

## ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ: ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

С. В. Харченко

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 1 декабря 2015 г.*

**Аннотация:** В статье описан способ оценки влияния рельефа городской территории на акустическую обстановку. Этот способ базируется на последовательном применении натуральных измерений и компьютерного моделирования уровней шума. Показаны примеры оценки влияния рельефа на распространение шума для четырех участков с различным пространственным соотношением положительных и отрицательных форм рельефа. Величины влияния рельефа на уровни шума от транспортных магистралей даже в городах, расположенных на равнинах, могут достигать нескольких десятков процентов от номинальных значений (рассчитываемых для плоской поверхности).

**Ключевые слова:** рельеф, уровень звука, шумовые аномалии, компьютерное моделирование.

**Abstract:** The approach for assessment of urban landform's influence on the acoustical situation is described. This approach bases on gradual use of field measurement and computer simulation of noise levels. The assessment examples of the landform's influence on noise propagation at four tracts with different topographic patterns are demonstrated. The values of landform's influence on the noise levels from the traffic artery can be about a several tens of percent from nominal values (calculated for flat topography) even for towns, located on the plains.

**Key words:** topography, volume level, noise anomalies, computer simulation.

Среди основных характеристик городской среды, определяющих комфортность проживания, на одном из первых мест находится уровень шумового загрязнения. Известно, что в крупном городе средние уровни шума возрастают на 10дБА за период от 20 [11] до 25-30 [2] лет. Это связано с общим трендом на автомобилизацию населения, масштабными строительными работами в городах и пригородах, запуском новых предприятий. Однако, первый среди факторов шумового загрязнения в городах – все же транспортный. Разработка технологий защиты от транспортного шума – один из наиболее востребованных на практике разделов инженерной акустики. В числе таких технологий – использование свойств местности и, в частности, рельефа для создания благоприятной акустической обстановки. При этом, в качестве «шумозащитных экранов» могут выступать как почти неизменные антропогенной деятельностью (условно-естественные) формы рельефа и их элементы, так и полностью созданные в ходе инженерного

преобразования местности под нужды строительства (техногенные) формы.

Многие города Центральной России возведены в условиях значительного расчленения земной поверхности. На первых этапах их развития сложный рельеф окрестностей давал значительные фортификационные преимущества. Но в современных городах рисунок расчленения земной поверхности задает жесткий остов для планировочной структуры и, в том числе, для системы транспортных магистралей и второстепенных дорог. Рельеф, таким образом, подчиняет себе размещение основных источников транспортного шума и, кроме того, задает условия для его распространения в стороны от этих источников. Случайные, не продуманные пространственные отношения между положением в рельефе источников шума и объектов, которые от него нужно оградить, иногда приводят даже не к «нулевому», а к отрицательному шумозащитному влиянию земной поверхности.

Очевидно, что принятие продуманных решений требует предварительного глубокого изучения закономерностей распространения звуков в зави-

симости от рельефа места. Однако вряд ли можно сказать, что этот вопрос хорошо изучен даже сейчас. Весь научный задел, сделанный в этой нише за последние 100 лет, легко связать только с несколькими фамилиями. Впервые, насколько нам известно, о влиянии форм земной поверхности на распространение звука над нею высказался У. Хамфри [12]. Большой вклад в разработку вопроса внесли исследования К. Расмуссена [15, 16, 17]. Этот ученый, используя шумомерные устройства, выявлял связи между формой топографического профиля и отклонениями измеренных уровней шума от проектных значений, рассчитанных для плоской поверхности. Раньше него Е. П. Самойлюк указывал [4] на шумозащитный эффект использования балочно-долинных форм для прокладки системы магистральных автодорог в городе, а уже В. Буадзе с соавторами [1] были изданы методические рекомендации по учету морфологии рельефа для внесения поправок в рассчитанные для плоской поверхности уровни шума. Эти рекомендации были ориентированы на планировщиков городов горных территорий, однако, как уже было сказано, иногда на отдельных частях, в исторических центрах древних городов на равнинах показатели расчленения рельефа могут достигать весьма существенных значений. Дальнейшую разработку тема получила в публикациях Дж. Басса [10], Т. Ван Рентергхема [19], К. Аттенборо [14], Ю. Лама [13]. Отдельный интерес представляют работы И. М. Евграфовой (Сенющенковой) [5, 6], которая рассматривала именно города Центральной России, в основном – г. Брянск. В этом городе ею проводились измерения уровней шума от двух автодорог, пересекающих балки Верхний и Нижний Судок для оценки перспектив благоустройства данных форм рельефа и превращения их в рекреационные объекты. Без сомнения, степень разработанности темы еще далека до того уровня, при котором можно сказать, что основные аспекты научной проблемы влияния рельефа на распространение звуков изучены с достаточной полнотой. Следует назвать два аспекта, которые оказались практически не разработаны: 1) связь трехмерного поля высот земной поверхности и поля уровней звука; 2) техника количественной оценки влияния рельефа на возникновение положительных и отрицательных шумовых аномалий. Здесь и далее под «шумовыми аномалиями» понимаем отклонения уровней шума в условиях реального рельефа от тех значений, которые наблюдались бы в данной точке местности в условиях идеального плоского рельефа.

