



УДК 911.8, 911.9, 551.4.08

**ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В ГОРОДАХ В СВЯЗИ
С ХАРАКТЕРОМ РЕЛЬЕФА ТЕРРИТОРИИ (ДЛЯ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ
В ГГ. КУРСК И ТАМБОВ)**

**NOISE POLLUTION IN THE CITIES IN CONNECTION WITH THE LANDFORMS
(CASE STUDY ON KEY SITES IN THE KURSK AND TAMBOV)**

**С.В. Харченко
S.V. Kharchenko**

*Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова, Россия,
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70*

I.I. Ivanov Kursk State Agricultural Academy, 70 Karl Marks St, Kursk, 30502170, Russia

E-mail: xar4enkkoff@rambler.ru

Ключевые слова: рельеф, топографическое строение, распространение шума, акустическое загрязнение.
Key words: relief, topographic pattern, noise propagation, noise pollution.

Аннотация. Проанализирована изученность рельефа как фактора акустического загрязнения в крупных городах. Выявлено, что роль рельефа в дифференциации шумовой обстановки на территории часто недооценивается, а его шумозащитные свойства – не используются. Приводится интерпретация результатов натурных акустических измерений в городах Курске и Тамбове, проводимых на ряде ключевых участков, обладающих морфологически принципиально различным рельефом. Выявлены закономерности изменений уровней звука при удалении от источника в зависимости от топографического положения источников шума – автодорог и железных дорог.

Resume. The problem of urban acoustical pollution has been getting a big importance in the last decades. A lot of publications are devoted to this problem. Landforms of urban areas have an impact on noise propagation from road lines. Landform's impact are (1) restriction of direct propagation of noise, (2) soil influence on adsorption of sound waves and (3) indirect influences through building planning and road-network planning and their morphology. But, the terrain effect on sound propagation is poorly studied.

This research is based on the results of noise-level measurements on some key sites in the Kursk and Tambov (summer, 2014). The single measurement was made in relation with GOST methods. We did a series of such single measurements in several characteristic points of ground relief at a different distance from roads. At the same time, the measurements were carried out simultaneously on two points – the "base-point" (distance from road are 5-7 meters) and the "station-point" (different distance from road).

We got about 25 000 single results of noise-level measurement. Numerical analysis of that data watch revealed: (1) landforms of thin belt near road has the greatest impact on traffic's sound propagation. Usually, these landforms have anthropogenic origin; (2) location of the source of noise on positive or negative terrain forms have different consequences; (3) sound waves of low frequency bend around the topographic barriers better than sound wave of middle and high frequencies.

Введение

Последние десятилетия все большее значение приобретает проблема шумового загрязнения в населенных пунктах. Ей посвящено значительное количество научных трудов как российских специалистов, так и зарубежных исследователей. Физические закономерности распространения звуков в воздухе описаны аналитически и, более того, учтены в нормативных актах. Однако в преломлении с характером реального участка территории – конфигурацией застройки, свойствами зеленых полос и других барьеров – шумовая картина приобретает большую мозаичность. В литературе описаны звукопоглощающие и отражающие свойства растительности, различных типов естественной и антропогенной подстилающей поверхности, специальных шумозащитных экранов. Важнейшую роль играют также текущие метеорологические параметры – температура и влажность воздуха, их вертикальный профиль (наличие или отсутствие инверсий), направление и скорость ветра. Совокупность таких факторов формирует реальные «рамки» и условия распространения звуков от источника. Естественно, некоторую роль в распространении звуков в приповерхностном слое атмосферы играет и рельеф места.

Пожалуй, вклад рельефа в формирование шумовой картины заключается, прежде всего, в трех аспектах. Первый – ограничение прямого распространения звуковых волн, формиро-

вание зон «звуковой тени» за положительными формами или элементами рельефа (в т. ч. «рельефоидами» зданий [Розанов, 2001]). Второй аспект состоит в том, что различный характер почвогрунтов на участках с разным геоморфологическим положением обуславливает отличия звукоотражающих и звукопоглощающих свойств собственно поверхности земли. Третий аспект – территориальные отличия топографических характеристик и литологии верхних метров грунтовой толщи сказываются на распределении на участке растительности, застройки или прочих объектов инфраструктуры. А они являются, в свою очередь, самостоятельными ограничителями шума. Сюда же нужно отнести топографические эффекты формирования микроклимата места, определяющего условия прохождения звуковых волн в воздухе. Естественно, что роль собственно рельефа последовательно убывает от первого к третьему аспекту. В первом эта роль носит непосредственный характер, в последнем – весьма опосредованный. Особый, четвертый аспект влияния рельефа на формирование шумовой картины – это его воздействие на размещение источников шума (магистралей, промышленных объектов, мест большого скопления людей).

