 2$ и громкости двух источников шума 70 и 60 дБА итоговая громкость составит лишь 70,5 дБА, т. е. на 0,5 дБА выше уровня наиболее мощного источника.

На местности (в Москве при ее плотности дорожной сети) это проявляется в следующем. Предположим, наблюдатель находится в 100 м от большой магистрали, исходный уровень шума от которой равен 80 дБА. Под исходным уровнем шума в случае автодороги понимается уровень шума, измеряемый на расстоянии 7,5 м от середины полосы, по которой ведется дорожное движение. Согласно уравнению (2) [19], на удалении 100 м уровень шума от дороги в идеальных условиях (при абсолютном отсутствии всех возможных иных источников) составит лишь 28 дБА, т. е. это даже меньше, чем фоновые значения городского шума, измеряемые, например, в парковых зонах или спальных районах.

$$L_n = L_b - 20 \cdot \lg(r_2/r_1), \quad (2)$$

где L_b — уровень шума на «базе»; r_1 — расстояние до базы (обычно 7,5 м); r_2 — расстояние до наблюдателя; L_n — итоговый уровень шума, достигающего непосредственно от источника до наблюдателя.

Если же рядом с наблюдателем находится гораздо менее оживленная дорога с уровнями шума, к примеру, 60 дБА, то она и станет основным источником звука. Таким образом, реальное влияние на распространение звука может оказывать рельеф узкой полосы или буферной зоны вокруг источника, причем это влияние, по-видимому, тем сильнее, чем более расчленен рельеф именно в близости от источника, а не на удалении в десятки метров или более. Нередко, однако, источники шума располагаются именно в непосредственной близости к склонам естественного и антропогенного (техногенного) генезиса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На графике (рис. 2, а) показаны фактическое распределение интенсивности гашения шума в двух сериях экспериментов на профиле 4, т. е. для субгоризонтальной поверхности, а также расчетная интенсивность гашений шума для нее же (см. рис. 2, б). Надо сказать, что в других работах [16, 20] получены примерно такие же результаты и кривые гашения шума, на качественном уровне хорошо повторяющие расчетные данные (думается, при подборе верного значения фонового уровня шума это подобие можно будет проследить и на количественном уровне). Так, в нашем примере эмпирический профиль гашения шума на профиле 4 (средний эквивалентный уровень шума на базе — 64 дБА) практически в точности сходится с расчетным при фоновом уровне городского шума 50–55 дБА. Все отклонения от характерного тренда связаны с разнообразием условий местности и в частности с рельефом.

Рассмотрим профили в разных геоморфологических позициях.

Профиль 1 был расположен на Крутицкой набережной р. Москвы. Перепад высот в пределах профиля составляет около 11 м, дорога проходит в основании уступа 2-й надпойменной террасы

