

УДК 550.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)

Глухова А.Н.¹, Павлова В.Ю.^{2,3}

¹*Дальневосточный федеральный университет*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

³*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

Научный руководитель: к.г.-м.н., в.н.с. Делемень И.Ф.

Метод георадиолокации является одним из наиболее молодых и быстро развивающихся способов контроля состояния грунтов. Благодаря георадиолокации решаются разного рода инженерно-геологические задачи. В работе дана оценка важности использования метода георадиолокации с точки зрения строителя. Все эти результаты представлены на примере работ на объектах разного уровня социальной значимости в различных частях города Петропавловск-Камчатский.

Ключевые слова: метод георадиолокации, георадар, инженерно-геологические задачи, город Петропавловск-Камчатский.

ВВЕДЕНИЕ

Создание проекта и строительство без изучения и полного анализа геологических условий строительной площадки может привести к неравномерным осадкам зданий и сооружений, повреждениям и разрушениям инженерных сетей, к необратимым деформациям и их полному выходу из строя.

Оценка всех особенностей геологии территории, как основания инженерного сооружения, производится в ходе инженерно-геологических изысканий, от полноты и качества которых зависит достоверность оценки и прогноза взаимного влияния здания и его основания, позволяет выполнить наиболее экономичное проектирование и последующее строительство, обеспечить равномерную осадку здания без деформаций конструкций в течение всего эксплуатационного периода.

На основании полученных данных определяются наилучшие, наиболее оптимальные со всех точек зрения, тип и глубина заложения фунда-

мента с учетом всех вероятных факторов, влияющих на процесс строительства и эксплуатации инженерных конструкций.

В связи с этим в инженерно-геологические изыскания стали широко внедряться современные методы исследования, в том числе метод георадиолокации.

При инженерно-геологических изысканиях используются возможности георадара по сканированию грунта для строительства. Решаются следующие задачи:

- изучение геологических разрезов с определением мощностей слоев и типов пород;
- определение положения уровня грунтовых вод; выявление зон повышенной обводненности;
- выявления участков развития опасных геологических процессов (картирование оползневых структур);
- выявление месторасположения инженерных сетей, кабелей, трубопроводов и строительного мусора.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Передающая антенна георадара излучает электромагнитные импульсы, которые для получения высокой разрешающей способности имеют очень малую длительность (единицы и доли наносекунды) и достаточно широкий спектр излучения. Излученный передающей антенной в исследуемую среду электромагнитный импульс отражается от находящихся в ней предметов (как металлических, так и неметаллических), или любых неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость. Такими неоднородностями могут быть пустоты, границы раздела слоев различных пород, участки с различной влажностью и т.д. Отраженный сигнал принимается приемной антенной, преобразуется в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки. При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран мони-

тора выводится совокупность сигналов (радарограмма³ или профиль), по которому можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов (рис.1).

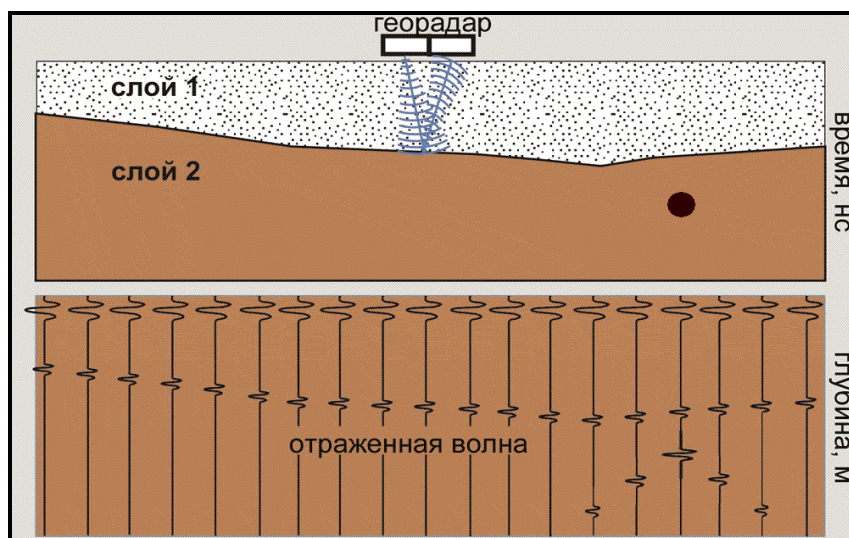


Рис. 1. Принцип метода георадиолокации [6].