Вместе с этим, вклад рельефа не учитывается рядом наиболее популярных компьютерных программ для расчета уровней шума в проектной застройке, другими программами учитывается явно не в полной мере. Цель настоящей работы – показать роль рельефа в распространении шумов в крупных городах в различных геоморфологических условиях и обстановках.

Изученность проблемы

В современной геоморфологии сделаны первые, пока еще осторожные попытки рассуждать о месте топографического устройства в шумовой картине ландшафта, в том числе – городского [Лихачева, Тимофеев, 1996; Большов, Харченко, 2014].

Вообще, наиболее ранние источники, так или иначе затрагивающие проблему, написаны еще в первой четверти прошлого века. Однако, умозаключения авторов в них носили почти исключительно дедуктивный характер. Нам известна, например, работа профессора «метеорологической физики» В. Хамфри, посвященная атмосферной акустике в связи с метеоусловиями [Humphreys, 1921]. Часть объема статьи отведена феномену усиления громкости звука от источника, находящегося у основания склона «горы» с наветренной стороны, для наблюдателя, расположившегося на вершине или гребне. Такой феномен автор связывал с концентрированием (сужением) фронта звуковой волны и, соответственно, увеличением удельного звукового давления. Описанное явление иллюстрирует рисунок 1.



Рис. 1. Преодоление звуком «горы» в направлении с наветренной стороны к подветренной [Humphreys, 1921]

Fig. 1. Sound overcomes the "mountain" from the upwind side to the downwind side [Humphreys, 1921]

Исключительно использованию рельефа для защиты жилой застройки от шума посвящены методические рекомендации, изданные в ТбилЗНИИЭП Госгражданстроя СССР [Буадзе и др., 1981]. Эти рекомендации, вышедшие малым тиражом, не получили широкого использования при развитии застройки в городах Европейской России, ведь они изначально были ориентированы на города горных и гористых районов СССР (в частности, Грузинской ССР). Тем не менее, это пособие содержит немало замечаний о влиянии форм микрорельефа и элементов форм мезорельефа на распространение шума над ними, применимых и к территориям равнинных городов. Действительно, самое большое значение имеет характер рельефа узкой полосы, непосредственно прилегающей к магистрали, а не общий характер рельефа региона.

В этом же пособии дается конкретная схема учета рельефа в распространении шума от магистралей и других источников шума. Влияние рельефа местности на уровень шума в точке, находящейся на некотором удалении от автодороги, зависит от «расположения транспортной магистрали по отношению к элементам рельефа и угла наклона примагистральной территории



к горизонтальной плоскости». В зависимости от положения магистрали, поправочный коэффициент «на рельеф» берется либо со знаком «+», либо со знаком «-». При расположении магистрали у подошвы склона коэффициент берут со знаком «+», у бровки – берут со знаком «-». А величина снижения (или увеличения) уровня шума определяется крутизной склона. Если магистраль проходит по днищу балки либо, например, выемки – то есть фактически у подошвы двух противоположных склонов, – их крутизна суммируется. То же справедливо для вершины насыпи, вала, или, скажем, гребня оза, по которым в Финляндии часто прокладываются шоссе. Если же дорога протягивается по неширокой террасе – у основания более приподнятого уступа и у бровки более пониженного, – требуется брать разность величин их крутизны.

Соотношение крутизны прилегающих к магистрали склонов с величиной снижения (повышения) эквивалентного уровня шума характеризует таблица 1.

Таблица 1

Table 1

Изменение уровня шума от автодороги в зависимости от характеристик смежных склонов
[no: Буадзе и др., 1981]
Changes of traffic-noise level in relation with features of neighboring slopes

Расположение транспортной магистрали по отношению к элементам рельефа	Угол или сумма углов (для одного или двух склонов), град	Поправочный коэффициент, дБ(А)
У подошвы склона	20	0.5
	35	1
	50	1.5
	65	2
	80	2.5
	90	3
На бровке склона	20	0.5
	45	1
	75	1.5
	105	2

Из «свежих» публикаций нужно отметить серию статей И. М. Сенющенковой, посвященных акустическим условиям овражно-балочных комплексов в городах (на примерах гг. Брянска, Смоленска и т. д.) [Сенющенкова, 2008, 2010]. Для каждого из нескольких ключевых профилей (через источник шума и овраг/балку) автором выводились эмпирические зависимости эквивалентного уровня шума от планового расстояния от источника. Совершенно очевидно, что такие зависимости вовсе не универсальны – они будут оправдываться лишь на изученных участках, ведь опираются только на одну переменную (удаленность от источника). Отбрасывается характеристика профиля склона и перепады высот. Однако для исследованных участков выявленные закономерности, скорее всего, будут долговременно справедливы, ведь и профиль склона, и перепад высот на этих участках меняется незначительно.