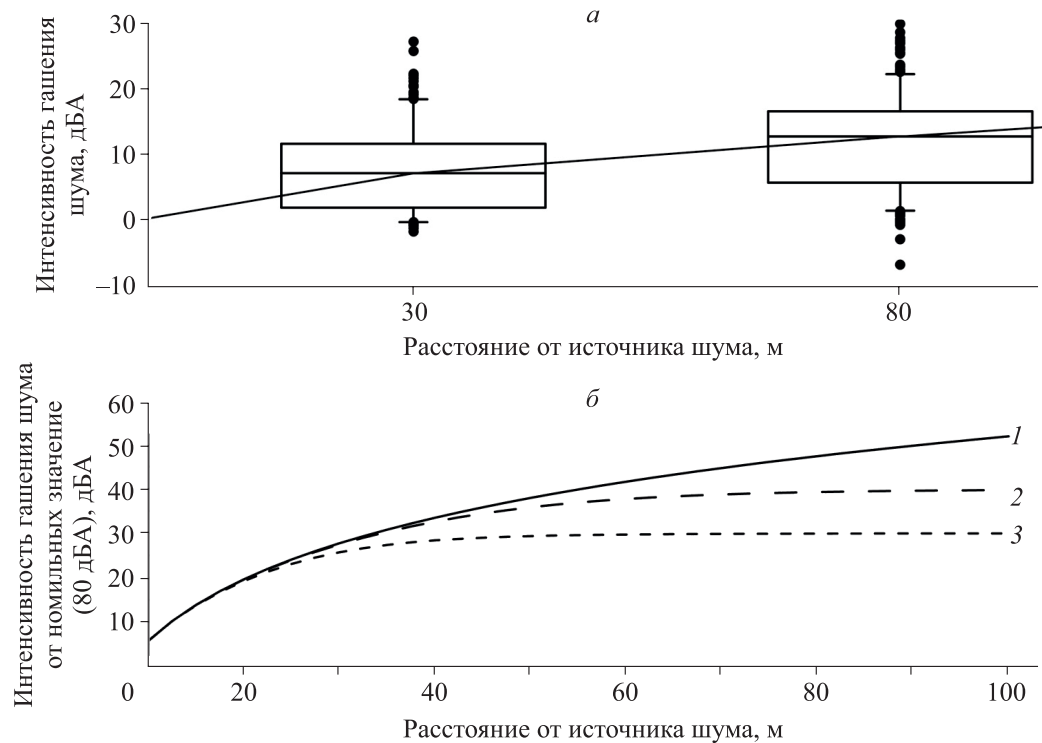


Рис. 2. Реальные распределения значения интенсивности гашения шума на профиле 4 и аппроксимация медианных величин ломаной кривой (а), расчетные значения гашений уровня шума на субгоризонтальной поверхности (б).

1 — без учета фонового шума; 2 — фоновый шум 40 дБА; 3 — фоновый шум 50 дБА.

(НПТ) долины р. Москвы. Сама дорога проходит либо по подрезанному и выровненному основанию склона, либо, возможно частично, по неширокому фрагменту 1-й НПТ. Относительная высота уступа в разных частях в окрестностях профиля составляет 9–10 м. Прямо за бровкой, на расстоянии от 15 м, начинается жилая и общественно-деловая застройка, в 50 м от бровки — территория школы № 494. Профиль склона прямой. Перепад высот в пределах профиля на площадке террасы не превышает 1 м. Здесь характер падения уровней шума показан на графике (рис. 3).

Достоверно по интенсивности гашения шума различаются позиции станций 2 и 3, обе они находятся на бровке склона, но последняя — в более приподнятой части (на 1 м выше). Можно было

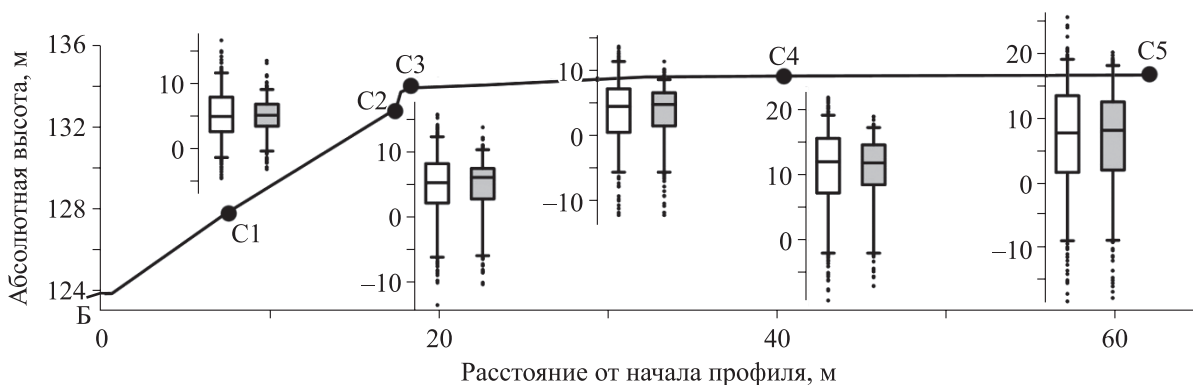


Рис. 3. Гипсометрический профиль 1, положение станций измерения и распределения интенсивностей гашения шума на них.

Белые графики — по исходным данным, серые — по сглаженным медианой данным (ширина окна — 5 отсчетов). Б — база измерений, С1–С5 — станции измерений с первой по пятую. Единица измерения на вспомогательных шкалах — дБА.