Данная статья нацелена на демонстрацию возможностей совокупного использования полевых измерений (полевого эксперимента) и компьютерного моделирования в разработке названных выше двух аспектов этой общей проблемы.

В течение двух полевых сезонов (2014-2015 годы) проводились натурные измерения в пяти крупнейших городах Центрального Черноземья – Воронеже, Липецке, Курске, Белгороде и Тамбове. Все эти города возникли на «высоких берегах» достаточно крупных рек – р. Воронеж (города Воронеж и Липецк), р. Тускарь (город Курск), р. Северский Донец (город Белгород) и р. Цна (город Тамбов). Большие перепады высот, во-первых, сами по себе формируют особую среду распространения звуков в приповерхностном слое атмосферы, а во-вторых, вынуждают проводить вертикальную планировку. Немалая доля длины транспортных магистралей в этих городах проложена по насыпям, выемкам, днищам балок и оврагов, вдоль бровок долинных уступов. Значительная часть жилой застройки стоит на склонах разной формы и крутизны, выше или ниже источников шума.

В перечисленных выше пяти городах нами были выбраны 28 участков, на которых проводились измерения шума по профилям, перпендикулярным источнику звука. В каждом городе выбирались 1-2 участка на субгоризонтальной поверхности. Полученные на них функции редукции уровней шума от расстояния до источника служили эталонами – с ними сравнились функции редукции шума при движении от источника по склону вверх, вниз или попеременно. Точка «базы» располагалась на фиксированном удалении от середины ближайшей полосы дороги, по которой осуществляется движение транспорта – по возможности, на расстоянии 7,5 м [по 15] и на том же высотном уровне, что и источник звука. Положение «станций» выбиралось в характерных точках земной поверхности – местах перегиба топографического профиля (бровки и тыловые швы, низшие точки локальных понижений, точки «гребней»). Продолжительность одного синхронного измерения на «базе» и «станции» определялась, исходя из равномерности автотрафика, и составляла обычно 5 минут. Во время или после измерения фиксировались горизонтальные проложения между базой и всеми станциями, а также их взаимное превышение.

На 28 участках (профилях) измерения проведены в общей сложности в 138 точках, получено более 57 000 элементарных отсчетов уровней звука. Измерения проводились синхронно двумя

(реже – тремя) шумомерами AR844 в точке «базы» и точках «станций». Кроме того, отмечались параметры температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра. Все измерения проведены в дневное время в условиях ясной, солнечной погоды. В результате получены функции редукции шума для различных геоморфологических условий, эти сведения частично опубликованы [8, 9]. Однако измерение затухания шума с расстоянием по отдельным профилям и их соотношение с некими эталонами не позволяет получить объемную «картину» явления.

По этой причине было проведено компьютерное моделирование распространения звука на некоторых из участков, для которых имеются эмпирические данные. Наличие экспериментальной информации позволило избежать грубых ошибок в модели – закономерности редукции шума по результатам моделирования соотносились с опытными данными и в большинстве случаев показали значительное сходство с ними. Сама процедура моделирования проводилась в программе АРМ Акустика 3D [3]. Создание модели проходит в несколько этапов – задание геометрии участка (рельеф, застройка, древесные скопления); положения, тип и звуковые характеристики всех источников шума, которые нужно учесть; положения расчетных точек, границ и детальности шумовых полей и разрезов.

На выходе получаем: 1) рассчитанную функцию редукции шума для ряда расчетных точек, размещенных в модели участка в соответствии с их реальным размещением во время эксперимента; 2) значения уровней шума в узлах сетки, построенной на заданной высоте над земной поверхностью (обычно – на высоте шумомера, 1,1-1,3 м). Степень соответствия функций редукции шума по модельным и натурным данным свидетельствует и об уровне надежности (достоверности) полученного трехмерного поля шума в целом.

Затем расчет повторяется с тем лишь изменением, что в качестве рельефа используется плоская горизонтальная поверхность, а все объекты как бы «опускаются» на нее. В результате для нескольких участков получены значения уровней шума, обусловленные характером реального рельефа, и те значения уровней шума, какими они были бы в ситуации плоской поверхности. При неизменных границах и детальности расчетной сетки в обоих этапах моделирования исследователь получает две матрицы уровней шума с равным количеством строк и столбцов, которые можно поделить одна

на другую. Процедура деления матриц нами осуществлялась в программе Surfer [18].

Значения такого отношения (уровней шума в условиях реального рельефа к уровням шума в условиях плоского рельефа) больше «единицы» соответствуют участкам положительных шумовых аномалий. Значения меньше «единицы» – отрицательных. Необходимо подчеркнуть, что в тексте данной статьи под понятием «уровень шума» всюду понимаем эквивалентный уровень звука в воздухе.

