

УДК 550.3

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)

Павлова В.Ю.¹, Акбашев Р.Р.², Бубнов А.Б.³, Василюк И.Н.³

¹Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, verpavlova88@gmail.com

²Камчатский филиал геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, arr@emsd.ru

³Общество с ограниченной ответственностью «ИНЖГЕОКАМ», inggeokam@mail.ru

Введение

В сфере строительства очень важно изучение и полный анализ геологических условий строительной площадки. Детальное исследование на начальном этапе поможет в дальнейшем избежать неравномерной осадки зданий и сооружений, повреждений и разрушений инженерных сетей, необратимые деформации и их полный выход из строя. Изучение всех особенностей геологии территории как основания инженерного сооружения производится в ходе инженерно-геологических изысканий. От полноты и качества таких работ зависит достоверность оценки взаимного влияния здания и его основания, выполнение наиболее экономичного проектирования и последующее строительство. По результатам работ определяются наилучшие и наиболее оптимальные тип и глубина заложения фундамента. В связи с этим в инженерно-геологические изыскания стали широко внедряться геофизические методы исследования, среди которых методы георадиолокации, сейсморазведки и электроразведки. Многоснежность, заболоченность, промерзание почвы, высокая сейсмичность – одни из особенностей Камчатского края. Это определяет важность точного исследования геологических условий строительных площадок для обеспечения безопасности при дальнейшем проектировании инфраструктуры.

Методика исследований

Достоинством метода георадиолокации¹ является универсальность, позволяющая использовать георадары² для решения разного рода задач. Для проведения работ использовали георадар «ОКО-250». Данный прибор помогает проводить инженерно-геологические изыскания, не нарушая целостность поверхности, обеспечивает мобильность и высокую скорость проведения работ, требует минимального количества обслуживающего персонала, характеризуется картографированием неоднородностей в режиме «реального времени», а также возможностью точного определения глубины залегания картируемых границ. Преимущества метода георадиолокации в том, что на протяженных участках получают непрерывные данные по геологическому строению и определению влажности грунтов в их естественном залегании [4]. В России метод георадиолокации активно применяется в сфере строительства, а также успешно используется для картирования кровли коренных пород, нарушенных в результате тектонических движений [3].

Широкое применение сейсморазведочных методов исследований на участках строительства в Камчатском крае, определяется тем, что регион характеризуется высокой сейсмической опасностью.

В соответствии с нормативным документом СП 14.13330.2018, в котором опубликованы карты общего сейсмического районирования ОСР-2015, для Камчатского края определены 7-ми, 8-ми, 9-ми и 10-ти балльные зоны сейсмической опасности. Исходный уровень сейсмической опасности по картам ОСР-2015 определяется исходя из территориального расположения площадки строительства и уровня ее ответственности, который задается на начальном этапе проектирования сооружения, в соответствии с нормативными документами. Значения сейсмической опасности, показанные на комплектах карт ОСР-2015, рассчитаны относительно средних (по сейсмическим

¹ **Метод георадиолокации** (англ. Ground-penetrating radar, GPR) как метод геофизического обследования основан на излучении широкополосного сигнала радиочастотного диапазона в толщу среды и регистрации отклика – сигнала, являющегося суперпозицией амплитуд прямых, отраженных и преломленных волн, достигших приемной антенны [1].

² **Георадар** – радиотехнический прибор подповерхностного зондирования [2].

свойствам) грунтов. Поэтому исходное значение сейсмической опасности, должно корректироваться за счет уточнения сейсмических свойств грунтов на конкретных участках строительства (сейсмическое микрорайонирование (СМР)).

Материалы работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) участка строительства должны содержать количественные оценки влияния особенностей залегания слоев и сейсмических свойств грунта расчетной толщи на амплитудные и спектральные характеристики сейсмического воздействия. Для решения поставленных задач выполняются сейсморазведочные исследования, электроразведочные работы, проводится камеральная обработка материалов, анализируются фондовые материалы.

Геофизические методы исследования грунтовой толщи применяемые для СМР:

- сейсмический каротаж;
- сейсмическое зондирование на поверхности методом преломленных волн (МПВ);
- сейсмическое зондирование на поверхности методом отраженных волн (МОГТ);
- регистрация микросейсмических колебаний грунта (микросейсмы);
- спектральный анализ поверхностных волн (SASW);
- электроразведочные работы методом ВЭЗ.