бы предположить, что такие различия в морфологии рельефа не обязательно должны отражаться в статистически значимых различиях гашения шума. Тем не менее на станции 3 гашение несколько меньше, в основном за счет мощных выбросов с низкими значениями (минимум $-18,1$ дБА). Это означает, что в одном измерении уровень шума на бровке склона был на 18 дБА выше, чем на базе. Такие различия могут быть связаны, во-первых, с неточной синхронизацией рядов наблюдений, а во-вторых, с ситуацией, когда бровка склона, находясь очевидно выше точки базы, получает больше шума от одновременного воздействия разнонаправленных и более или менее удаленных от профиля источников. Принципиальная возможность этого связана с задирием вверх фронта звуковой волны при ее распространении вдоль земной поверхности. Для исключения влияния выбросов в данных сгладили медианным фильтром ряды измерения окном 3 и 5 с (и, соответственно, отсчетов) — результат не поменялся. Можно предположить, что звук, распространяющийся над земной поверхностью, очень чутко реагирует на изменения ее морфологии.

На профиле (см. рис. 3) видно, что медианные значения интенсивности гашения шума на первых трех станциях составляют около 5 дБА, при этом в целом меньшие значения гашения оказываются на станциях 2 и 3 за счет экстремально низкого гашения, а иногда — даже усиления шумов относительно базы. На станции 4, в 24 м от бровки, медианные значения гашения шума сразу достигают 12–13 дБА, а максимальные превышают 20 дБА. На наиболее удаленной станции ситуация несколько нетипичная: интенсивность гашения шума снова падает, сами уровни шума в небольшой степени даже приближаются к таковым на базе. Вероятно, это связано либо с посторонними шумами, либо с меньшей интенсивностью экранирования шума бровкой у участков, расположенных чуть дальше собственно прибровочного пространства.

Рассмотрим иные примеры, когда источник шума находится на возвышении, которое переходит в нижележащий склон. Таковы профили 3, 8, 12 и 11. Последний проложен к югу от Ленинградского шоссе, в месте перехода его в мост через канал им. Москвы при движении в сторону МКАД (рис. 4). Склон насыпи прямой, высотой около 15 м, крутизной $25\text{--}30^\circ$. Затем он переходит в менее крутую поверхность вплоть до уреза Химкинского водохранилища — канала им. Москвы. Здесь падение высоты 1 м происходит на отрезке 9 м, т. е. средний угол наклона — 6° .

Здесь мы наблюдаем интересное взаимно обратное влияние двух факторов — удаленности станции от дороги и ее открытости источнику шума. С удалением от дороги интенсивность гашения шума должна нарастать, как и происходит на первых двух станциях (медианные величины гашения 22 и 24 дБА соответственно). Затем, уже начиная со станции 3, гашение ослабевает, а шум, следовательно, нарастает, но на станции 4 снова становится тише (на уровне станции 2). Если бы поверхность здесь приобретала уклон в сторону дороги, то вполне вероятно, что на некотором протяжении профиля интенсивность шума и дальше бы нарастала вопреки удалению от его источника. Подобные закономерности были подтверждены нами ранее расчетными методами [21].

Для описания характерных тенденций гашения шума в зависимости от морфологии рельефа сопоставим графики медианной интенсивности гашения по 10 наиболее показательным профилям (рис. 5).

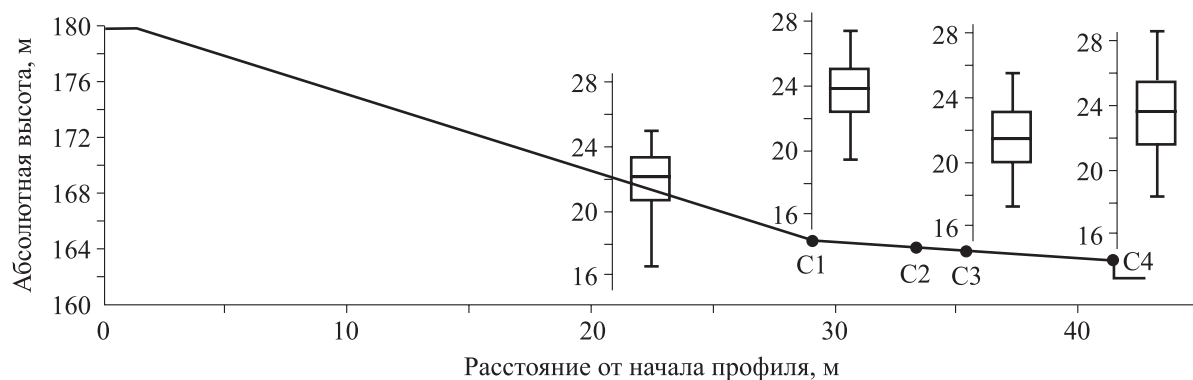


Рис. 4. Гипсометрический профиль 11.