Справочные издания, предназначенные для градостроителей [Самойлюк, 1975; Осипов, 1993], указывают на эффективность и дешевизну использования естественного и антропогенного рельефа в деле ограничения шума. Сообразуя плановую структуру магистральных линий с (возможно, выгодной для этого) конфигурацией эрозионной сети, можно добиться ощутимого повсеместного снижения уровня шума на величины до 20 дБ, а в некоторых случаях и более (пример – на рисунке 2).

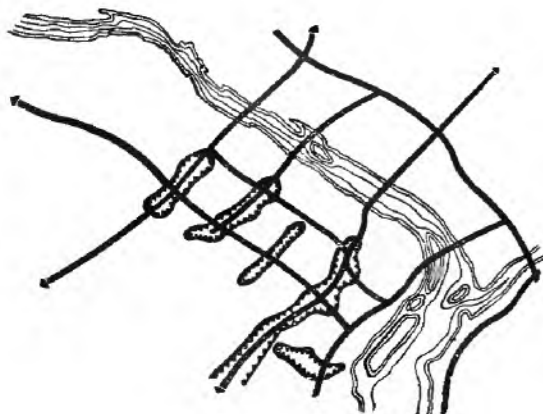


Рис. 2. Принципиальная схема использования балок и оврагов для трассирования сети магистральных улиц [Самойлюк, 1975]

Fig. 2. The principal scheme of using of the ravines for building of highway network [Samoylyuk, 1975]



Возможность вписать дороги в линейные отрицательные формы рельефа ценна еще и по другой причине. Продольный профиль дороги, идущей по днищу балки, при прочих равных более пологий, нежели продольный профиль дороги, идущей вдоль бровки этой балки или вообще на удалении от нее. А величина уклона дорожного полотна непосредственно влияет на повышение уровня шума, о чем наглядно свидетельствует таблица 2.

Таблица 2

Table 2

Изменение уровня транспортного шума в зависимости от уклона дороги и доли тяжелого транспорта в потоке [по: Заборов, 1989]
Changes of traffic-noise level in relation with the slopes of road and share of heavy transport in the traffic

Продольный уклон улицы или дороги, %	Поправка к $L_{A_{ЭКВ}}$, +дБ(А)						
	Доля грузового и общественного транспорта в потоке, %						
	0	5	20	30	40	70	100
20	0.5	1	1	1	1.5	1.5	1.5
40	1	1.5	2.5	2.5	2.5	3	3
60	1	2.5	3.5	3.5	4	4.5	5
80	1.5	3.5	4.5	5	5.5	6	6.5
100	2	4.5	6	6.5	7	7.5	8

Важную роль в подавлении шума играет антропогенный рельеф: выемки, земляные валы и насыпи. Определяющими их эффект параметрами являются – удаленность стенки выемки или насыпи от источника шума (у выемок обычно меньше, чем у валов), ее крутизна и высота. В дополнение к этим морфометрическим характеристикам, ощутимо на снижении уровня шума сказывается характер поверхности стенки. Так, при одинаковой высоте и крутизне уступа, поверхность грунта, покрытая снегом, снижает суммарный уровень шума еще на 2–4 дБ относительно шумозащитного эффекта не покрытой снегом стенки. Такие отличия обусловлены разницей звукопоглощения снега (пористой среды) и грунта. Соответственно, и виды грунтов с различной пористостью тоже гасят звуковые волны с разной интенсивностью.

Большой интерес представляют результаты эмпирических исследований. В совместной работе голландских и австрийских акустиков [Van Renterghem et al., 2007], рассматривающих пример железной дороги в одной из долин в австрийских Альпах, отмечается, что на склонах хребта, поднимающихся над железнодорожной линией, регистрируются превышения уровня шума (относительно смоделированного без учета рельефа) до 30 дБ(А). И это притом, что моделирование с учетом топографии и натурные данные показывают существенную сходимость – нигде они не отличаются более чем на 3 дБ(А).

Бесомый вклад в изучение закономерностей распространения звуков над неоднородной земной поверхностью внесли работы датского специалиста К. Расмуссена [Rasmussen, 1981, 1982, 1985]. Для ряда типовых поперечных профилей через насыпи и валы различной формы им проведены расчеты, подкрепленные результатами данных шумомеров. Важной деталью, на которую, в частности, указали его работы, является то, что звуковые волны разной частоты с различной интенсивностью преодолевают геоморфологические барьеры. В разных случаях (при отличном положении источника и приемника звука на профиле) та часть частотного интервала, на которую приходится наибольшее снижение уровня шума, – оказывается разная.

Впоследствии эмпирические данные К. Расмуссена и британского акустика Дж. Басса [Bass, 1992] обобщил в статье «К моделированию влияния профиля земной поверхности для расчетов шума в окружающей среде» Ю Лам [Lam, 1993].