Проиллюстрируем описанное на примерах нескольких участков с принципиально различным положением источника шума в рельефе.

#### **Участок №1. «Белая гора». Улица Студенческая, г. Белгород**

Четырехполосная автодорога проходит у подножия крупного мелового холма, имеющего народное, неофициальное наименование – Белая гора. Это эрозионный останец по правому склону долины реки Северский Донец у впадения в нее ныне не существующего ручья Ячнев Колодезь. Автодорога проложена по частично засыпанному, спланированному днищу долины в низовьях этого ручья непосредственно у подножия южного склона останца. Географические координаты «базы» измерений – 50° 37' 07" с.ш., 36° 36' 39" в.д. Профиль длиной около 95 м и с амплитудой высот чуть более 40 м проложен на север от дороги вверх по склону останца (ступенчатого в верхней своей части).

С опорой на результаты полевых измерений созданы модели распространения звука на этом участке с учетом реального рельефа и для условий идеальной горизонтальной поверхности. Отношение смоделированных уровней шума (его распределение по участку) показано на рисунке 1.

Нужно заметить, что для удобства отображения вертикальный масштаб выбран в два раза более мелкий, чем горизонтальный. В реальности крутизна склона в некоторых местах достигает 50-60°. На схеме выделены 4 градации коэффициента, отражающего степень влияния рельефа на распространение шума. Две градации ( $> 1,05$  и  $1-1,05$ ) соответствуют положительным шумовым аномалиям за счет рельефа, еще две ( $0,75-1$  и  $< 0,75$ ) – отрицательным аномалиям. Восходящий (по отношению к положению источника шума – дороги) склон создает явный аккумулярующий эффект. От подножия склона примерно до его средней части на половине площади уровни шума до 5 % превышают те уровни, которые были бы здесь при отсутствии уклона. Еще на трети этой площади, нижней части склона положительные шумовые ано-

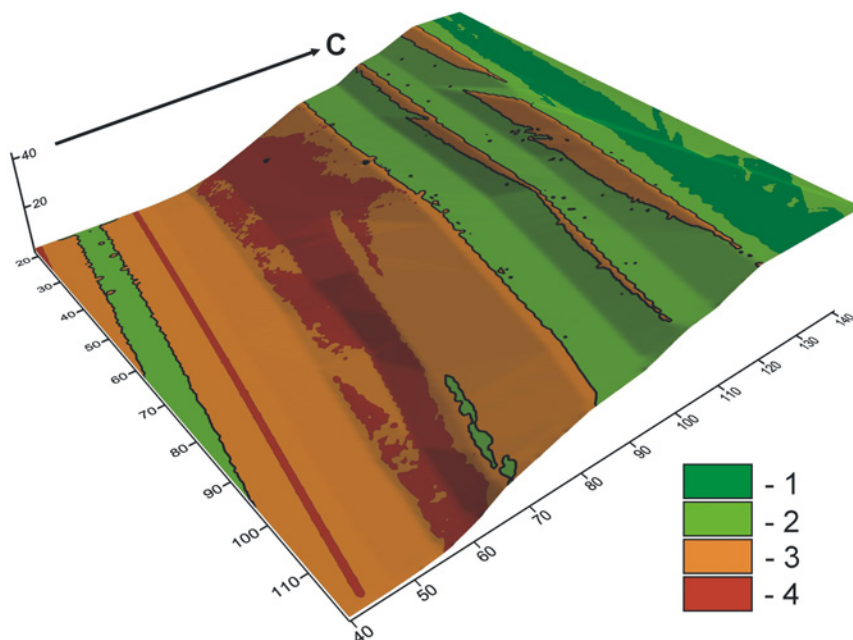


Рис. 1. Положительные и отрицательные шумовые аномалии за счет рельефа, наложенные на трехмерную визуализацию склона, на участке шумомерной съемки «Белая гора», город Белгород. Градации: 1 – менее 0,75; 2 – 0,75-1; 3 – 1-1,05; 4 – более 1,05

Таблица 1

Распределение значений коэффициента уровней шума в расчетной сетке для участка «Белая Гора»

минимум	квантиль площади участка, %									максимум	среднее
	1	5	10	25	50	75	90	95	99		
0,465	0,490	0,544	0,744	0,918	1,001	1,030	1,053	1,063	1,072	1,437	0,948

малии превышают +5 % (значение коэффициента > 1,05) и достигают максимального значения +43,7 %. В верхней же, ступенчатой части склона, при подъеме наблюдаются знакопеременные аномалии. На субгоризонтальных и слабонаклонных площадках ступеней, закрытых от прямого «визуального» контакта с источником шума, отмечается звуковая тень – отрицательная аномалия со значениями до -25 % (коэффициент 0,75-1). На уступах этих ступеней, особенно в верхних их частях, как наиболее открытых к дороге, снова видны положительные аномалии. Максимальные значения отрицательных аномалий уровней шума – больше -25 % – отмечаются выше главной бровки всего склона, уже вдоль края вершинной поверхности останца. Вообще на описываемом участке отрицательные шумовые аномалии достигают предельного значения -53,5%.