Графики «бокс-плот» для каждой из станций C1–C4 показывают распределение интенсивностей гашения шума на них. Единица измерения на вспомогательных шкалах — дБА.

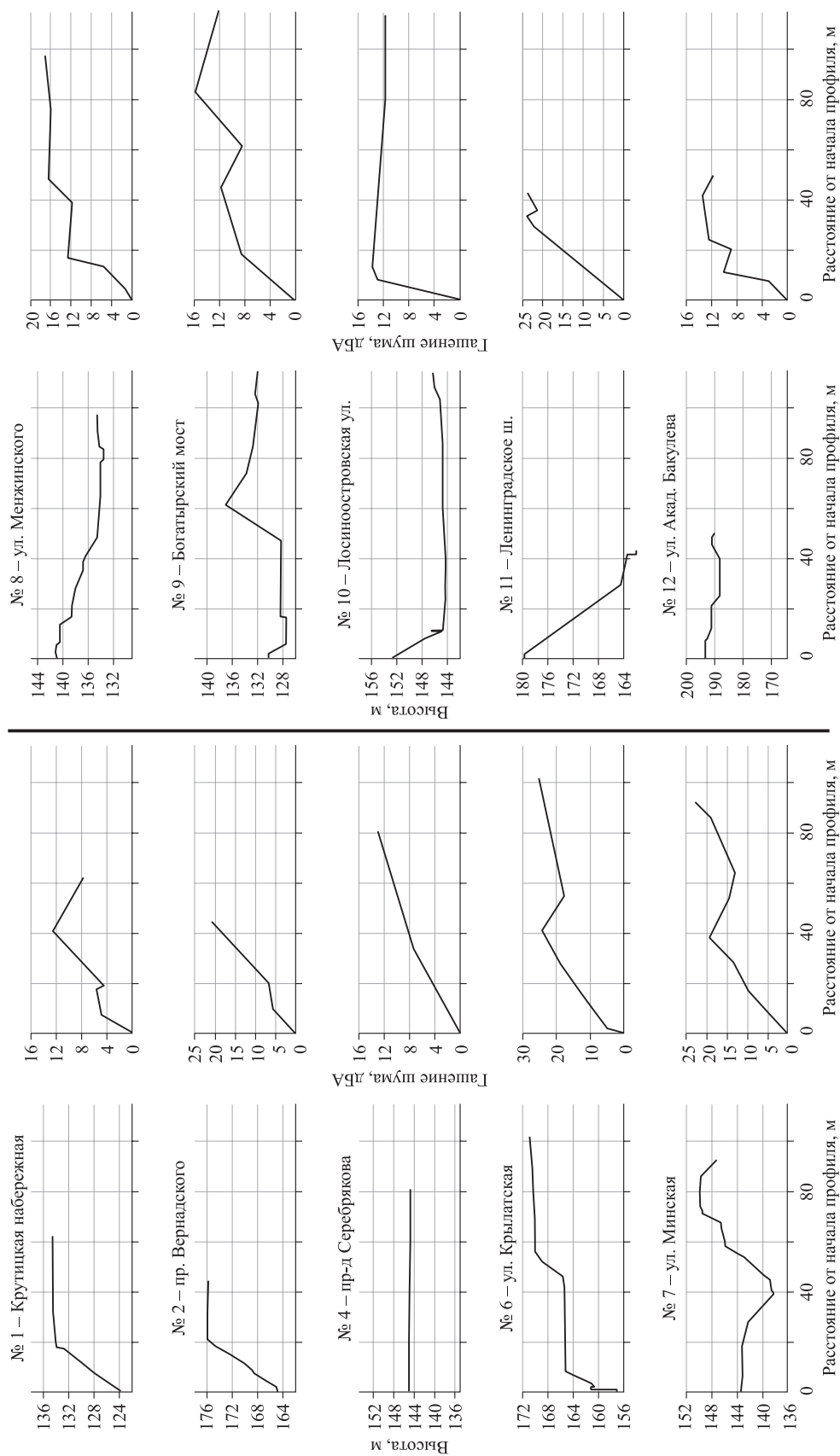


Рис. 5. Гипсометрические профили (слева) и соответствующие им профили гашения шума (справа).

