

УДК 550.343.4:624.131.1

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОГРУНТОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ГРУНТОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ГОРОДА ТАШКЕНТА**

Р.Б. Тешаева, Н.Ф. Исламова, А.Б.Авазов

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г.Ташкент, Республика Узбекистан

E-mail: [teshaeva.ruhsora.93@bk.ru](mailto:teshaeva.ruhsora.93@bk.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты полевых исследований, проводимых на территориях распространённые различных типов грунтов. Оценено влияния грунтовых условий на параметры сейсмической интенсивности на основе сейсморазведочных, ультразвуковых, сейсмометрических и инженерно-геологических методами с использованием сейсмогрунтовых моделей. Получены Расчеты значений пиковых ускорений свободной поверхности в моделях с использованием программы «STRATA».

**Ключевые слова:** пиковое ускорение грунта, инженерно-геологические условия, плотность, сейсмический модель, категория грунта, акселерограмма.

**Введение:** Для решения градостроительных вопросов, в частности разработки генерального плана развития г. Ташкента были проведения научных исследований по разработке карты сейсмического микрорайонирования. В 1984 году для перспективных границ города на основании комплексных инженерно-геологических, сейсмологических, сейсмотектонических, геофизических и инструментальных исследований была составлена карта СМР в масштабе 1:25000, где выделены 8 и 9 балльные зоны. В дальнейшем, в связи с увеличением территории города в 2011 году были проведены дополнительные исследования в северо-восточной и юго-западной частях города и составлена карта СМР с учетом перспективных границ. Выделенные 8 и 9 балльные зоны согласуются с инженерно-геологическими условиями территории города. На территориях города осуществлялись много сильные и разрушительные землетрясения. Многие из сильных землетрясений приводят к многочисленным жертвам среди людей, наносят огромный ущерб инфраструктуре городов и причиняют вред различным инженерным сооружениям, меняют внешний вид горных массивов, пробуждают вулканы, создают огромные цунами, которые не менее разрушительны, чем сами землетрясения и т.д. Очень важно оценить сейсмичность строительных площадок для обеспечения безопасности населения.

Существует раздел инженерной сейсмологии, изучающий влияние грунтовых условий на параметры сейсмических колебаний сильных землетрясений. Сейсмические колебания, возникающие при сильных землетрясениях, в различных грунтах и горных породах имеют различные параметры и характеристики. К примеру, в лессовых грунтах скорость сейсмических волн ниже, чем в скальных породах. Территория города Ташкента страны имеет некоторые специфические особенности. Большое распространение имеют лессовые грунты (более 60 м.), супеси, песчаники, галечники, в которых сейсмические волны распространяются по-разному, имеют различные скорости прохождения, различные частоты, ускорения и т.д. [4]. Поэтому очень важно активизировать научные исследования в данной области.

Основным понятием, определяющим особенности инженерно-сейсмологических изысканий, является модель сейсмогрунтовых условий. К этому понятию относятся все локальные особенности геологической обстановки, определяющие специфику сейсмических воздействий, их амплитуду и спектральный состав. В самом общем виде модель сейсмогрунтовых условий определяется набором параметров скоростью поперечных волн, плотностью, мощностью и нелинейности – каждого слоя, входящего в

грунтовую толщу определенной мощности [1]. Без учета мощности грунтовой толщи нельзя адекватно рассчитать резонансные эффекты и понять, почему тонкий слой (менее 0.1 длинные волны) не влияет на сейсмическое поле. Хотя самая верхняя часть разреза может быть благоприятной в сейсмическом смысле - за счет повышенной сейсмической жесткости, это еще не гарантирует сейсмическую безопасность территории, поскольку при наличии необходимых условий могут возникать резонансные эффекты. Описанная ситуация имела место при Спитакском землетрясении на территории г. Ленинакан, где лежащие на дневной поверхности жесткие эффузивные породы подстилались более рыхлыми толщами озерных глин, суглинков и песков. [2]. Изучения мировых литератур показали, что в диапазоне низких частот  $f < 2$  Гц имело место заметное резонансное увеличение амплитуды колебаний, приведшее к разрушениям высоких каркасно-панельных зданий.