Для исследований использовали георадар «ОКО-250» (НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова). Состав георадара изображен на рис. 2, 3.



Рис. 2. Состав прибора георадар «ОКО-250».

³ Радарограмма - волновая картина, совокупность трасс вдоль профиля съемки, протяженные по глубине оси синфазности отраженного сигнала, белые (отрицательные полуволны) и черные (положительные полуволны).

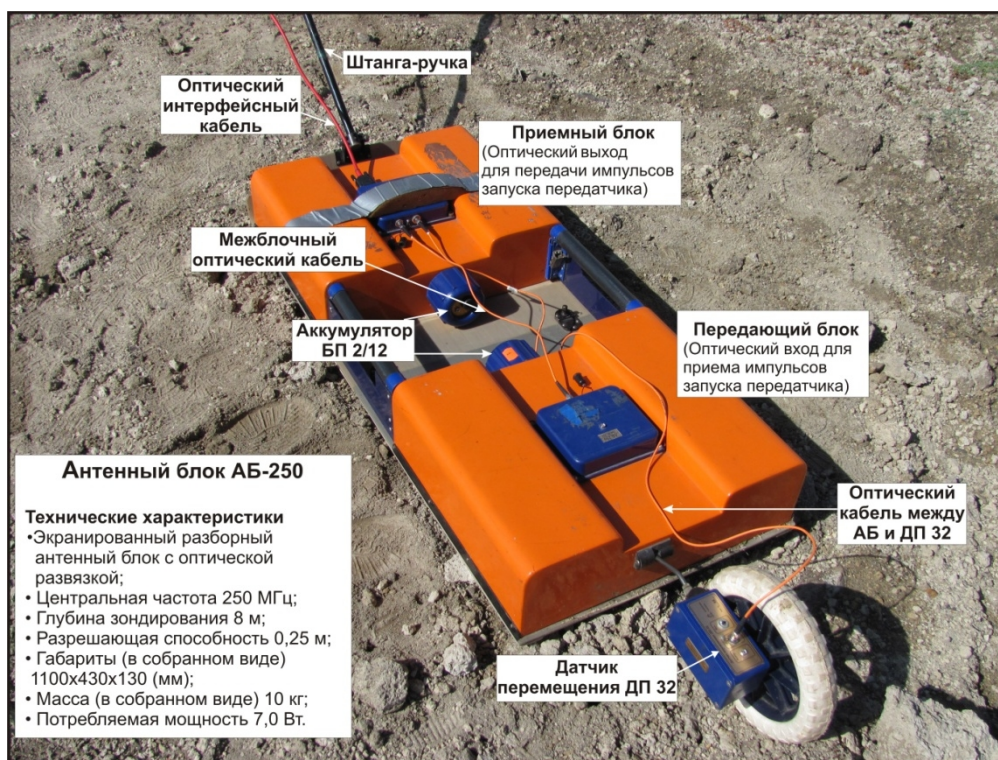


Рис. 3. Состав антенного блока АБ-250.

Во время проведения работ по георадиолокации применены следующие параметры: количество точек по глубине – 511; накопление – 20; шаг – 200 мм; количество точек по профилю – 2000; сдвиг – 8-9 м; развертка по глубине – 200 нс; скорость прохождения профиля – 1,2 км/ч.