Обращают на себя внимание следующие тенденции. Наиболее общее правило — вне зависимости от конкретного характера морфологии пересеченного рельефа он гасит шум в целом лучше, нежели субгоризонтальная поверхность. В то же время есть отклонения от этого принципа. Так, например, на удалении 20 и 60 м от базы на Крутицкой набережной (на субгоризонтальной площадке и бровке 1-й НПТ р. Москвы) наблюдается почти одинаковое гашение шума. Из этого следует вторая тенденция — «развернутые» к источнику шума позиции даже с удалением от дороги частично компенсируют номинальные параметры гашения звука.

Подобные «провалы» в интенсивности гашения шума можно увидеть и на других графиках, и все они, как правило, приурочены к выпуклым перегибам поверхности, бровкам и т. д. Противоположную роль играют визуально «закрытые» от источников шума тыловые швы, как, например, на профиле 6 (ул. Крылатская). Здесь склон террасный, более низкая терраса от более высокой отделена уступом высотой 5 м. Разница в уровнях шума между тыловым швом и бровкой (при расстоянии между ними в плане лишь около 8 м) составляет 7–8 дБА. Аналогичное явление (только вместо бровки — гребень вала) можно наблюдать на профиле 9 (ул. Богатырский Мост).

На профиле 8 (ул. Менжинского) хорошо прослеживается, что даже слабо выраженная ступенчатость склона может проявляться в резких скачках уровней шума. В целом ход этого профиля вниз (уклон в направлении от дороги) влияет на то, что в пределах прилегающего парка уровни шума оказываются дополнительно на 4–6 дБА ниже, чем они были бы на субгоризонтальной поверхности (ср. с профилем 4). Интересны также выходы на «плато» интенсивностей гашения шума на профиле 8 и расположенном в том же секторе Москвы профиле 10 (ул. Лосиноостровская). На первом из них фоновые значения шума достигают 53 дБА, на втором, уже на территории национального парка (на удалении 110 м от источника шума), — 51 дБА.

Профиль 10 интересен еще и тем, что демонстрирует уже упомянутый выше (и воспроизведенный расчетными методами в более ранней работе [21]) эффект: при слишком большой высоте и крутизне склона источник шума, расположенный у его бровки, слабо воздействует на основание склона. На удалении 10 м от дороги оказываются такие же уровни шума (даже немного меньше — на 0,5 дБА), как и на расстоянии 100 м. Если бы дорожная насыпь была ниже или более пологой, звуковой тени вообще могло не образоваться и уровни шума падали бы монотонно с удалением от дороги.

Если сравнить частные графики гашения шума по отдельным профилям с модельными значениями для плоской поверхности, можно увидеть шумовые аномалии, когда интенсивность гашения либо избыточно высока (и это может быть связано с экранирующей ролью рельефа), либо неоправданно низка (по причине аккумуляции звуковой энергии за счет рельефа и отражений им звуковых волн). Отклонения значений интенсивности гашения шума от предсказанных для плоской поверхности показаны в табл. 2.

Наиболее сильное влияние рельефа на гашение шума наблюдается на профиле 11, где у основания насыпи, по которому проходит весьма оживленное Ленинградское шоссе, формируется мощная звуковая тень. Такая ситуация возможна только при условии значительной высоты (в данном случае

Таблица 2

Шумовые аномалии (дБА), вызванные рельефом местности, по исследованным профилям

№	Профиль	Минимум	Максимум	Среднее	Особые наблюдаемые шумовые эффекты
1	Крутицкая набережная	–3,7	4	1	Аккумуляция шума
2	пр. Вернадского (мост Лужники)	1,9	11,5	4,2	—
4	проезд Серебрякова — 1*	0,01	0,07	0,04	—
6	ул. Крылатская	4,3	15,6	9,4	—
7	ул. Минская	1,6	11,2	6,4	—
8	ул. Менжинского	0,1	8,6	4,2	—
9	ул. Богатырский Мост	–2,9	4,2	1	Аккумуляция шума
10	ул. Лосиноостровская (Богородский путепровод)	–1,8	11	4,7	Аккумуляция шума
11	Ленинградское шоссе (Ленинградский мост)	13,7	16,6	15,2	—
12	ул. Академика Бакулева	1,2	7,3	4,4	—

Примечание. Прочерк — эффекты не наблюдаются.