**Методика исследования.** Предлагаемый метод - моделирование сейсмогрунтовых условий для оценки сейсмичности строительных площадок, в котором изучаются реальные инженерно-геологические и геофизические показатели грунтов, определение влияния грунтовых условий на параметры сейсмических колебаний при реальных воздействиях сильных землетрясений.

Алгоритм действий при решении задач, связанных с разработкой сейсмогрунтовых моделей, делится на 3 этапа. (рис.1)

- 1.этап. Сбор и систематизация материалов.
- 2.этап. Анализ данных и обработка материалов различными программами.
- 3.этап. Обобщение результатов.

Исследование свойств различных отложений производится методами сейсморазведки КМПВ, MASW, а также георадиолокационной с'емкой. Для проведения полевых сейсморазведочных работ исследований с КМПВ осуществляется искусственное возбуждение упругих волн импульсным источником кувалдой весом 8 кг и регистрацией по схеме X-X горизонтальными приемниками 4.5 Гц. Шаг между приемниками – 5 м. Методика MASW состоит из регистрации упругих волн вертикальными приемниками 4.5 Гц по схеме Z-Z. При проведении георадиолокационной с'емки используются антенна 90 МГц, с шагом измерений 100 мм [3].

**Обсуждение и результаты.** Согласно карте общего сейсмического районирования территории Республики Узбекистан (ОСР-2017) г. Ташкент и прилегающую территории относятся к 8-балльным зонам сейсмической активности [8]. Территория города Ташкента в последнее время сконцентрированы строению многих промышленных, жилых и высотных здания и сооружения, и приходится увеличить количество информации о влиянии различных грунтовых условий на параметры сейсмических колебаний. Полученные результаты помогут решить ряд вопросов, связанных со строительством зданий и сооружений в сейсмически опасных районах г. Ташкент, на основании карт сейсмического микрорайонирования.



Рисунок 1- Алгоритм действий разработки сейсмогрунтовых моделей

Город Ташкент почти повсеместно покрыт четвертичными отложениями и лишь в северной части на дневную поверхность выходят отложения неогенового возраста. Более древние палеозойские, мезозойские и раннекайнозойские образования залегают на довольно больших глубинах [5]. Так, палеогеновые зеленовато-серые глины вскрываются структурно-картировочными скважинами на глубинах от 880 м (на территории Чинабадской санатории, в северной части города) до 2210 м (в долине р. Чирчика). в связи с этим особенности геологического строения верхней части разреза, сложенной отложениями новейшего структурного этажа, и закономерности его пространственной изменчивости имеют важное инженерно - геологическое значение.

