

УДК 550.348.432

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ ГОРОДА КАЛИНИНГРАДА

Дробиз М.В., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я.

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
г. Калининград*

Научный руководитель к.г.-м.н. Аносов Г.И.,

После землетрясения 21 сентября 2004 года в Калининградской области возник научный интерес к исследованию сейсмической картины региона. Вопрос микросейсмических воздействий на территории с развитым промышленным комплексом должен находиться на достойном месте. Исследования, проведенные авторским коллективом в 2009-2011 гг., имели своей целью установление параметров микросейсмического фона как для оценок собственно фона (при влиянии на здания, сооружения или жителей), так и для усиления полезного сигнала при обработке записей сейсмостанций в городе Калининграде. Выявленные особенности – суточная периодичность нарастания и затухания микросейсм; распределение по территории города преобладающих частот и коэффициента усиления грунтами входящего сигнала; пространственное распределение глубин залегания поверхности инженерного фундамента, определенных по записям микросейсм.

Ключевые слова: микросейсмичность, инженерный фундамент, техногенные вибрации, метод H/V -отношения, коэффициент Накамура.

ВВЕДЕНИЕ

Калининградская область — самый западный регион России, расположенный в Центральной Европе. На юге область граничит с Республикой Польша, на севере и востоке - с Литовской Республикой, а на западе омывается Балтийским морем (единственная территория России, берега которой омываются водами открытой части Балтийского моря). Площадь Калининградской области 15,1 тыс. км², а протяженность границ, являющихся одновременно и государственной границей Российской Федерации, составляет 540 км [3]. Из них 410 км приходится на сухопутные — примерно поровну на границу с Польшей и Литвой и 140-километровая морская граница по побережью Балтийского моря (рис.1, слева).

Калининградская область расположена на западной окраине Восточно-Европейской (Русской) платформы, где холмисто-рядовый рельеф сменяется обширными плоскими низменностями, столь характерными для

конечно-моренной области некогда стоявшего здесь ледника. В структурном плане территория области целиком расположена в пределах юго-восточной части Балтийской синеклизы. Мощность осадочного чехла здесь возрастает с 1500 м на севере области до 3500 м на юге и в Гданьской впадине [4]. В геологическом строении участвуют осадочные отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя, которые повсеместно перекрыты ледниковыми образованиями в основном позднего плейстоцена.



Рис. 1. Карта региона (слева, источник – Свободная энциклопедия Википедия) и район исследований авторского коллектива (справа, источник – Google Maps).

До недавнего времени Калининградская область считалась асейсмичной и на всей её территории интенсивность прогнозируемых сотрясений не должна была превышать V баллов по шкале MSK-64 (Карты ОСР-97). Калининградские землетрясения 2004 года с интенсивностью проявления в VI-VII баллов показали, что это не соответствует действительности.

Удалённость от Калининградской области наиболее эффективных сейсмических групп Центральной России и Скандинавских стран достигает нескольких сотен километров, что не позволяет им фиксировать микросейсмичность и слабые землетрясения непосредственно на территории области, в том числе и в районе очагов землетрясений 2004 года. Хотя по данным Международного сейсмологического центра (ISC) с 1964 по 2010 годы непосредственно в Калининградском регионе и вблизи от него были

инструментально зафиксированы многочисленные очаги землетрясений [7].

По полученным ИФЗ РАН данным (2007-2008 гг.) отчетливо видно [5], что основное количество эпицентров землетрясений группируется у Самбийского полуострова, т.е. в непосредственной близости от Калининграда. Из них 32 землетрясения были проинтерпретированы как вероятные тектонические землетрясения и произошли непосредственно на Самбийском полуострове или вблизи от него, что само по себе за год это достаточно много для «асейсмичного» региона.

В некоторых районах г. Калининграда сейсмическая интенсивность при главном толчке 2004 г. достигла 6.5 баллов [7]. Принято считать, что интенсивность максимально возможного землетрясения может на один балл превысить уже наблюдавшийся эффект. Следовательно, по крайней мере, объекты повышенной ответственности в г. Калининграде следует рассчитывать на 7 баллов. Соответствующие выводы и рекомендуемые синтетические акселерограммы были представлены в отчете Института физики Земли РАН по сейсмическому микрорайонированию г. Калининграда [7].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2007-2008 гг. Российским государственным университетом имени Иммануила Канта (Калининград) было приобретено 4 сейсмостанции “Уг-ра”, одна из которых впоследствии стала мобильной для производства работ на территории города.