* Контрольный субгоризонтальный профиль.

15 м) положительной формы рельефа, по которой проходит магистраль, и крутизны ее склонов от 25°. И натурные измерения, и расчетное моделирование показывают, что более плавные очертания поверхности не приводят к формированию звуковой тени. Характерная величина дополнительного гашения составляет 15 дБА, что практически недостижимо с помощью каких-то иных естественных экранов, в том числе древесных насаждений. В то же время даже таких величин редукции шума в непосредственной близости от магистрали может оказаться недостаточно для выполнения нормативов по уровням шума в застройке, расположенной в непосредственной близости от подобной дороги.

Аналогичные повышенные значения гашения отмечаются в днище балки, проходящей параллельно Минскому шоссе, в 40 м от него. Интересен и другой пример, когда положение наблюдателя на террасированной поверхности, в тыловом шве одной из террас, приводит к дополнительному снижению уровней шума на 15,6 дБА относительно условий субгоризонтальной поверхности (на удалении 40 м от базы гашение более 26 дБА при норме ~11 дБА). На трех участках наблюдается выраженная аккумуляция шума, когда его уровни оказываются даже выше, чем должны были быть с учетом расстояния от источника. Такая ситуация наблюдается на профилях 1 и 9, где земная поверхность частично обращена в сторону источника шума, а также на профиле 10, где повышенные значения уровней шума встречаются на субгоризонтальной поверхности на удалении от источника шума, при условии что он приподнят над этой поверхностью на 8–10 м. По существу, это геометрически подобная ситуация (ориентировка поверхности в сторону источника), но с другим относительным положением источника шума и наблюдателя. Сравнительное повышение уровня шума за счет аккумуляции звуковой энергии здесь достигает 2–4 дБА, что может оказаться критичным для выполняемости санитарных норм. Тем не менее основное воздействие рельефа земной поверхности на распространение звука — его редукция с характерными величинами шумовых аномалий 5 дБА в сторону снижения уровня шума в среднем по профилю при средней длине его ~80 м. При этом наибольшие по модулю отклонения, связанные с рельефом, характерны для начальной и средней третей профиля, реже — для наиболее удаленной трети, но в целом они определяются морфологией конкретного участка поверхности, что прослеживается на всех профилях (см. рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рельеф играет значительную роль в трансформации поля шума от автомобильных дорог. При этом наибольшее влияние на распространение звука оказывают поверхности, непосредственно прилегающие к его источнику. Нередко это воздействие в несколько раз сильнее, нежели поглощающая роль древесных насаждений (около 2–3 дБА для насаждений в один ряд). При этом речь идет о городах равнинных территорий, где крутые поверхности и перепады высот в первые десятки метров или более у соседних форм мезо- и микрорельефа встречаются на очень ограниченных площадях. Для городов горных территорий эти закономерности должны быть еще более яркими. Тем не менее в публикациях роль рельефа почти не освещается. Вероятная причина этого — невозможность легкой подстройки рельефа под нужды шумозащиты, однако роль уже существующих форм в ограничении шумового загрязнения кажется недооцененной.

Результаты оценки фактора морфологии земной поверхности в редукции шума по 10 профилям на территории Москвы показывают, что распространение звука очень чутко реагирует даже на небольшие, субметровые перепады высот. Так, разница медианных значений гашения уровней шума на двух соседних станциях измерений, расположенных на бровке 2-й НПТ долины р. Москвы на Крутицкой набережной, достоверно (т. е. сверх погрешности шумомеров) составляет 1,5 дБА, притом что высота станций различается лишь на 1 м, а расстояние до дороги одинаково.