На наш взгляд, со всей очевидностью можно утверждать, что вопрос геоморфологического фактора в распространении шума в приземном слое атмосферы разработан слабо. Кроме того, действующие нормативные документы и рекомендации не отражают ни современного уровня понимания атмосферной акустики, ни требований социального заказа на экологически комфортную среду. А между тем, нормативы рекомендуют все же «использовать шумозащитные свойства рельефа местности» (например, [СП 51.13330.2011]).

Материал и методы

Данное исследование базируется на результатах шумомерных работ, проведенных автором на нескольких ключевых участках в г. Курске и г. Тамбове летом 2014 года. В измерениях использовались шумомеры второго класса точности [по ГОСТ Р 53188.1-2008] с предельной инструментальной погрешностью – 1.5 дБ(А).



Для выявления собственно геоморфологического сигнала в изменении уровней шума проводились синхронные замеры эквивалентных уровней шума в точке на заданном удалении от автодороги (обычно 5–10 м) и в ряде характерных точек топографического профиля по линии перпендикуляра к ней. Первая точка – у дороги – получала наименование «база». Все точки на разных удалениях от базы именовались «станциями» с порядковым номером. Работа операторов шумомеров синхронизировалась – либо устно (на небольших расстояниях), либо с помощью раций (в условиях высокой зашумленности или на больших расстояниях). В зависимости от степени равномерности движения автомашин продолжительность замера могла составлять 1, 3 или 5 минут, в течение которых брались элементарные отсчеты уровней шума через каждые 2/3 секунды на высотах 1.2–1.5 метров над уровнем поверхности земли. Продолжительность замеров у железных дорог соответствовала времени прохождения поезда.

Перед началом замеров фиксировались метеорологические параметры, оказывающие существенное влияние на распространение шума: температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра на высоте около 1.5 метра над поверхностью земли. После серии замеров описывался собственно рельеф поверхности по линии профиля – расстояния и превышения между базой и каждой из станций.

Показания на дисплеях шумомеров снимались на видеофиксаторы вместе с дорожным трафиком. При обработке это позволяло обоснованно отсеивать экстремальные или просто сомнительные значения, а также определять причины резкого расхождения формы графиков уровней шума на базе и на станции (например, в случае быстрого смещения спектра шума в высокочастотную область при прохождении трамвая).

Для выявления различий в преодолении звуком разной частоты топографических барьеров на некоторых участках осуществлялись замеры в режиме А- и С-шумомера, т. е. с поправками по коррекционным кривым А и С. При измерении по кривой А «вес» низких частот в интегральной величине уровня звука занижается, низкие частоты как бы «угнетены» (рис. 3). Однако звук именно низких частот за счет рефракции волн у препятствий (в частности, перегибов поверхности) способен их огибать. Это происходит по причине того, что длина звуковых волн в низкочастотной части спектра сопоставима с размерами препятствий в реальном ландшафте – от метров до первых десятков метров. По предположению, в зонах звуковой тени, куда звуковые волны низких частот проникают лучше, чем волны более высоких частот, измерения с корректированием по кривой А должны были давать заниженные значения в сравнении с корректированием по кривой С.

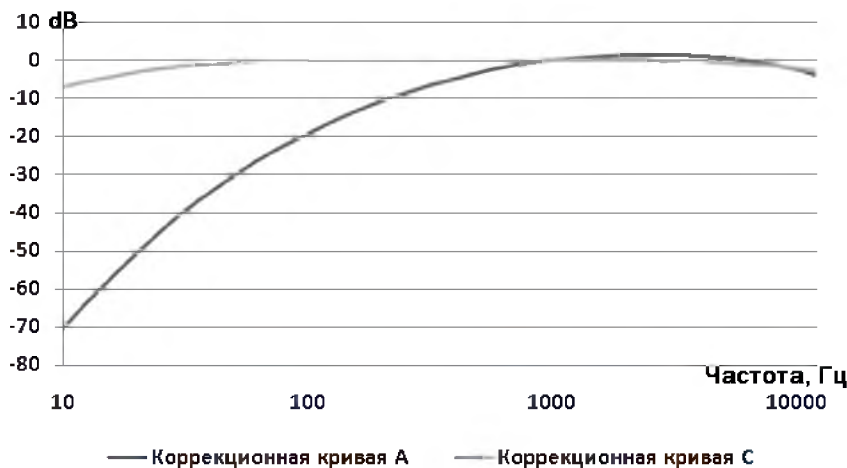


Рис. 3. Коррекционные кривые для измерений уровней звука А и С
Fig. 3. A-weighting and C-weighting correction curves