Работы, выполняемые на территории Центрального района (в границах 2008 г.) авторским коллективом в 2009-2011 гг., проводились по следующей технологической схеме. Для обозначенной территории были выполнены часовые и трехсуточные измерения (рис.2) на 91 и 5 точках соответственно [1] при сопоставлении с постоянно действующей станцией ALBT1, расположенной в университетском корпусе на ул. Университет-

ская, 2 (используемые сейсмостанции – «УГРА» с трехкомпонентными приемниками СМ-3, производство НПП «Геотех»).

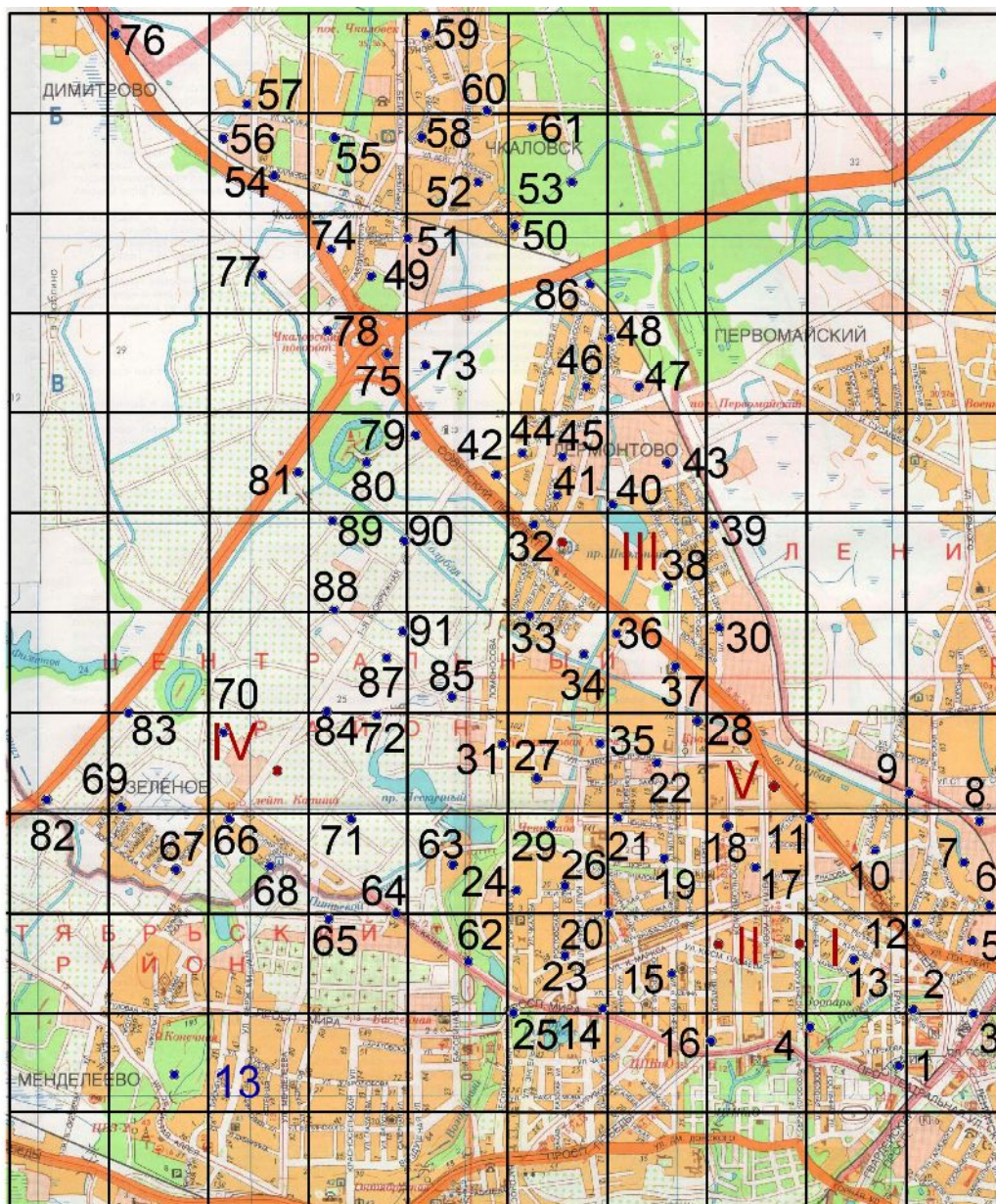


Рис.2. Схема расположения точек записей сейсмостанции. Черным подписаны места размещения часовых записей, красным – трехсуточные, синим – точки размещения сейсмостанций при работах ИФЗ РАН.