Оценка приращения сейсмической интенсивности за счет грунтовых условий «Участка» производится методами:

- сейсмических жесткостей;
- расчеты на основе микросейсмических колебаний (метод Накамуры) [5];
- расчетные методы (математическое моделирование).

Обсуждение результатов

Выполненные георадарные исследования на строительных объектах г. Петропавловска-Камчатского имеют теоретическую и практическую значимость. Вдоль побережья Авачинской губы находится много зданий и сооружений. Выявлены особенности строения толщи рыхлых отложений, уточнение строения грунтового основания (КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20) и распределение литологических типов грунтов в разрезе (стадион "Спартак"). Уточнено строение оползневых склонов (мыс Чавыча, площадка очистных сооружений). Охарактеризовано строение грунтов в зоне обвально-взрывных отложений Авачинского вулкана для определения планировочных ограничений в размещении зданий и сооружений (берег бухты Моховая). Георадарные исследования позволяют детально изучить рубашку дорожной одежды. Выполнены георадиолокационные работы для уточнения геологического строения на объекте «Капитальный ремонт автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково 40 км – Пиначево с подъездом к п.Раздольный и к базе с/з Заречный на участке км 4 - км 8». Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства, в результате чего инженерные изыскания становятся менее затратными. По результатам проведения метода георадиолокации по исследуемым объектам в районе города Петропавловск-Камчатский установлены изменения диэлектрической проницаемости и скорости распространения электромагнитных волн для грунтов (таблица 1). Выявлены определенные геологические структуры, характерные для многих строительных площадок Камчатского края.

На рисунке 1 показан фрагмент интерпретированного георадиолокационного профиля участка дороги. Показаны области повышенного затухания э/м волны, связанные с понижением УЭС (повышение глинистости грунта), области повышенной влажности грунтов, локальные объекты.

Работы по СМР проведены в различных районах г. Петропавловск-Камчатский, г. Елизово, г. Вилучинск, г. Северо-Куриск. Верхняя часть геологического строения (10-30 м) в пределах выше указанных городов очень неоднородна, кроме того геологические условия не редко сильно различны и в пределах одного участка строительства. Соответственно сейсмические свойства грунтов будут различными и, соответственно, различна будет и итоговая расчетная сейсмичность участка строительства. Опыт проведения данных работ показал их эффективность и необходимость проведения.

Интерпретация полученных сейсморазведочных данных МПВ проводится по общепринятой методике, способом пластовых скоростей, согласно РСН 66- 87. Данные обрабатывались в пакете программ RadExPro, разработанном ООО «ДекоГеофизика». Эта система позволяет осуществить весь процесс обработки данных МПВ: чтение и визуализацию сейсмограмм, фильтрацию и различного рода усиление трасс, корреляцию первых вступлений, построение и редактирование годографов, определение скоростей упругих волн и построение преломляющих границ.