Результаты исследования и их интерпретация

За все время проведения полевых работ получено около 25 000 единичных отсчетов уровней шума. Синхронные отсчеты сводились в таблицы Excel, позволяющие проводить с показателями уровней шума числовую обработку. Рассчитывались разницы синхронных отсчетов и среднее значение разницы за всю продолжительность замера. Именно показатели средней разницы уровней шума на базе и станциях взяты нами как основной показатель, демонстрирующий снижение (а иногда и относительное увеличение) уровней шума. Кроме того, вычислялся показатель корреляции рядов парных (база–станция) данных. Степень корреляции показывает, как с увеличением расстояния от магистралей растет значимость прочих источников шума и убывает значимость транспортного шума. Очевидно, что степень несхожести этих двух рядов уровней шума обуславливается, прежде всего, ростом роли прочих источников звука в



интегральном показателе. На рисунке 4 показаны фрагменты кривых уровней шума, измеренных на Курской объездной автодороге.

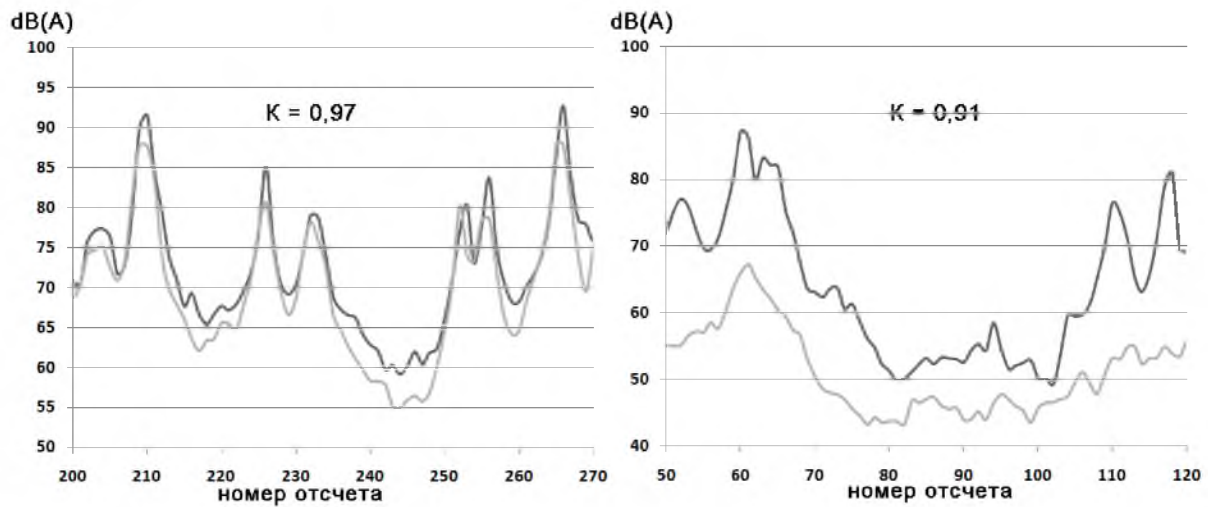


Рис. 4. Фрагменты кривых уровней шума на участке Курская объездная автодорога (КОАД) для замеров «база – станция №1» (слева) и «база – станция №4» (справа). Указаны коэффициенты парной корреляции рядов

Fig. 4. Fragments of noise level curves on the site «Kursk bypass highway» for measurement «base – station №1» (left) and «base – station №4» (right). K – coefficient of Pearson correlation for two rows

Левое изображение характеризует различия хода уровня шума для базы и ближайшей к ней станции, находящихся на одной высоте и разделенных лишь расстоянием в 3 метра. Правое изображение характеризует ход уровня шума на базе и наиболее удаленной от нее станции. Станция эта не имеет прямого визуального контакта с движущимся автомобильным потоком, находится в зоне звуковой тени за бровкой выемки примерно в 8 метрах от самой бровки. Однако, на описываемом участке совершенно нет сколько-нибудь существенного источника постороннего шума (ни древесной растительности, ни людей, ни примыкающих к основной артерии других дорог). Поэтому несмотря даже на значительные снижения уровней шума при движении от базы к станции №4 – до 20 дБ(А), – ход уровней шума на базе и станции обнаруживает значительное сходство (коэффициент парной корреляции равен 0.91). Иначе дело обстояло, когда замеры проводились в небольших рощицах с густой лиственной (особенно, мелколиственной) растительностью. В этих случаях (например, на последней станции участка «Кировский мост») разница между уровнями шума на базе и станции могла даже сокращаться. Т.е. уровни шума на станции приближались к исходным уровням шума от дороги, даже несмотря на общее удаление от нее.