Исходная модель размещения точек записей сейсмостанции - сетка со сторонами квадратов 600 м. Этому критерию придерживались на протяжении всего выполнения работ, однако размещение зданий, сооружений и промышленных зон внесло свои коррективы. Кроме того, места записи станций выбирались на открытых пространствах (для работы GPS-

антенны), на твердой ровной поверхности и наименее антропогенно измененные при прочих равных условиях. Итоговое распределение точек записи практически покрыло всю площадь Центрального района Калининграда. На территории района (в северной части) расположен военный аэродром (рис.1, слева). Однако во время часовых записей не было отмечено событий, вызвавших значительных техногенных шумов (взлет и посадка самолетов и т.п.). Помимо того, здесь расположены оживленные магистрали со значительной транспортной нагрузкой – Советский проспект и Окружная автодорога.

Техногенная нагрузка в промышленных и социально-экономически развитых городах является неотъемлемой компонентой микросейсмического поля наряду с влиянием ветров, перепадом атмосферного давления, штормов в океане и т.д. [8]. С учетом разрешающей способности аппаратуры (частотный диапазон начиная с 0.6 Гц) влияние Балтийского моря и Атлантического океана оценивать нерационально, в то время как качественное оценивание влияния городской инфраструктуры вполне уместно. На рис. 3 приведены спектральные характеристики микросейсм, полученных для записей сейсмостанции в дневное и ночное время. По рисунку следует отметить многократное усиление микросейсмических воздействий, вызванных жизнедеятельности города.

Для первичного анализа и уточнения методологии был выбран самый северный участок Центрального района, захватывающий территорию поселка Чкаловск и прилегающие районы (рис.1, справа). Суть использованной в обработке методики Накамура (H/V spectral ratio technique) заключается в расчете отношений спектральных амплитуд, полученных в горизонтальной плоскости, к соответствующим амплитудам на спектре вертикальных колебаний [9].

С учетом частотной характеристики используемых маятников - сейсмодатчиков и регистрирующей аппаратуры «УГРА» при расчетах бы-

ли выбраны экспериментальные сигналы в полосе от 0.6 до 10 Гц, которые надежно обеспечены необходимой достоверностью и надежностью регистрации [2].

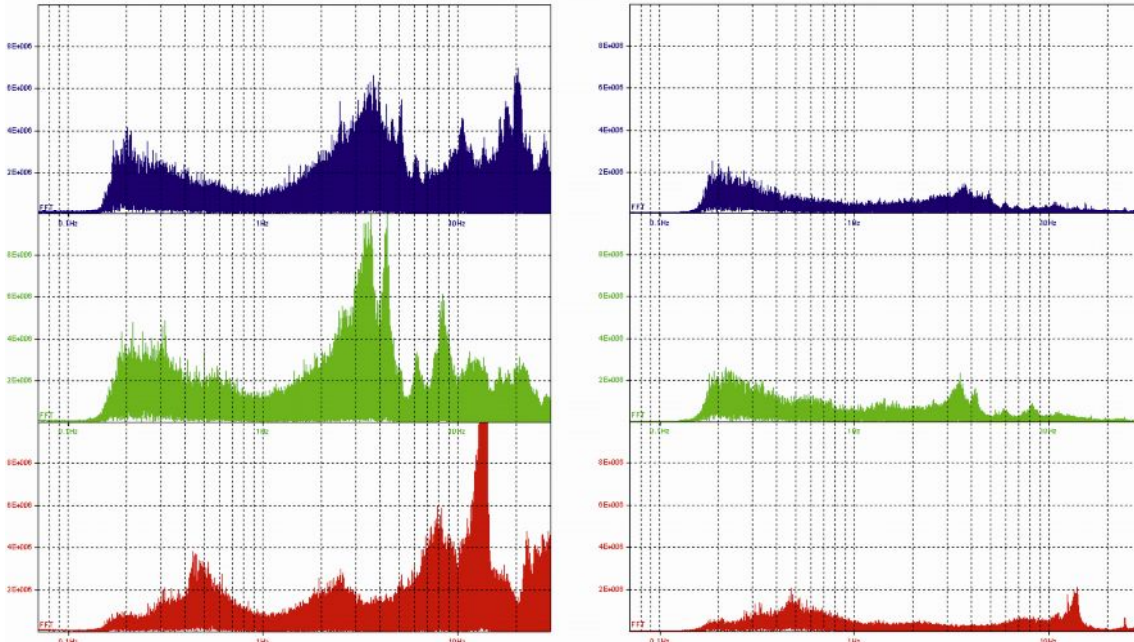


Рис. 3. Образцы спектральных характеристик (быстрое преобразование Фурье) микросейсмических колебания от природных (частоты до 4 Гц) и техногенных (частоты свыше 4 Гц) источников в дневное (слева) и ночное время (справа).