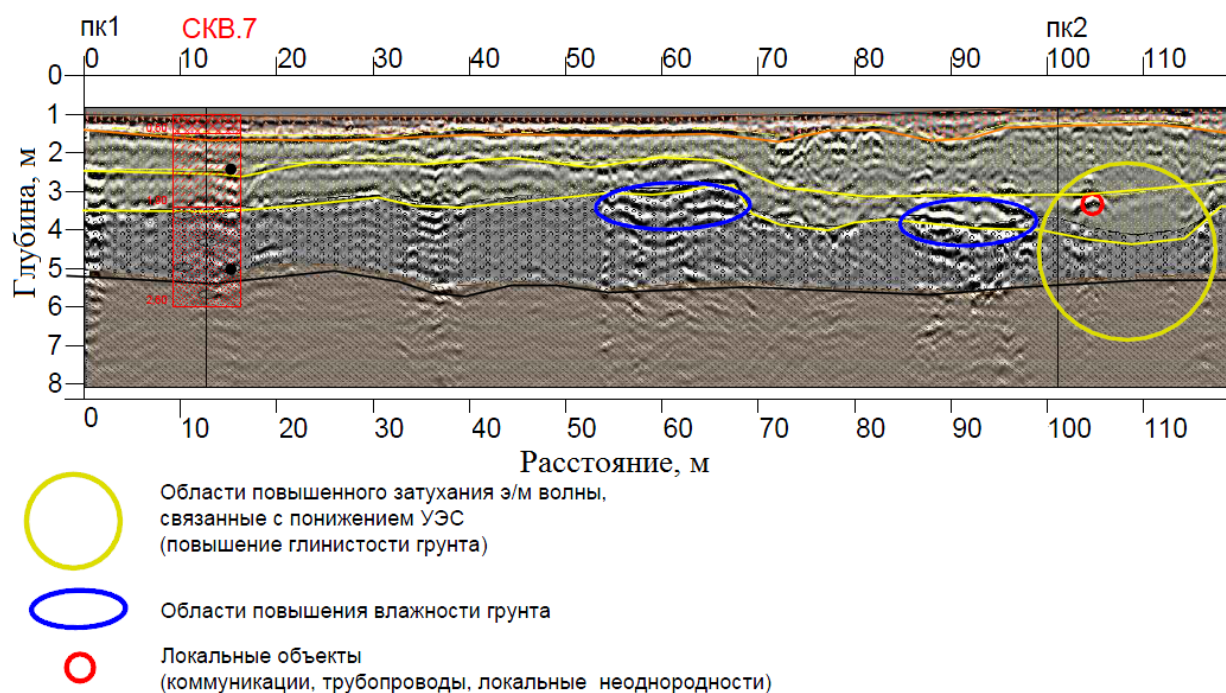


Рис. 1. Фрагмент георадиолокационного профиля.

Таблица 1. Изменение диэлектрической проницаемости и скорости распространения электромагнитных волн для грунтов по исследуемым объектам в районе города Петропавловск-Камчатский.

№	Описание грунтов	Значение диэлектрической проницаемости (E)	Значение скорости распространения электромагнитной волны ($V_{эмв}$)	Примечание
1	Щебенистый грунт	3.92 – 9	10 – 17.06	Изменения показателей по степени водонасыщения (от меньшего к большему)
2	Щебенистый грунт с супесью до 40%	17.06	7.27	
3	Щебенистый грунт с песчаным заполнителем влажным 30-35% с включением глыб до 10%	7.56	10.9	
4	Крупнозернистые пески	28 – 64	3.75 – 5.6	Изменения показателей по степени водонасыщения (от меньшего к большему)
5	Ил черный текучий заторфованный	9.86 – 16	7.5 – 9.54	Изменения показателей по степени водонасыщения (от меньшего к большему)
6	Дресвяный грунт с песчаным заполнителем и разной степенью водонасыщения	4.41 – 31.4	5.33 – 14	Изменения показателей по степени водонасыщения (от меньшего к большему)
7	Супесь дресвяная с включением глыб до 5%	8.01	10.6	
8	Элювий выветрелых диабазов, разрушенный до щебенистого грунта	7.84	10.71	

В результате интерпретации рассчитываются скорости распространения продольных (V_p) и поперечных волн (V_s), определяются соответствующие им границы слоев и их мощность, строится сейсмогеологическая модель.

На рисунке 2 показаны сейсмогеологические модели, рассчитанные по данным МПВ на продольных и поперечных волнах для участка строительства объекта: «Гостинично-деловой и спортивно-оздоровительный комплекс, расположенный к западу от пожарного депо» г. Петропавловск – Камчатский, ул. Ленинградская.

Рассчитанные сейсмогеологические модели интерпретируются совместно с результатами геологических изысканий – для рассчитанных сейсмических толщ определяется соответствующий инженерно-геологический элемент (ИГЭ).