На некоторых радарограммах была определена скорость электромагнитной волны ($V_{\text{ЭМВ}}$) по годографу отраженной электромагнитной волны и диэлектрическая проницаемость (ϵ), рассчитанная по формуле $(30/V_{\text{ЭМВ}})^2$ для протяженных осей синфазности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возможности использования метода георадиолокации для решения инженерно-геологических задач изучены нами на примере города Петропавловск-Камчатский. В статье представлены результаты георадарных исследований на пяти объектах строительства и реконструкции зданий и сооружений (рис. 4).



Рис. 4. Расположение объектов исследований на территории города Петропавловск-Камчатский. Условные обозначения: 1-КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20; 2 - стадион "Спартак"; 3 - район «Электрон»; 4 - территория предприятия; 5 - мыс Чавыча, площадка очистных сооружений. (космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.eart.google).

*Объект 1: КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей",
улица Ленинская, 20*

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: Уточнение инженерно-геологических условий для реконструкции здания, расположенного у подножия потенциально оползнеопасного склона.

На радарограммах, полученных при георадарном профилировании на трёх профилях общей протяженностью 122 м (рис.5) хорошо проявляется слоистая толща рыхлых отложений до глубин 2 – 3 м.

По полученным данным (рис. 6), на двух профилях 1 и 2, пройденных вдоль северо-восточной и северо-западной стен здания, рыхлые отложения не нарушены, слои залегают горизонтально. Предположительно эти отложения представлены насыпными грунтами, которые были отсыпаны здесь при планировке территории.

Ниже по склону (к западу от здания музея) в рельефе хорошо проявлена не глубокая (2-3 м) и не широкая (около 20 м) ложбина (рис. 6, профиль 3), она же видна над уступом, врезанном в склон при планировке

территории. Само же здание располагается на выровненной территории, сформированной за счет планировки и отсыпки этой ложбины.



Рис. 5. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (36 м); 3-4 – профиль 2 (29 м); 5-6 – профиль 3 (57 м). Космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.earth.google.com).

Севернее и южнее участка располагаются другие ложбины, подобные описанной на территории музея. Северную ложбину пересекает георадарный профиль 3, и на нем видно, что мощность отложений, выполняющих её, невелика (5 - 6 м). Ложбины имеют, скорее всего, не аллювиальное, а пролювиальное происхождение, т.е. осадконакопление происходило при весеннем снеготаянии и осенних ливнях⁴ (рис. 6).

С помощью георадарного профилирования на исследованной площадке оползневые тела в строении грунтового основания площадки не отмечены. Для обеспечения устойчивости склонов следует избегать подрезки склонов ниже площадки расположения здания музея (на участке трассы улица Ленина), а также нарушения условий дренажа грунтовых вод выше по склону (на участке улиц Партизанская и Чирикова)⁴.

⁴ Делемень И.Ф., Павлова В.Ю., Константинова Т.Г. Уточнение инженерно-геологических условий краеведческого музея в г. Петропавловске-Камчатском на ул. Ленинская, 20. Отчет. Петропавловск-Камчатский. 2012. 25 с. Архив ООО НИЦ «Гео-консалтинг».