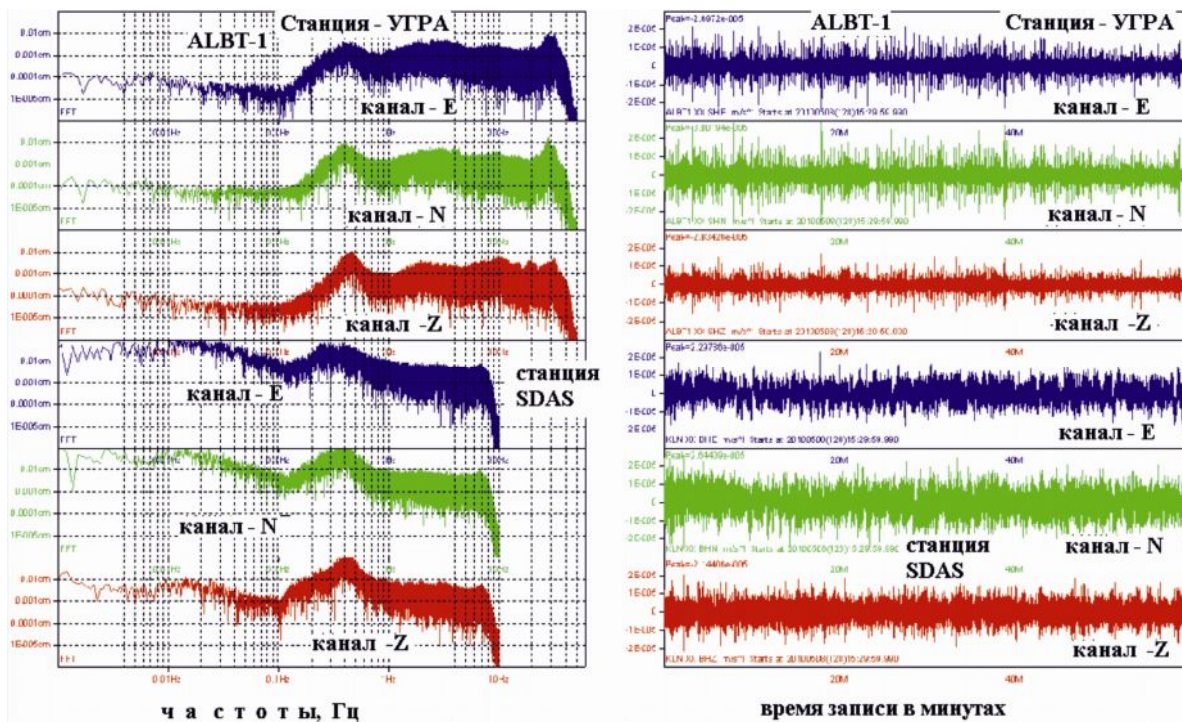


Рис. 4. Сравнение спектральных характеристик записей микросейсмических колебаний сейсмостанциями “Угра” (первые три полосы сверху) и “SDAS” (первые три полосы снизу) за один и тот же период времени (слева). Справа показаны использованные сейсмограммы.

На рис. 4 представлено соотношение спектральных характеристик широкополосной станции “SDAS” (станция KLNР сети ГС РАН) и “Угры”. Исходя из представленных данных, “SDAS” не фиксирует события, начиная с частоты около 10 Гц, однако нижний предел на порядок отличается от аналогичного параметра “Угры”.

По сейсмограммам в ПК DIMAS для 22 часовых записей были построены графики Накамура (пример на рис.5, масштаб по оси абсцисс логарифмический). Здесь ярко выражены два максимума, обозначенных цифрами «2» и «3» на рисунке. Вне рассмотрения осталось еще одно пиковое значение (условно «1»), которое характеризует деятельность в случае Калининградской области Атлантического океана.

Согласно Т.Б. Яновской [8] периоды, связанные с циклонической деятельностью в океане, характеризуются значениями 5-7 с, а связанные с вариациями атмосферного давления и т.п. – более 30 с. Однако разрешающая способность станции “Угра” не позволяет идентифицировать с необходимой точностью вышеупомянутые волны.