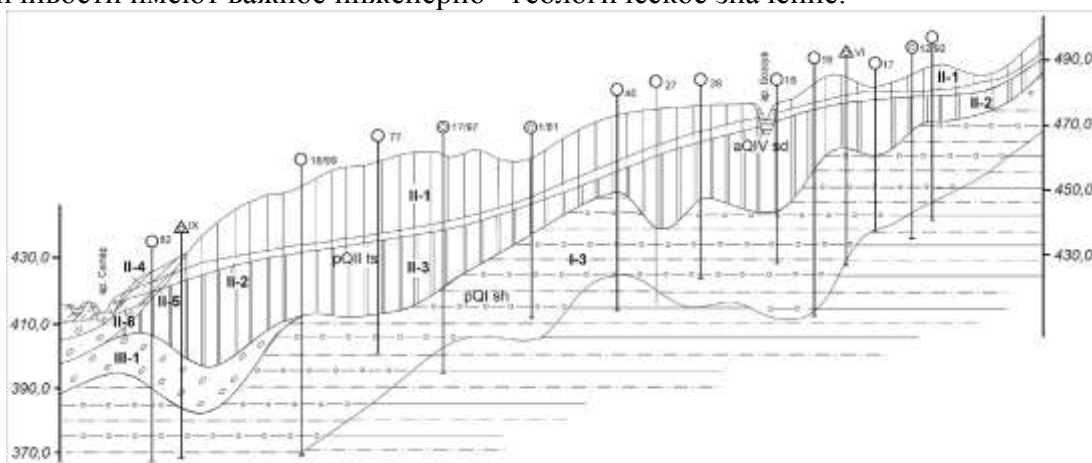


Рис.2. Схема продольного геолого-литологического разреза г.Ташкента

**Четвертичная система (Q).** Четвертичные отложения на территории города перекрывают неровные поверхности неогеновых моласс сплошным покровом и залегают в нормальной стратиграфической последовательности (рисунок 2).

В пределах города выделено четыре возрастных комплекса четвертичных отложений: 1) сохский, соответствующий нижнему отделу ( $Q_1$  sh); 2) ташкентский -

среднему ( $Q_{II ts}$ ); 3) голодностепский-верхнему ( $Q_{III gl}$ ) и 4) сырдарьинский современному ( $Q_{IVsd}$ ) [6].

В генетическом отношении выделенные комплексы представлены аллювиальными, пролювиальными, аллювиально-пролювиальными и антропогенными (связанными со строительно-хозяйственной деятельностью человека) типами.

Исходя из инженерно-геологических условий города, были подготовлены модели на различных типах грунта, и по ним рассмотрено изменение сейсмических свойств в полупространстве.

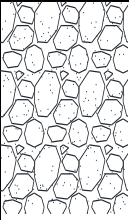
Первая модель была выбрана на участке строительства многофункционального торгового комплекса ул. Кушкуприк, в Мирабадского района г. Ташкента. В геологическом строении участка принимают участие четвертичные аллювиальные отложения Сырдарьинского комплекса ( $aQ_{4sd}$ ).

В геолого-литологическом отношении на глубину до 30,0м участок сложен крупнообломочными грунтами, перекрытых насыпными грунтами.

Крупнообломочные грунты - представлены галечниками с песчаным заполнителем, с включением гравия и валунов, вскрытой мощностью 12,5-27,5м. Плотность галечников составляет  $1.95 \text{ т/м}^3$ .

С поверхности крупнообломочные грунты, перекрыты насыпными грунтами, представленные суглинками нарушенной структуры с включением бытового и строительного мусора. Согласно полученным результатам, скорости  $V_{s30}$  для всей площадки 978 м/с. Территорию исследуемой площади скорости распространения поперечных волн лежат в пределах 700-1000 м/с.

Модель строительной площадки ул. Кушкуприк

Слой	Условные обозначения	Описания литологического состава грунтов	Мощность слоя (м)	Плотность грунта ( $\text{г/см}^3$ )	Скорость поперечной волны (м/с)	$V_{s30}$	PGA		
							7 балльная зона Исходная PGA= 0,17g	8 балльная зона Исходная PGA= 0,24g	9 балльная зона Исходная PGA= 0,32g
1		Галечники с песчаным заполнителем, с включением гравия и валунов	30	1.94	987	987	0.198817	0.26347231	0.456902

Участок изысканий расположен в северо-восточной части г.Ташкента, по ул. Олимлар в Мирзо-Улугбекском районе, г. Ташкента.

В геоморфологическом отношении участок приурочен к поверхности четвертой надпойменной террасы реки Чирчик, сложенной пролювиальными отложениями ташкентского комплекса.

В литологическом отношении на глубину до 20,0 м участок сложен глинистыми и крупнообломочными грунтами. Глинистые грунты залегают до глубины 19,0-20,0м и представлены лессовидными суглинками коричневого цвета, макропористыми, маловлажными и влажными. Ниже залегают крупнообломочные грунты представленные галечниками с песчаным заполнителем вскрытой мощностью 0,9-1,0м. С поверхности глинистые грунты, перекрыты насыпными грунтами - мощностью 1,2-4,5м, представленные суглинками нарушенной структуры с включением бытового и строительного мусора. Скорости распространения поперечных волн лежат в пределах 200-710 м/с, скорость  $V_{s30}$  для всей площадки 381,93 м/с.