Обобщенные результаты измерений по ряду наиболее интересных, на наш взгляд, участков сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Table 3

Средние разницы уровней шума на базе и станциях по профилям на ключевых участках и топографические особенности этих профилей
Mean differences of noise level on the base-point and the station-points on some profiles and topographic features of these profiles

Города	Участки (расстояние базы от источника, м)	Параметры	Б. – Ст.1	Б. – Ст.2	Б. – Ст.3	Б. – Ст.4	Б. – Ст.5	Б. – Ст.6	Характер рельефа по профилю (а также сторонние источники постоянного шума, вносящие систематическую ошибку)
		3	4	5	6	7	8	9	10
Курск	КОАД (3.5)	удаленность, м	6	9.5	12.5	20.5	-	-	Днище выемки (дорога) → склон выемки → исходная субгоризонтальная поверхность
		превышение, м	0	3.5	6	6	-	-	
		разница, дБ(А)	2.5	2.1	2.9	17.5	-	-	

Окончание таблицы 3
End of Table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Курск	Ул. Запольная (3.5)	удаленность, м	11.2	19.2	29.2	39.2	56	80	Гребень насыпи (дорога) → склон насыпи → подошва насыпи (шелест листвы)
		превышение, м	-3	-5.5	-9.5	-13	-14	-15	
		разница, дБ(А)	13.2	16.7	17.4	17.4	20	22.1	
	Парк Бородино (7.5)	удаленность, м	14	38	65	-	-	-	Плоская субгоризонтальная поверхность парка
		превышение, м	0	0	0	-	-	-	
		разница, дБ(А)	1.3	7.1	9	-	-	-	
	КГМУ (5)	удаленность, м	13	32	72	185	-	-	Гребень насыпи (дорога) → склон насыпи/балки → днище балки (шелест листвы) → дальняя бровка балки
		превышение, м	-4	-9	-11	2	-	-	
		разница, дБ(А)	24	22.8	22.3	17	-	-	
	Кировский Мост (7.5)	удаленность, м	10.5	16	22.6	48.6	74.6	-	Гребень насыпи (дорога) → склон насыпи → подошва насыпи (шелест листвы)
		превышение, м	-1	-3.3	-7.9	-8.9	-8	-	
		разница, дБ(А)	7	17.2	15.8	15.2	11	-	
Тамбов	Ул. Карла Маркса (7.5)	удаленность, м	20	38	54	-	-	-	Плоская субгоризонтальная поверхность бульвара
		превышение, м	0	0	0	-	-	-	
		разница, дБ(А)	4	8.2	10.8	-	-	-	
	Ж/Д (6.8)	удаленность, м	12	28	49	-	-	-	Гребень насыпи (ж/д) → основание насыпи → субгоризонтальная поверхность
		превышение, м	-2	-2.5	-2.5	-	-	-	
		разница, дБ(А)	3.8	8.6	8.9	-	-	-	
	Озеро (3.5)	удаленность, м	8.5	41.5	70	75	-	-	Гребень насыпи (дорога) → основание насыпи → субгоризонтальная поверхность → бровка уступа котловины водохранилища → основание этого уступа (шелест прибрежной высокой травянистой растительности)
		превышение, м	-1.7	-0.5	-1.5	-	-	-	
		разница, дБ(А)	9.2	8.8	20	30.6	-	-	

Участки «Парк Бородино» в Курске и «Ул. Карла Маркса» в Тамбове были выбраны специально, чтобы показать, как убывает уровень звука при удалении от магистрали по субгоризонтальной поверхности, т.е. без влияния рельефа. На обоих участках обнаружили весьма схожие закономерности снижения уровней шума с удалением. График величины разницы между уровнями шума на базе и станциях имеет вид перевернутой гиперболы. Иными словами, сначала шум затухает быстро, но с удалением от шоссе затухание происходит все медленнее.

Участок «Курская объездная автомобильная дорога» (КОАД) является типовым при прохождении дороги в выемке. Станция №1 располагалась у основания склона выемки, станция №2 – в средней части склона, станция №3 – у бровки, станция №4 – в 8 метрах за бровкой, в области звуковой тени. На первых трех станциях снижения уровней шума характеризуются весьма близкими значениями – в пределах погрешности шумомеров. Однако, на наш взгляд, здесь проявляется «аккумулирующий», усиливающий эффект замкнутого пространства выемки (за счет интерференции звуковых волн). Поясним. На станции №2, больше удаленной от дороги, нежели первая станция, – разница с уровнями шума на базе даже чуть меньше (т.е. сами уровни шума в среднем выше). Более того, среди 426 пар элементарных синхронных отсчетов в данном замере в 121 случае уровни шума на станции даже выше, чем на базе. Для первой станции это значение – 70 из 426 элементарных отсчетов. Для третьей станции – на бровке – 87 из 428 отсчетов. В то время как на четвертой станции каждый отсчет меньше синхронного ему на базе.