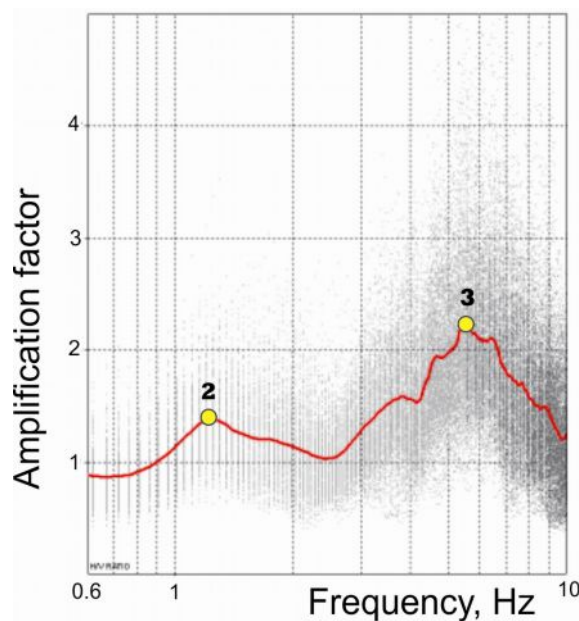


Рис. 5. Образец графика Накамура, рассчитанный для записи сейсмостанции на 51 точке. Цифрами обозначены номера пиков.

Экстремум, обозначенный на рисунке цифрой 2, связан с активностью Балтийского моря, в то время как пиковое значение под цифрой 3 связано с локальными источниками микросейсм. Кроме характеристик источника данные экстремумы несут информацию о грунтовых условиях под станцией, в частности о глубинах границ, на которых сейсмическая волна претерпевает значительные изменения (глубины инженерных фундаментов разных порядков). Далее приводится пример обработки данных для первого максимума полученных графиков (обозначен цифрой 2 на рисунке).

Для экстремумов, расположенных в частотном диапазоне 0.6 - 2 Гц (второй от поверхности максимум, он характеризует слои с глубиной 30-200м), определялись частота F_g (predominant frequency) и коэффициент усиливаемости A_g (amplification factor) [6]. На следующем этапе по формуле, используемой в работе [10], определялась глубина залегания слоя от поверхности, повлиявшего на данное поведение графика:

$$H = \frac{V_{sf}}{4Af},$$

где V_{sf} - скорость поперечных волн в толще технического фундамента, равная 600 м/с; A - коэффициент усиления по графикам Накамура, f - здесь частота второго резонанса.

Средняя абсолютная высота района исследований 31м (Балтийская система высот 1977 года), и для приведения полученных данных к сравнению с картой дочетвертичного рельефа (автор А.В. Загородных) указанное значение вычли из полученных результатов глубин. Полученные результаты отражены в табл.1.

Для показа пространственного распределения параметров, отраженных в таблице были построены схемы, приведенные на рис.6. На рис. 6 показано распределение основных используемых в работе параметров. Стоит

отметить, несмотря на то, что частота измеряется в герцах, величины коэффициента усиления и индекса уязвимости - безразмерные величины.

Таблица 1

Преобладающие частоты (F_g), коэффициент усиления (A_g), индекс уязвимости и приведенные глубины инженерного фундамента (H_{priv}), определенные по графикам Накамура исследуемого района.

№	B (° ' с.ш.)	L (° ' в.д.)	F_g	A_g	K_g	H_{priv}
46	54°45'23,6"	20°27'48,9"	0,80	1,50	0,43	94,00
47	54°45'23'	20°28'06,8"	0,80	1,75	0,37	76,14
48	54°45'33,1"	20°27'56,6"	0,80	1,75	0,37	76,14
49	54°45'43,3"	20°26'38,5"	1,50	1,20	1,88	52,33
50	54°45'53,7"	20°27'26,3"	1,60	1,10	2,33	54,23
51	54°45'51,9"	20°26'50,6"	1,30	1,40	1,21	51,42
52	54°46'02,6"	20°27'11,7"	1,25	1,40	1,12	54,71
53	54°46'03,6"	20°27'48,8"	1,30	1,35	1,25	54,47
54	54°46'03,4"	20°26'02,2"	1,40	1,65	1,19	33,94
55	54°46'10,8"	20°26'23,7"	1,50	1,20	1,88	52,33
56	54°46'10,6"	20°25'46,0"	1,60	1,35	1,14	38,44
57	54°46'17,3"	20°26'04,8"	1,60	1,40	1,23	35,96
58	54°46'11,3"	20°26'51,2"	1,80	1,40	1,09	28,52
59	54°46'31,3"	20°26'51,8"	1,60	1,05	0,69	58,29
60	54°46'16,6"	20°27'13,9"	2,00	2,40	2,88	0,25
61	54°46'14,1"	20°27'26,1"	1,75	1,45	1,20	28,11
73	54°45'28,2"	20°26'57,8"	1,50	1,20	0,96	52,33
75	54°45'27,6"	20°26'41,9"	1,00	1,20	1,44	94,00
76	54°46'32,7"	20°25'05,6"	1,55	1,35	1,18	40,68
77	54°45'44,9"	20°26'00,1"	1,60	1,65	1,70	25,82
78	54°45'32,4"	20°26'23,5"	1,60	1,30	1,06	41,12
86	54°45'42,3"	20°27'48,9"	1,25	0,85	0,58	110,18