Модель строительной площадки по улице Олимлар

№	Условные	Описания	Мощность	Плотность	Скорость	$V_{s30}$	PGA
---	----------	----------	----------	-----------	----------	-----------	-----

	обозначения	литологического состава грунтов	слоя (м)	грунта (г/см <sup>3</sup> )	поперечной волны (м/с)		7 балльная зона	8 балльная зона	9 балльная зона
							Исходная PGA=0,17g	Исходная PGA=0,24g	Исходная PGA=0,32g
1		Лессовидные суглинки маловлажные,	10,1	1,69	245	381,93	0.455218	0.4951325	0.796110883
2		Лессовидные суглинки водонасыщенные	9,2	1,95	415				
3		Галечниковые отложения с песчаным заполнителем с включением валун	16,0	1,95	706				

Следующий модель был выбран на участке строительства многофункционального комплекса “Tashkent central park” в городе Ташкент. В геологическом отношении, на разведанную 50,0 м глубину, сложен толщей лессовидных суглинков, коричневого цвета от рыхлого до плотного сложения, от маловлажного до водонасыщенного состояния, от твердой до текучей консистенции. На глубине 31,0-34,0м ниже залегают крупнообломочные грунты, представленные галечниковыми отложениями. Лессовидные суглинки коричневого цвета, макропористыми, маловлажного и влажного состояния, от твердой до мягкопластичной консистенции, просадочными, в основном, при дополнительных нагрузках. Мощность элемента 15,4-18,0м. лессовидные суглинки с редкими прослоями супесей коричневого цвета, макропористые, водонасыщенные, от тугопластичных до текучих консистенций, залегающие ниже уровня подземных вод и в зоне капиллярного поднятия. Мощность элемента от 24,3 до 26,4м. Плотность сухого грунта изменяется от 1,48 до 1,69 т/м. Крупнообломочный грунт представлен галечниками серого цвета, влажными. Галька хорошо окатанная, состоящая из изверженных и осадочных пород. Заполнитель песчаный, содержание которого в общей массе составляет до 27,5%. Расчётное сопротивление галечников  $R_0 = 600$  кПа (6,0 кгс/см<sup>2</sup>). Вскрытая мощность элемента – от 4,8 до 18,0 м. По архивным данным мощность галечниковых грунтов более 20,0м. Скорости распространения поперечных волн изменяется в диапазоне 300-660 м/с, скорость Vs30 для всей площадки 368,04 м/с.

Модель площадки на территории центрального парка

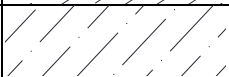
Слой	Условные обозначения	Описания литологического состава грунтов	Мощность слоя (м)	Плотность грунта (г/см <sup>3</sup> )	Скорость поперечной волны (м/с)	Vs30	PGA		
							7 балльная зона Исходная PGA= 0,17g	8 балльная зона Исходная PGA= 0,24g	9 балльная зона Исходная PGA= 0,32g
1		Лессовидные суглинки	18	1.65	340	368,04	368,04	0.3881	0.430843
2		Лессовидные суглинки песчаным заполнителем	26,4	1.96	420				
3		Галечник	18,4	1.95	657				

Модель строительной площадки расположен по проспекту Бунёдкор в Чиланзарском районе г. Ташкента В геоморфологическом отношении участок приурочен к поверхности четвертой надпойменной террасы реки Чирчик.

В геологическом строении участка принимают участие четвертичные пролювиальные отложения Ташкентского комплекса (pQ2ts). В литологическом отношении на глубину до 22,0 м участок сложен толщей глинистых грунтов, представленных лессовидными суглинками и супесями, от маловлажного до водонасыщенного состояния. С поверхности залегают насыпные грунты, представленные суглинками нарушенной структуры с включением строительного и бытового мусора, мощностью 3,3 м.