Распределение площадей участка по величинам шумовых аномалий показано в таблице 1.

Площади с разнознаковыми аномалиями почти равны. По абсолютным значениям есть небольшой перевес в сторону отрицательных аномалий. Наличие этого перевеса также подтверждается тем, что среднее значение меньше медианного.

**Участок №2. «КОАД». Курская объездная автодорога, г. Курск**

Двухполосная автодорога проходит по днищу выемки, прорезающей склон правого склона долины ручья Моква («лог Моква»). Ширина выемки по бровкам – 40-45 м, ширина днища – около 20 м. Географические координаты «базы» измерений – 51° 43' 37" с.ш., 36° 05' 16" в.д. Отношение смоделированных уровней шума для данного участка показано на рисунке 2.

На днище выемки наблюдаются попеременные положительные и отрицательные аномалии уров-

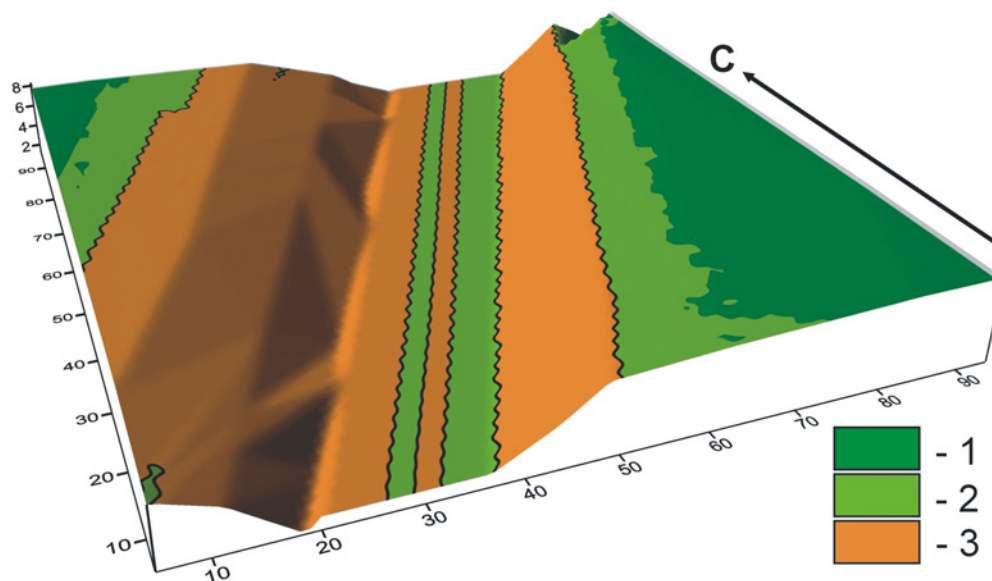


Рис. 2. Положительные и отрицательные шумовые аномалии за счет рельефа, наложенные на трехмерную визуализацию склона, на участке шумомерной съемки «КОАД», город Курск. Градации: 1 – менее 0,9; 2 – 0,9-1; 3 – более 1

Таблица 2

Распределение значений коэффициента уровней шума в сетке для участка «КОАД»

минимум	квантиль площади участка, %									максимум	среднее
	1	5	10	25	50	75	90	95	99		
0,790	0,821	0,866	0,879	0,905	1,001	1,019	1,031	1,038	1,056	1,089	0,972

ня шума. Это связано с взаимным гашением или увеличением звуковой энергии, исходящей от двух противоположных полос движения. Уже в нижних частях склонов уровни шума в условиях реального рельефа становятся больше, чем они могли бы быть на плоской поверхности. «Вогнутая» поверхность выемки оказывает здесь концентрирующий или, иначе, аккумулирующий эффект. В зависимости от формы склона, этот эффект отмечается на разном удалении от дороги для восточного и западного склонов. В случае более крутого, с резкой бровкой восточного склона выемки положительные аномалии уровней шума переходят в отрицательные уже на первых 1-2 м приборочного пространства. Более пологий и широко открытый к дороге западный склон характеризуется тем, что линию перехода положительных шумовых аномалий к отрицательным трудно сопоставить с какой-либо из граней рельефа. Несмотря на четкость линии на схеме, очевидно, что градиент этого пе-

рехода на западном склоне далеко не такой резкой, как на восточном.

Доли площадей участка с отрицательными шумовыми аномалиями лишь немного (на 0,06 %!) превышает половину (таблица 2). Учитывая погрешность построения геометрии модели, метеорологических условий, пространственной дискретизации расчета уровней шума, можно утверждать, что на выбранном участке площади отрицательных и положительных шумовых аномалий сопоставимы.

В целом в границах участка, несмотря на примерно равное площадное соотношение разнонаправленных аномалий, рельеф оказывает более сильное редуцирующее воздействие на шум, нежели аккумулирующее. Очевиден перевес в пользу значений меньше «единицы». Влияние рельефа на распространение над ним шума на данном участке не превышает 21 % от номинальных (рассчитанных для плоской поверхности) значений в сторону редукации и 9 % в сторону усиления шума.