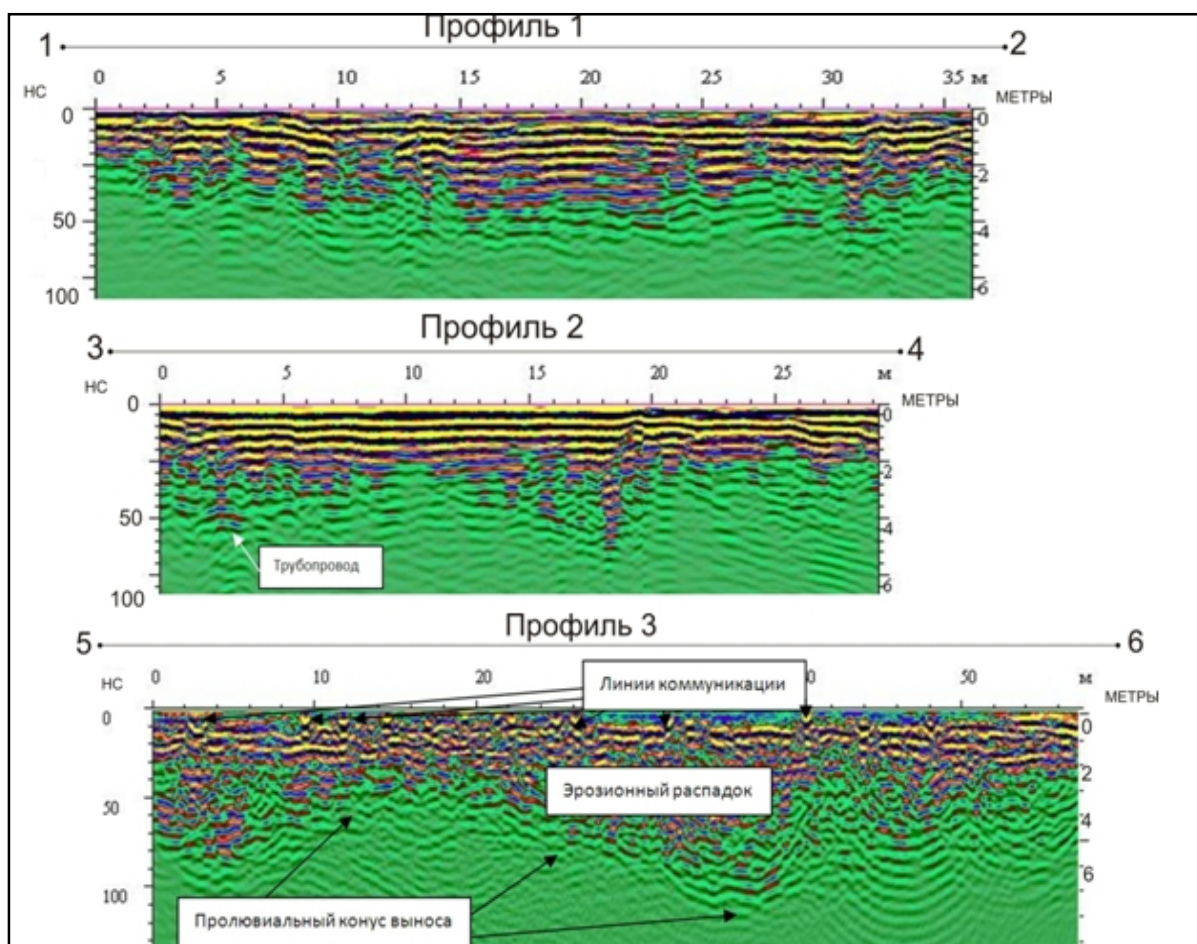


Рис. 6. Радарограммы по профилям на территории КГБУ "Камчатский краевой объединенный музей", улица Ленинская, 20.

На карте сейсмического микрорайонирования исследуемая площадка находится в подзоне 9 Б. В эту подзону вошли участки, сложенные супесчаными и щебенистыми грунтами, плотными и средней плотности, при уровне грунтовых вод ниже 3 м от поверхности. В этой же подзоне делювиальные, аллювиально-морские и элювиально-делювиальные отложения средней плотности, представленные крупнообломочными отложениями (при уровне грунтовых вод ниже 2 м) [1, 3, 4].

При соблюдении рекомендаций о соблюдении условий дренажа вышележащих склонов и сохранении нижележащих склонов (не подрезать их) общая устойчивость данного склона и устойчивость основания здания музея обеспечена.

Объект 2: Стадион «Спартак»

Работы выполнены по заданию ОАО «КамчатТИСИЗ».

Задача: строительство нового стадиона.



Рис. 7. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (52 м); 3-4 – профиль 2 (39 м); I – скважина С-5329/15; II – скважина С-5332/20. Космический снимок Image Landsat, Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO www.earth.google.com.