Лессовидные суглинки и супеси, залегающие выше уровня подземных вод, коричневого цвета, макропористые, от маловлажного до влажного состояния, от твердой до тугопластичной консистенции, просадочные при природном давлении. Мощность элемента 9,2-14,2 м. Лессовидные суглинки и супеси, залегающие ниже уровня подземных вод и в зоне капиллярного поднятия, коричневого цвета, макропористые, водонасыщенного состояния, от тугопластичной до мягкопластичной консистенции для суглинков и пластичных для супесей. Вскрытая мощность элемента 2,0-7,0 м. Скорости распространения поперечных волн изменяется в диапазоне 190-1120 м/с, скорость Vs30 для всей площадки 443,82 м/с.

Модель строительной площадки по проспекту Бунёдкор

Слой	Условные обозначения	Описания литологического состава грунтов	Мощность слоя (м)	Плотность грунта (г/см <sup>3</sup> )	Скорость поперечной волны (м/с)	Vs30	PGA		
							7 балльная зона Исходная PGA= 0,17g	8 балльная зона Исходная PGA= 0,24g	9 балльная зона Исходная PGA= 0,32g
1		Насыпные грунты	3,3	1,48	190	443,82	0.40496764	0.43221	0.706543
2		Лессовидные суглинки и супеси	14,2	1,72	420				
3		Супеси плотные	7	1.79	610				
4		Каменный лесс	6,5	2.1	1113				

**Вывод.** Изучение реакции грунтовых толщ на сейсмические колебания (в пиковых ускорениях PGA) при заданных сейсмических воздействиях с использованием программы STRATA помогает расчленять территории с разными пиковыми ускорениями частиц грунта, учитывая сейсмологические, инженерно-геологические условия территории городов. На основании смоделированных графиков PGA и приращений сейсмической балльности, оценивается сейсмичность строительных площадок не только в макросейсмических показателях, но и в инженерных параметрах. Из полученных моделей можно сказать, что, литологический состав особо влияет на пиковое ускорение грунта. Симуляция 7 балльной землетрясения с исходным воздействием 0,17 g, показывает, что, в районах распространение крупнообломочных грунтов пиковое ускорение грунта на поверхности площадки составляет 0,19 g, это говорит, что по макросейсмическим показателям территория не изменяет свой показатель балльности. В лессовых грунтах от зависимости обводненности и плотности грунта, поверхностное значение пикового грунта

изменяется от 0,38 g до 0,45 g при исходным воздействии 0,17 g, который приводит добавлению +1 баллов к исходному сейсмическому интенсивности.

**Литература**

1. Алешин А.С. Макросейсмические основы сейсмического микрорайонирования// Вопросы инженерной сейсмологии. 2011. Вып. 38 №4. С 15-28.
2. Алешин А.С., Аникин О.П., Погребченко В.В. Связь инженерно-геологических и сейсмических характеристик грунтов: обоснование и перспективы использования. «Сейсмические технологии-2017» материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. с. 231-234.
3. Бозоров Ж., Мансуров А., Рўзимбоев Ф., Тешаева Р. К вопросу о влиянии лессовых грунтов на сейсмическую интенсивность строительной площадки // Ўз МУ Хабарномаси №3/2 тираж. 152-156 ст.
4. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367с.
5. Исмаилов В.А. Инженерно-геологические условия подземного пространства г.Ташкента. – Ташкент: ТГТУ, 2015. – 158с.
6. Худайбергенов А.М. Инженерная геология городов правобережья р.Чирчик// – Ташкент: Фан, 1980. – 192 с.
7. Методика оценки сейсмических воздействий// В.кн.: Задание сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Наука, 193. Вып. 34. 155с.
8. Vakhitkhan Alikhanovich Ismailov, Sharofiddin Ismatullayevich Yodgorov, Sherzod Botirovich Allayev, Timur Umarjonovich Mamarozikov, Shukhrat Bakhtiyorovich Avazov, Seismic microzoning of the Tashkent territory based on calculation methods, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 152, 2022, 107045, doi:[10.1016/j.soildyn.2021.107045](https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.107045)