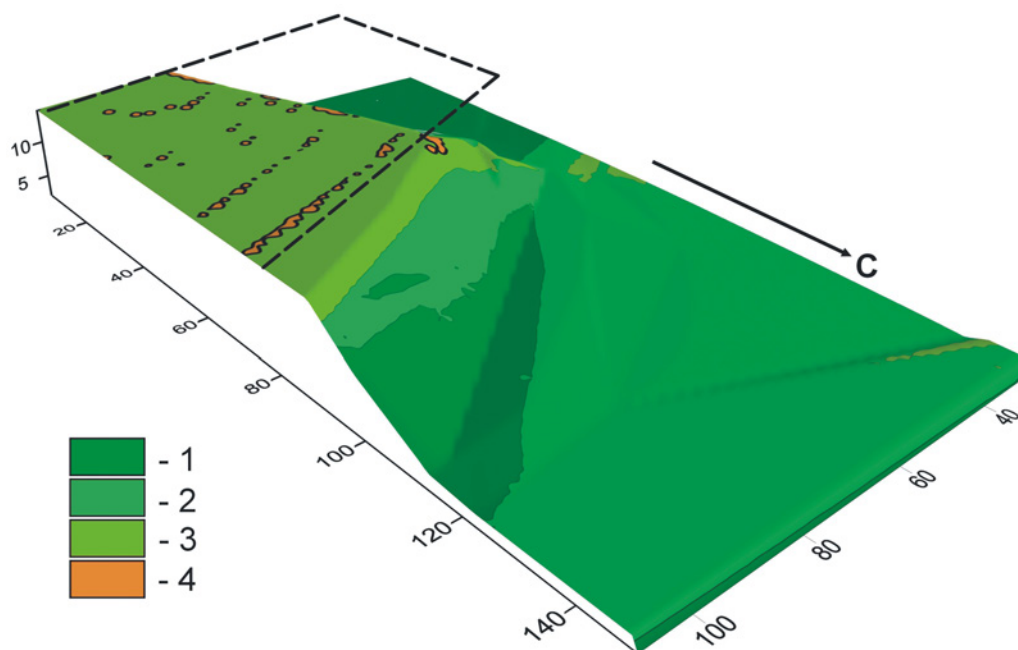


Рис. 3. Положительные и отрицательные шумовые аномалии за счет рельефа, наложенные на трехмерную визуализацию склона, на участке шумомерной съемки «Кировский мост», г. Курск. Пунктирной линией оконтурено положение моста в пределах участка моделирования. Градации: 1 – менее 0,8; 2 – 0,8-0,9; 3 – 0,9-1; 4 – более 1

### Участок №3. «Кировский мост», г. Курск

Мост (а по сути два моста рядом, 1955 и 2011 годов постройки) через реку Тускарь, соединяющий Железнодорожный и Центральный округа города Курска, частично проложен по насыпи. По мосту проходят трехполосная автодорога в направлении из центра города к железнодорожному вокзалу, четырехполосная автодорога в обратном направлении и две линии трамвайных путей. Нами исследовалось распространение шума только к северу от насыпи и, соответственно, дороги. Ближе всего к базе измерений у бровки насыпи находилась четырехполосная дорога, за ней – трамвайные пути, а следом за ними – трехполосная дорога. Ширина насыпи в основании – немногим более 100 м, по бровкам – около 55 м. Противоположный, южный склон насыпи в модели не учтен и на рисунке не показан. Географические координаты «базы» измерений – 51° 45' 23" с.ш., 36° 12' 26" в.д. Отношение смоделированных уровней шума для данного участка показано на рисунке 3.

На поверхности насыпи четко выделяются «цепочки» слабых (немногим более «единицы») положительных шумовых аномалий вдоль линий движения отдельных потоков транспорта. В верхней части склона примерно до высоты на 1,1 м (высота шумомера на штативе) ниже площадки насыпи различий в уровнях шума в условиях реально-

го рельефа и плоской поверхности еще почти нет. Затем, при дальнейшем движении вниз по склону и потере прямой видимости с транспортным потоком, отношение уровней шума начинает снижаться и достигает минимального значения 0,72 у подошвы насыпи. При удалении от насыпи уже по поверхности поймы реки Тускарь, реальные уровни шума снова немного приближаются к модельным для плоской поверхности. Так, на расстоянии 50-60 м от подошвы насыпи, у северного края участка моделирования, величина искомого коэффициента составляет 0,85-0,87. Минимальные же его значения в пределах всего участка наблюдаются под конструкциями моста, однако, в реальности уровни звука там несколько выше за счет так называемого структурного шума (а не только звуковой энергии, переданной через воздушную среду). Из-за сильных искажений за счет расположения доли площади участка непосредственно под источником шума (мостом), таблицу распределения коэффициента уровней шума не приводим.