Расчленение земной поверхности оказывает преимущественно редуцирующее влияние на уровни шума, при этом величина гашения (в сравнении с номинальными значениями для плоской поверхности по результатам натурных измерений и контрольного расчетного моделирования) может достигать даже 15–17 дБА при средних значениях 5 дБА в узкой полосе от 0 до 40–120 м от дороги. На части площадок, ориентированных в пространстве в сторону источника звука, был отмечен противоположный эффект: аккумуляция звуковой энергии, увеличение измеренных уровней шума и снижение величины его гашения с удалением от источника на 2–4 дБА, что может оказаться существенным, если за счет этого эффекта будут превышены допустимые значения эквивалентного и максимального уровня шума.

Работа (в части обработки результатов полевых измерений) выполнена при поддержке гранта Русского географического общества (23/2022–Р).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Road** traffic remains biggest source of noise pollution in Europe [Электронный ресурс]. — <https://www.eea.europa.eu/highlights/road-traffic-remains-biggest-source> (дата обращения 01.06.2022).
2. **СанПиН 3077-84**. Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/5200218> (дата обращения 01.06.2022).
3. **СН 2.2.4/2.1.8.562-96**. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения 01.06.2022).
4. **СП 51.13330.2011**. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения 01.06.2022).
5. **Tarkhov S.** Regional distinctions in the automobilization process in Russia // Europa XXI. Vol. 12. Central and Eastern Europe: Changing spatial patterns of human activity. — Warszawa, 2005. — P. 211–225.
6. **Транспорт в России. 2020**: Стат. сб. — М.: Росстат, 2020. — Т. 65. — 108 с.
7. **Методические** указания. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200050920> (дата обращения 01.06.2022).
8. **Сенющенко И.М., Потапов А.Д.** Анализ методов борьбы с транспортным шумом в городах на пересеченном рельефе // Вестн. МГСУ. — 2008. — № 4. — С. 134–138.
9. **Brown A.L.** Soundscapes and environmental noise management // Noise Control Engineering Journal. — 2010. — N 58 (5). — P. 493–500.
10. **Rasmussen K.B.** On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors // Journ. of Sound and Vibration. — 1985. — N 98 (1). — P. 35–44.
11. **Rasmussen K.B.** Propagation of road traffic noise over level terrain // Journ. of Sound and Vibration. — 1982. — N 82 (1). — P. 51–61.
12. **Rasmussen K.B.** On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors // Journ. of Sound and Vibration. — 1985. — N 98 (1). — P. 35–44.
13. **Van Renterghem T., Botteldooren D., Lercher P.** Comparison of measurements and predictions of sound propagation in a valley-slope configuration in an inhomogeneous atmosphere // Journ. of Acoustic Society of America. — 2007. — N 121 (5). — P. 2522–2534.
14. **Van Renterghem T., Forssén J., Attenborough K., Jean P., Defrance J., Hornikx M., Kang J.** Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors // Applied Acoustics. — 2015. — N 92. — P. 86–101.
15. **Raina A.K., Soni A.K., Vajre R., Sangode A.G.** Impact of topography on attenuation of noise from a cement plant in a hilly terrain // Science of the Total Environment. — 2022. — N 835. — P. 155532.
16. **Харченко С.В.** Шумовое загрязнение в городах в связи с характером рельефа территории (для ключевых участков в гг. Курск и Тамбов) // Науч. ведомости Белгород. ун-та. Сер. Естеств. науки. — 2015. — Т. 30, № 3 (200). — С. 182–190.
17. **Харченко С.В.** Влияние рельефа городской территории на формирование акустической обстановки: эксперимент и моделирование // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. География. Геоэкология. — 2016. — № 3. — С. 26–34.
18. **ГОСТ Р 53188.1-2019**. Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Ч. 1. Технические требования [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200163941> (дата обращения 01.06.2022).
19. **Самойлюк Е.П.** Борьба с шумом в градостроительстве. — Киев: Будівельник, 1975. — 128 с.
20. **Харченко С.В., Горин В.Б.** Влияние рельефа на редукцию транспортного шума в условиях небольшого продольного уклона дорожного полотна (на примере Красной площади, г. Курск) // Стратегия развития приграничных территорий. — Курск: Изд-во Курск. ун-та, 2017. — С. 412–418.
21. **Харченко С.В.** Профили склонов на примагистральных участках территорий городов и распространение транспортного шума // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. — М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. — С. 147–159.

Поступила в редакцию 08.07.2022

После доработки 17.09.2022

Принята к публикации 28.12.2022