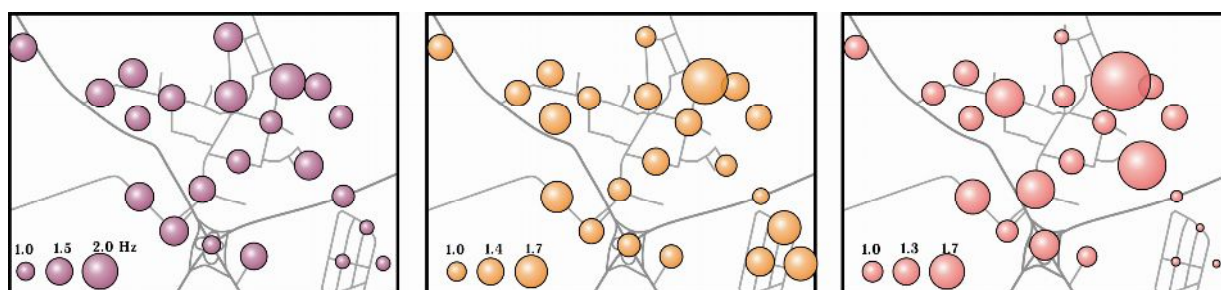


Рис. 6. Пространственное распределение преобладающих частот (слева), коэффициента усиления (в центре) и индекса уязвимости (справа). Легенда каждого из рисунков приведена в левом нижнем углу.

Из дальнейшего рассмотрения были исключены следующие точки: 73 и 86, где, по-видимому, сказалось влияние нахождения на окружной дороге Калининграда, точки 76 (близость к пересечению автомобильной и железной дороги) и 60 (отсутствует ярко выраженный максимум в рассматриваемом диапазоне 0.6-2 Гц).

Впоследствии полученные данные (приведенные глубины инженерного фундамента) проинтерполированы в Vertical Mapper - приложении MapInfo Professional 10.0 методом Natural Neighbour. В упомянутой среде было выполнено построение 3D-модели поверхности инженерного фундамента (рис.7). Модель может быть использована для различных исследований в областях геоэкологии, строительства и др. или в качестве составной части модели разреза с полным набором слоев.