На участке КОАД мы пытались оценить еще и другое проявление рельефа – влияние его на прохождение волн разной частоты. Для этого на станциях №№3 и 4 эквивалентные уровни звука оценивались двумя способами – с поправками по коррекционным кривым А и С. Исходное предположение о некоторой индифферентности звуковых волн низкой частоты к рельефу подтвердилось. Если на станции №3, на бровке выемки, разница между А и С замерами составила лишь 0.1 дБ, то на станции №4 – за бровкой, в зоне звуковой тени – эта разница составила сразу 7.4 дБ. Иными словами, уровень шума с учетом низких частот (режим С) существенно выше, нежели уровень шума, измеренный в режиме А-шумомера.



Интересны случаи, когда источник шума приурочен к гребню насыпи. Здесь, в зависимости от крутизны и высоты стенок, могут наблюдаться самые различные результаты. Это либо резкое снижение уровня шума к подошве насыпи, а затем – с удалением от нее – снова некоторое увеличение уровней шума (наблюдалось на участках «Кировский мост» и «Озеро»). Либо резкое же снижение до основания насыпи, а затем – до некоторого удаления – постоянные значения уровней шума (на участке «Железная дорога»). Естественно, что при удалении дальше некоторого предела, эти значения также начнут снижаться. Либо же, в третьем случае, снижение уровней шума до основания насыпи и дальнейшее понижение при удалении от нее (на участке «ул. Запольная»).

Особый интерес представляет участок «КГМУ», находящийся на ул. Перекальского г. Курска. Дорога здесь проходит по насыпи, ограничивающей с юга крупную балку. Таким образом, исходный рельеф участка оказался «подчеркнут» созданной антропогенной формой – насыпью. Замеры проводились в вечернее время, в отличие от остальных участков. Ближайшая к базе и дороге станция находилась в средней части высокого полигенетического склона насыпи-балки, следующая за ней – у основания склона, третья – у тальвега балки, в зарослях, последняя – у дальней бровки балки. Средняя разница между измеренными уровнями шума на базе и последней станции – несмотря на большое удаление – составила 17 дБ(А). В то же время, чем ближе находились остальные станции, тем меньше был средний уровень шума (и больше разница с базой). Самая «тихая» станция оказалась на склоне, уступают ей станции у основания склона и у тальвега балки, и еще более – самая удаленная станция. На наш взгляд, здесь к топографическому эффекту присовокупился эффект метеорологический. Проводя аналогии с прочими участками на насыпях, следовало бы ожидать, что наиболее «тихой» окажется либо станция у основания склона, либо станция у тальвега балки. Однако, эта закономерность нарушается – чем более удалена станция, тем более шумной она является. По всей видимости, это может быть связано с вечерней температурной инверсией. Ведь условные линии распространения звука – перпендикуляры к фронту звуковых волн – отклоняются в сторону более холодного воздуха, где скорость прохождения звука больше, тем самым компенсируя возникающую разницу звукового давления. При температурных инверсиях звуковые волны как бы «прижимаются» к земле. Другая вероятная причина состоит в том, что на последней станции на показатель интегрального уровня шума могли влиять сторонние источники – эта станция находится на жилой улице, однако это не объясняет аномалию значений, полученных на трех остальных станциях.

Заключение

Резюмируя, обозначим основные, полученные в работе, положения.

1) Геоморфологические и, в частности, топографические эффекты распространения шума на городских территориях изучены в слабой мере и почти не учтены в действующих нормативных актах. На деле, это приводит к тому, что в проектируемой застройке санитарные нормы по шуму могут соблюдаться фиктивно – расчетные данные будут показывать выполнение норм, в то время как данные шумомеров показали бы их несоблюдение.

2) Наибольшее влияние на распространение шума оказывает рельеф узкой полосы, непосредственно прилегающей к источнику шума, для автодорог обычно этот рельеф – антропогенный.

3) Принципиально отличаются по своему шумозащитному эффекту валы и насыпи любой природы, с одной стороны, и линейные понижения – с другой. Прокладка дорог по понижениям создает «аккумулирующий» эффект, когда на восходящих склонах уровни шума бывают не меньше, чем в нескольких метрах от источника звука. Однако, сразу за бровкой наблюдается резкое снижение уровней шума – формируется звуковая тень. В случаях, когда дорога проходит по насыпи, эффект иной – максимальная звуковая тень формируется в той или иной части склона, в зависимости от его крутизны, но обычно – в нижней части. А следом – при удалении от основания склона – уровни звука в разных ситуациях ведут себя по-разному, зачастую даже возрастая.

4) Звуковые волны низких частот существенно чаще огибают топографические барьеры, нежели волны средних и высоких частот. Происходит это за счет рефракции волн у препятствий, имеющих линейные размеры, сопоставимые с длинами волн.

Благодарности

Автор признателен Российскому фонду фундаментальных исследований (РФФИ) за финансовую поддержку работы (проект №14-05-31010 мол_а).