### Участок №4. «Окружная дорога», южная часть г. Липецка

По насыпи, «подчеркивающей» южный склон верховьев балки, проходит участок двухполосного шоссе – Окружной дороги города Липецка. Относительная высота площадки насыпи над днищем балки – около 8-9 м. Ширина балки по бровкам (с

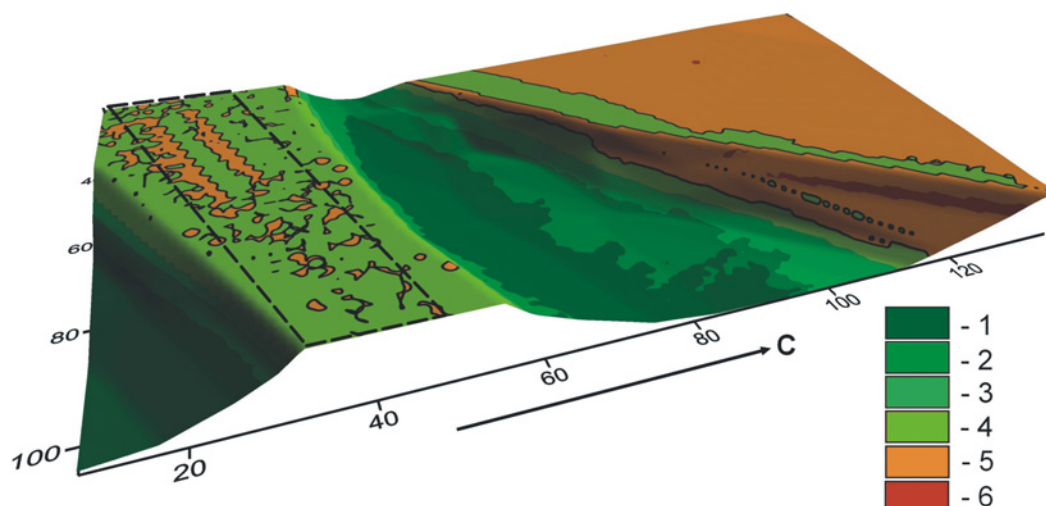


Рис. 4. Положительные и отрицательные шумовые аномалии за счет рельефа, наложенные на трехмерную визуализацию склона, на участке шумомерной съемки «Окружная дорога», южная часть г. Липецк. Пунктиром показано положение дороги. Градации: 1 – менее 0,78; 2 – 0,78-0,85; 3 – 0,85-0,95; 4 – 0,95-1; 5 – 1-1,05; 6 – более 1,05

Таблица 3

Распределение значений коэффициента уровней шума в сетке для участка «Объездное шоссе»

минимум	квантиль площади участка, %									максимум	среднее
	1	5	10	25	50	75	90	95	99		
0,677	0,734	0,746	0,759	0,812	1,000	1,033	1,043	1,045	1,048	1,077	0,940

учетом насыпи) – от 25 до 40 м, ширина днища в створе шумомерного профиля – 18 метров. Северный, более низкий, склон балки переходит в пологонаклонную поверхность первой надпойменной террасы долины реки Воронеж. Превышение этой поверхности над днищем балки – от 5,5-6 м. В результате шум от дороги распространяется сначала над «понижением» балки, а затем над поверхностью террасы, находящейся не ниже 2,5-3 м от уровня площадки насыпи. Кроме того, за счет слабого наклона поверхности террасы на юго-восток, этот фрагмент участка оказывается даже немного повернут к источнику шума. Ширина насыпи по бровкам 15-20 метров. Географические координаты «базы» измерений – 52° 30' 26" с.ш., 39° 31' 20" в.д. Отношение смоделированных уровней шума для данного участка показано на рисунке 4.

Учитывая наличие как спусков, так и подъемов при удалении от дороги, полученная шумовая картина не может показаться странной. Как и на участке № 3 «Кировский мост», максимальная ре-

дукция шума по причине сложного рельефа отмечается на прилегающем к насыпи склоне, у его подошвы и на части днища балки. Величина глушения звука рельефом по поперечному профилю балки распределена несимметрично – на южном склоне она в среднем больше, чем на северном, открытом к источнику шума. В верхней части северного склона балки отрицательные шумовые аномалии переходят в положительные. Сразу за бровкой – узкая полоса слабоотрицательных аномалий (0,95-1), в принципе, интуитивно относимых в пределы погрешности построения модели. Подавляющей части площади субгоризонтальной поверхности террасы соответствуют слабopоложительные аномалии.

Как и во всех прочих случаях, редуцирующее влияние рельефа на шум сильнее влияния аккумулярующего, несмотря на явные геоморфологические различия между участками. Однако плановый рисунок этого влияния, а именно пространственное распределение коэффициента уровней шума,

а также абсолютные величины его редукиции и аккумуляции, во многом, предопределяются гипсометрическим планом места.

Итак, обозначим основные результаты работы и проистекающие из них выводы.