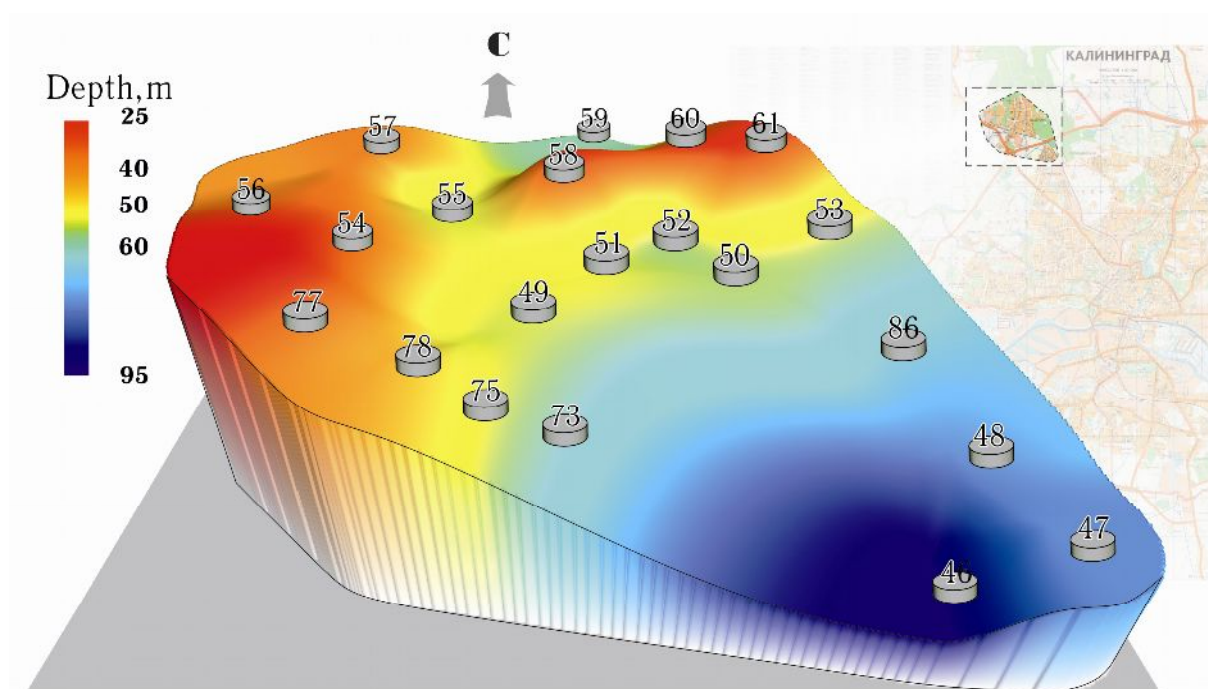


Рис. 7. 3D-модель поверхности инженерного фундамента. В правом верхнем углу на карте Калининграда отмечен исследуемый район. Цифрами показаны номера сейсмостанций, спроектированных на поверхность фундамента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты были сопоставлены с картой дочетвертичного рельефа (автор А.В. Загородных). На рис.8 коричневыми показаны изогипсы поверхности дочетвертичного рельефа относительно современных отметок (современных систем высот). Особенную важность в работе А.В. Загородных представляют так называемые “палеоврезы” - участки, на которых располагались водотоки (ручьи, реки). В местах размещения палеоврезов (на рис.8 показан синей линией в нижнем левом углу) предполагается перемежаемость устойчивых моренных и речных (слабых в инженерном отношении) осадков, что, несомненно, является важным фактором при проектировании и строительстве.

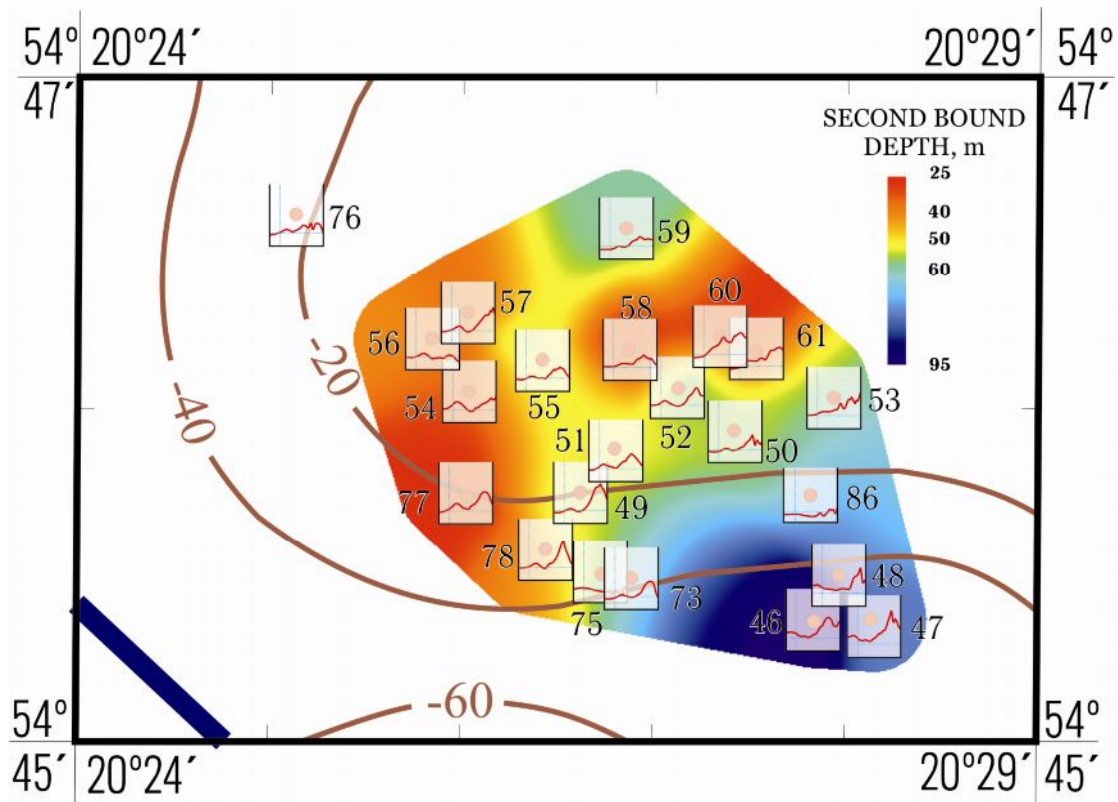


Рис. 8. Глубины второй от поверхности границы, существенно влияющей на скорость поперечных волн, и графики Накамура для каждой точки наблюдений на карте дочетвертичного рельефа. На графиках синим отмечено пересечение $F_g=1$ Гц и $A_g=1$, по шкале абсцисс (частоты) масштаб логарифмический. В левом нижнем углу показан палеоврез.