Список литературы References

1. Большов С.И., Харченко С.В. 2014. Экологические аспекты городского рельефа. *В кн.: Экологическая геоморфология. Новые направления.* М., Изд-во МГУ: 42–54.
Bolysov S.I., Kharchenko S.V. 2014. Environmental properties of urban terrain. *In: Ekologicheskaya geomorfologiya. Novye napravleniya* [Environmental geomorphology. New ways]. Moscow, Izd-vo MGU: 42–54. (in Russian)
2. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. (отв. ред.). 1996. Город-экосистема. М., ИГ РАН, 336.
Likhacheva E.A., Timofeev D.A. (otv. red.). 1996. Gorod-ekosistema [City-ecosystem]. Moscow, IG RAN, 336. (in Russian)
3. ГОСТ Р 53188.1-2008. Шумомеры. Часть 1. Технические характеристики. Дата введения 01.12.2009.
GOST R 53188.1-2008. Noise-level meters. Part 1. Technical characteristics. Date of introduction 01.12.2009. (in Russian)
4. Осипов Г.Л. (ред.). 1993. Защита от шума в градостроительстве. М., Стройиздат, 96.
Osipov G.L. (red.). 1993. Zashchita ot shuma v gradostroitel'stve [Noise protection in urban planning]. Moscow, Stroiizdat, 96. (in Russian)
5. Буадзе В., Овесов Г., Какабадзе М. 1981. Методические рекомендации и мероприятия по защите от шума жилой застройки с учетом сложного рельефа местности. Тбилиси, ТбилЗНИИЭП, 70.
Buadze V., Ovesov G., Kakabadze M. 1981. Metodicheskie rekomendatsii i meropriyatiya po zashchite ot shuma zhiloy zastroyki s uchetom slozhnogo rel'efa mestnosti [Guidelines and measures for noise protection on residential areas considering complex terrain]. Tbilisi, TbilZNIIEP, 70. (in Russian)
6. Розанов Л.Л. 2001. Технолитоморфная трансформация окружающей среды. М., Изд-во НИЦ ЭНАС, 184.
Rozanov L.L. 2001. Tekhnolitomorfnyaya transformatsiya okruzhayushchey sredy [Techno-lithomorphological transformation of environment]. Moscow, Izd-vo NTs ENAS, 184. (in Russian)
7. Самойлюк Е.П. 1975. Борьба с шумом в градостроительстве. Киев, Будивельник, 128.
Samoylyuk E.P. 1975. Bor'ba s shumom v gradostroitel'stve [Noise protection in urban planning]. Kiev, Budivel'nik, 128. (in Russian)
8. Сеньющенко И.М. 2008. Анализ методов борьбы с транспортным шумом в городах на пересеченном рельефе. Вестник МГСУ, (4): 134–138.
Senyushchenkova I.M. 2008. Analysis of methods of traffic noise restriction in the cities with complex terrain. Vestnik MGSU [Vestnik MGSU], (4): 134–138. (in Russian)
9. Сеньющенко И.М. 2010. Акустические особенности распространения шума в пониженных формах рельефа местности. Известия высших учебных заведений. Строительство, (5): 91–99.
Senyushchenkova I. M. 2010. Acoustical features of noise propagation in terrain depression. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction], (5): 91–99. (in Russian)
10. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Дата введения 20.05.2011.
SP 51.13330.2011. Noise protection. Date of introduction 20.05.2011. (in Russian)
11. Заборов В.И. (ред.). 1989. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий. К., Будивельник, 160.
Zaborov V.I. (red.). 1989. Spravochnik po zashchite ot shuma i vibratsii zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Handbook of noise and vibration protection in residential and public buildings]. Kiev, Budivel'nik, 160. (in Russian)
12. Bass J.H. 1992. Noise assessment at Carland Cross wind farm site. *In: Proc. of the wind turbine noise workshop.* Energy technology support unit of the UK department of trade and industry. UK, Harwell: 137–142.
13. Humphreys W.J. 1921. Meteorological acoustics. *Journal of the Franklin Institute*, 191 (5): 581–606.
14. Lam Y.W. 1993. On the modelling of the effect of ground terrain profile in environmental noise calculations. *Applied Acoustic*, (42): 99–123.
15. Rasmussen K.B. 1981. Sound propagation over grass covered ground. *Journal of Sound and Vibration*, 78 (2): 247–255.
16. Rasmussen K.B. 1982. Propagation of road traffic noise over level terrain. *Journal of Sound and Vibration*, 82 (1): 51–61.
17. Rasmussen K.B. 1985. On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors. *Journal of Sound and Vibration*, 98 (1): 35–44.
18. Van Renterghem T., Botteldooren D., Lercher P. 2007. Comparison of measurements and predictions of sound propagation in a valley-slope configuration in an inhomogeneous atmosphere. *Journal of Acoustic Society of America*, 121 (5): 2522–2534.