1. Описан способ оценки влияния рельефа на распространение транспортного шума. Способ базируется на последовательном применении полевых измерений и компьютерного моделирования уровней шума. В качестве критерия «влияния рельефа» на интенсивность распространения звука предлагается отношение (коэффициент) уровней шума, измеренных или рассчитанных в точке для условий реального рельефа, к уровням шума, смоделированным для плоской поверхности.

2. Показаны закономерности распространения шума над участками земной поверхности, представленными часто встречающимися в городах сочетаниями условно-естественных и техногенных форм рельефа. Это, например, эрозионный останец и снивелированное днище долины малой реки; поверхность речной террасы и выемка на ее склоне; насыпь для строительства моста, опирающаяся на пойму. Отличия в степени открытости к источнику шума отдельных «граней рельефа» относительно условий плоской поверхности оказывают определяющее влияние на возникновение положительных и отрицательных шумовых аномалий.

3. На всех описанных участках редуцирующее влияние рельефа на уровни шума сильнее, нежели аккумулярующее. Однако, в разных геоморфологических «обстановках» фрагменты участков, на которых наблюдается редуцирующее влияние, оказываются как в относительной близости от источника шума (участки №3 и №4), так и на максимальном в пределах участка удалении от него. Нужно напомнить, что речь идет не о снижении уровней шума с удалением от источника, а о снижении влияния рельефа на уровни шума, что совсем не одно и то же.

4. Помимо самого типа пространственного сочетания положительных и отрицательных форм рельефа и размещения на них источника шума, на интенсивность распространения звука оказывают влияние конкретные морфометрические характеристики. Так, например, при недостаточной крутизне склонов насыпи, у ее основания ярко выраженная звуковая тень может и не формироваться (на доле длины подошвы насыпи, участок №3). Равно как и уровень редукиции шума за счет рельефа за бровкой восходящего склона зависит от крутизны и длины этого склона (участки №1 и №2).

5. На рассмотренных участках величины положительных и отрицательных шумовых аномалий за счет рельефа колеблются в диапазоне от -53,5 % до +43,7 %. Причем оба этих крайних значения принадлежат участку №1, для которого показатель глубины расчленения среди всех четырех участков максимален и превышает 40 метров при его размерах в плане 100 метров на 101 метров.

**Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ по проекту №14-05-31010 мол\_а.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буадзе В. Методические рекомендации и мероприятия по защите от шума жилой застройки с учетом сложного рельефа местности / В. Буадзе, Г. Овесов, М. Какабадзе. – Тбилиси : ТбилЗНИИЭП, 1981. – 70 с.
2. Карлос Л. Н. Х. Влияние акустической автотранспортной нагрузки на эколого-функциональное состояние популяции городских жителей (на примере г. Чиклайо республики Перу) : дис. ... канд. биол. наук / Л. Н. Х. Карлос. – Москва : РУДН, 2006. – 131 с.
3. Программа «АРМ Акустика 3D» – URL : <http://www.noiseview.ru>. – Дата обращения: 10.11.2015.
4. Самойлюк Е. П. Борьба с шумом в градостроительстве / Е. П. Самойлюк. – Киев : Будивельник, 1975. – 128 с.
5. Сенющенкова И. М. Акустические особенности распространения шума в пониженных формах рельефа местности / И. М. Сенющенкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – № 5. – С. 91-99.
6. Сенющенкова И. М. Анализ методов борьбы с транспортным шумом в городах на пересеченном рельефе / И. М. Сенющенкова // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2008. – № 4. – С. 134-138.
7. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Дата введения 20.05.2011.
8. Харченко С. В. Учет геоморфологического фактора при создании карт шума урбанизированных территорий / С. В. Харченко, М. А. Быканова, О. П. Дворенкова // Современные ландшафтные исследования в контексте оптимизации рационального природопользования : материалы международной научно-практической конференции : сборник статей. – Курск : Курский государственный университет, 2015. – С. 259-264.
9. Харченко С. В. Шумовое загрязнение в городах в связи с характером рельефа территории (для ключевых участков в гг. Курск и Тамбов) / С. В. Харченко // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2015. – № 3 (200), вып. 30. – С. 182-190.
10. Bass J. H. Noise assessment at Carland Cross wind farm site / J. H. Bass // Proc. of the wind turbine noise workshop. Energy technology support unit of the UK department of trade and industry. – UK, Harwell, 1992. – P. 137-142.



11. City of Vancouver Noise Control Manual. – B. C. Victoria : Wakefield Acoustic Ltd., 2004. – 72 p.
12. Humphreys W. J. Meteorological acoustics / W. J. Humphreys // Journal of the Franklin Institute. – 1921. – № 191 (5). – P. 581-606.
13. Lam Y. W. On the modeling of the effect of ground terrain profile in environmental noise calculations / Y. W. Lam // Applied Acoustics. – 1994. – № 42. – P. 99-123.
14. Prediction outdoor sound / K. Attenborough [et al.]. – Abingdon : Spon Press, 2007. – 483 p.
15. Rasmussen K. B. On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1985. – № 98 (1). – P. 35-44.
16. Rasmussen K. B. Propagation of road traffic noise over level terrain / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1982. – № 82 (1). – P. 51-61.
17. Rasmussen K. B. Sound propagation over grass covered ground / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1981. – № 78 (2). – P. 247-255.
18. Surfer @ 13 – URL : <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>. – Дата обращения: 10.11.2015.
19. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors / T. Van Renterghem [et al.] // Applied Acoustics. – 2015. – № 92. – P. 86-101.