При сравнении полученных материалов отмечается достаточная сходимость данных, участок, ограниченный точками 47, 51, 53 и 75 (южная

часть поселка Чкаловск и северная часть поселка Лермонтовский) отвечает общему уровню и характеру понижения рельефа, однако абсолютные значения в значительной мере отличаются. Возможно при геологических работах использовались различные с сейсмологическими понятия и трактования, однако это наряду с подтверждением существования в современном геологическом строении палеоврезов (рис.8) является предметом последующих исследований.

ВЫВОДЫ

В ходе работ были выявлены и подтверждены следующие особенности микросейсмического поля в Калининграде: суточная периодичность нарастания и затухания микросейсм; распределение по территории города преобладающих частот и коэффициента усиления входящего сигнала; пространственное распределение глубин залегания поверхности инженерного фундамента, определенных по записям микросейсм.

Проведенная обработка части фактического материала, накопленная авторами за 2009-2011 гг., обозначила методику последующего анализа полученных данных. Полученные результаты демонстрируют достаточную сходимость с опубликованными данными исследований региона и территории города в частности. Вместе с тем исследование оставляет ряд вопросов относительно корреляции данных сейсмологических и геологических изысканий, решение которых составляет перспективную задачу рассматриваемого исследования.

Обработка экспериментального материала была выполнена с использованием программы DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms) и специального приложения расчета спектральных отношений H/V для обработки данных одиночных сейсмологических станций по методу Накамуры, разработанных Д.В. Дрозниным (Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский), которому авторы выражают искреннюю признательность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Котельников К.А., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Рекогносцировочные работы по сейсмическому микрорайонированию города Калининграда методом Накамура // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. - Випуск 73. Будівництво в сейсмічних районах України – Київ, ДП НДІБК, 2010. – с. 356-363.
2. Аносов Г.И., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я., Дробиз М.В., Котельников К.А. Обоснование методики сейсмического микрорайонирования Калининграда методом Накамура // География и геоэкология Калининградского региона: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Орленка. – Калининград: Изд-во БФУ им. И.Канта, 2011. - с. 98-105
3. Географический атлас Калининградской области/ Гл.ред. Орленок В.В.. – Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
4. Орленок В.В., Аносов Г.И., Дробиз М.В. О возможной по геофизическим данным реактивации тектонической структуры Балтийской синеклизы в новейшее время // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2011. Т.1 – с. 79- 83
5. Сейсмическое микрорайонирование территории города Калининграда. 2-й этап: «Комплексные сейсмологические и сеймотектонические исследования для оценки сейсмической опасности территории г. Калининграда в 2008 году». ИФЗ РАН, 2008.
6. Сотников Д.С., Дробиз М.В., Котельников К.А. Рекогносцировочные работы по сейсмическому микрорайонированию Калининграда методом Накамура // Дни науки-2010. Вып.6: Естественные науки: матер.науч.-практ.конф.студ. и асп. – Калининград: Изд-во РГУ им.И.Канта, 2010. - с.82-89
7. Тезисы докладов на 1-й Международной конференции «Актуальные вопросы мониторинга геологической среды и безопасности урбанизированных территорий». Изд-во БФУ им.И.Канта. - Калининград, 2011. 210 с.
8. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии: Учеб.пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербур.ун-та, 2008. 260с.
9. Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface / Nakamura Y. // Quarterly Report of RTRI, Railway Technical Research Institute (RTRI), 1989, Vol. 30, No.1
10. Jun Saita, Maria Leonila P. Bautista, Yutaka Nakamura ON RELATIONSHIP BETWEEN THE ESTIMATED STRONG MOTION CHARACTERISTICS OF SURFACE LAYER AND THE EARTHQUAKE DAMAGE - CASE STUDY AT INTRAMUROS, METRO MANILA // Proceedings of the thirteen world conference on earthquake engineering, Vancouver, B.C., Canada, 2004. – URL: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/thirteenth_conf_Canada (дата обращения 14.11.2011)

THE MICROSEISMIC FIELD FEATURES
IN CENTRAL DISTRICT OF KALININGRAD

Drobiz M.V., Sotnikov D.S., Chugaevich V.Y.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Scientific adviser Anosov G.I.,

After the September 21, 2004 earthquake in the Kaliningrad region the scientific interest has arisen to study the seismic picture of the region. The issue of microseismic effects in areas with developed industrial complex must be at a decent place. Research conducted by authors' team in 2009-2011, were aimed to evaluate the parameters of microseismic noise to the actual noise estimate (at the impact on buildings, structures or residents) and to enhance the signal processing seismic records in the city of Kaliningrad. These features are the daily periodicity of growth and decay of the microseismic influence, the distribution on the territory of the dominant frequency and the amplification factor of the incoming signal, the spatial distribution of depths surface engineering foundation identified from records of microseismic records.