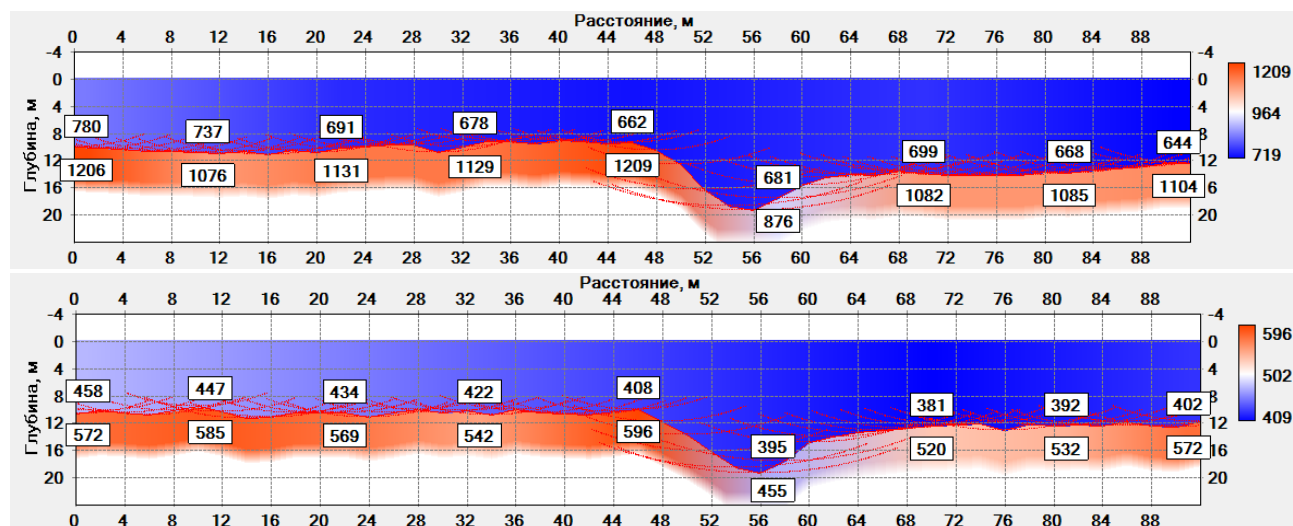


Рис. 2. а – сейсмологическая модель участка строительства, построенная по результатам обработки годографов продольных волн; б – сейсмологическая модель участка строительства, построенная по результатам обработки годографов поперечных волн.

Таблица 2. Результаты расчета приращения сейсмической интенсивности.

№ сп/пк	Н, м	Скорости, м/с			Средневзвешенные скорости, м/с		ρ , г/см ³	$\rho_{ср}$, г/см ³	ΔJ_s по V_p , балл	ΔJ_s по V_s , балл	$\Sigma \Delta J$, балл	J, балл
		V_{pi}	V_{si}	V_p/V_s	$V_{pср}$	$V_{sср}$						
1/0	10	780	458	1.70	780	458	2.02	2.02	-0.07	-0.20	-0.13	9
1/22	10	691	434	1.59	691	434	2.02	2.02	0.02	-0.16	-0.07	9
1/46	10	662	408	1.62	662	408	2.02	2.02	0.05	-0.12	-0.03	9
1/70	10	699	381	1.83	699	381	2.02	2.02	0.01	-0.07	-0.03	9
1/92	10	644	402	1.60	644	402	2.02	2.02	0.07	-0.11	-0.02	9
Среднее значение приращения сейсмической интенсивности, балл											-0.054	9

Итоговая расчетная сейсмическая опасность, определенная в баллах шкалы MSK-64 рассчитывается по методу сейсмических жесткостей. В таблице 2 показан пример результата такого расчета.

Заключение

Использование метода георадиолокации обеспечивает более высокую разрешающую способность в верхней части разреза. Это позволяет увидеть, например, локализацию мелких и замкнутых неоднородностей, распространенных в приповерхностной части разреза грунтов (рис. 1). Некоторые важные объекты инфраструктуры находятся на склонах с сейсмической и оползневой опасностью. Использование метода георадиолокации на данной территории позволяет выявить тело оползня, склоны палеоручья, а также обводненные участки. Для точной интерпретации радарограмм используется описание геологических разрезов и скважин данной местности. Однако на ограничения в использовании прибора и его работу это существенно не влияет. Метод георадиолокации позволяет также оценивать содержание влаги и эрозию грунтов. Благодаря полученным данным, появляется

возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства на территории города Петропавловск-Камчатский.

Работы по СМР в составе инженерных изысканий являются обязательными при фоновой сейсмичности выше 6 баллов (ОСР-2015). Опыт проведения работ по уточнению сейсмической опасности (СМР), показывает, что итоговое приращение за счет грунтовых условий может значительно меняться даже в пределах одной строительной площадки. Так же сейсморазведочные методы позволяют определять локальные неоднородности геологического участка, определять структурные нарушения, области разуплотнения (рис. 2).

Список литературы

1. Пупатенко В.В., Сухобок Ю.А. Литологическое расчленение разреза по данным георадиолокации // Инженерная экология. 2013. №. 3. С.154–161.
2. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2» // Техническое описание // Инструкция по эксплуатации. Версия 2.5. Раменское: ООО «Логические системы», 2009. 92 с.
3. Соколов К.О., Попков П.А., Прудецкий Н.Д. Возможности георадиолокации при исследовании разрывных нарушений на месторождениях полезных ископаемых криолитозоны // Горн. информ.-аналит. бюл.: науч.-техн. журн. 2013. № 3. С. 351–355.
4. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. Методика георадиолокационной оценки влажности дисперсных горных пород // Наука и образование. АН Республика Саха (Якутия). 2017. №. 4. С. 72–76.
5. Nakamura, Y, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst. 1989. V. 30. No. 1. P. 25–33.