#### REFERENCES

1. Buadze V. Metodicheskie rekomendatsii i meropriyatiya po zashchite ot shuma zhiloy zastroйки s uchetom slozhnogo rel'efa mestnosti / V. Buadze, G. Ovesov, M. Kakabadze. – Tbilisi : TbilZNIIEP, 1981. – 70 s.
2. Karlos L. N. Kh. Vliyaniye akusticheskoy avtotransportnoy nagruzki na ekologo-funktsional'noe sostoyaniye populyatsii gorodskikh zhitel'ey (na primere g. Chiklayo respubliki Peru) : dis. ... kand. biol. nauk / L. N. Kh. Karlos. – Moskva : RUDN, 2006. – 131 s.
3. Programma «ARM Akustika 3D» – URL : <http://www.noiseview.ru>. – Data obrashcheniya: 10.11.2015.
4. Samoilyuk E. P. Bor'ba s shumom v gradostroitel'stve / E. P. Samoilyuk. – Kiev : Budivel'nik, 1975. – 128 s.
5. Senyushchenkova I. M. Akusticheskie osobennosti rasprostraneniya shuma v ponizhennykh formakh rel'efa mestnosti / I. M. Senyushchenkova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. – 2010. – № 5. – S. 91-99.
6. Senyushchenkova I. M. Analiz metodov bor'by s transportnym shumom v gorodakh na peresechenom rel'efe / I. M. Senyushchenkova // Vestnik Moskovskogo gos-

udarstvennogo stroitel'nogo universiteta. – 2008. – № 4. – S. 134-138.

7. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma. Data vvedeniya 20.05.2011.
8. Kharchenko S. V. Uchet geomorfologicheskogo faktora pri sozdanii kart shuma urbanizirovannykh territoriy / S. V. Kharchenko, M. A. Bykanova, O. P. Dvorenkova // Sovremennye landshaftnye issledovaniya v kontekste optimizatsii ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii : sbornik statey. – Kursk : Kurskiy gosudarstvennyy universitet, 2015. – S. 259-264.
9. Kharchenko S. V. Shumovoe zagryaznenie v gorodakh v svyazi s kharakterom rel'efa territorii (dlya klyuchevykh uchastkov v gg. Kursk i Tambov) / S. V. Kharchenko // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Estestvennyye nauki. – 2015. – № 3 (200), vyp. 30. – S. 182-190.
10. Bass J. H. Noise assessment at Carland Cross wind farm site / J. H. Bass // Proc. of the wind turbine noise workshop. Energy technology support unit of the UK department of trade and industry. – UK, Harwell, 1992. – P. 137-142.
11. City of Vancouver Noise Control Manual. – B. C. Victoria : Wakefield Acoustic Ltd., 2004. – 72 p.
12. Humphreys W. J. Meteorological acoustics / W. J. Humphreys // Journal of the Franklin Institute. – 1921. – № 191 (5). – P. 581-606.
13. Lam Y. W. On the modeling of the effect of ground terrain profile in environmental noise calculations / Y. W. Lam // Applied Acoustics. – 1994. – № 42. – P. 99-123.
14. Prediction outdoor sound / K. Attenborough [et al.]. – Abingdon : Spon Press, 2007. – 483 p.
15. Rasmussen K. B. On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1985. – № 98 (1). – P. 35-44.
16. Rasmussen K. B. Propagation of road traffic noise over level terrain / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1982. – № 82 (1). – P. 51-61.
17. Rasmussen K. B. Sound propagation over grass covered ground / K. B. Rasmussen // Journal of Sound and Vibration. – 1981. – № 78 (2). – P. 247-255.
18. Surfer @ 13 – URL : <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>. – Дата обращения: 10.11.2015.
19. Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors / T. Van Renterghem [et al.] // Applied Acoustics. – 2015. – № 92. – P. 86-101.

Харченко Сергей Владимирович  
научный сотрудник кафедры ландшафтной экологии  
Казанского (Приволжского) федерального университета,  
г. Казань, т. +7(950)872-30-11, +7(965)282-77-30,  
E-mail: [har4enkkoff@rambler.ru](mailto:har4enkkoff@rambler.ru)

Kharchenko Sergey Vladimirovich  
Researcher of department of landscape ecology Kazan Federal  
University, (Volga region) Kazan, tel. +7(950)872-30-11,  
+7(965)282-77-30, E-mail: [har4enkkoff@rambler.ru](mailto:har4enkkoff@rambler.ru)