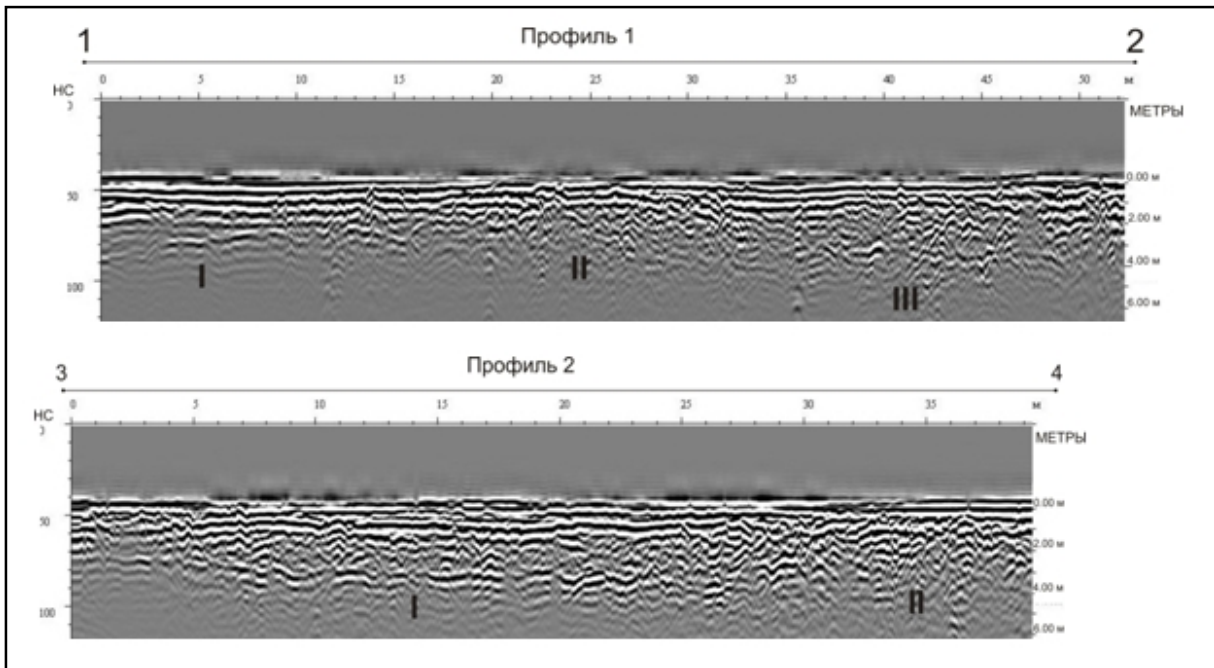


Рис. 8. Радарограммы по профилям на территории стадиона «Спартак». Выделение георадарных фаций (пояснение в тексте).

На двух профилях общей протяженностью 91 м (рис.7) можно выделить участки, на которых наблюдается смена георадарных фаций, которые выделены в соответствии с работами отечественных и зарубежных авторов [5, 7, 8], обусловленных изменением конфигурации осей синфазности отраженных волн, их интенсивностью и протяженностью, а также изменением $V_{\text{эмв}}$, степенью влажности отложений и неоднородным литологическим строением толщи.

Вертикальное расчленение разреза обусловлено особенностями волновой картины:

На профиле 1 можно выделить 3 участка, на которых наблюдается смена георадарных фаций (рис. 8):

I – субгоризонтальное наклонное расположение осей синфазности;

II – субгоризонтальное хаотическое расположение осей синфазности;

III – хаотическое расположение осей синфазности, наличие дифракций, обусловленных наличием строительного мусора, бетона, обрезков древесины (по данным скв. № 5329)⁵.

На профиле 2 можно выделить 2 участка, на которых наблюдается смена георадарных фаций (рис. 8):

I – субгоризонтальное хаотическое расположение осей синфазности;

II – хаотическое расположение осей синфазности, наличие дифракций, обусловленных наличием строительного мусора, песка древесного с обломками стекла (по данным скв. №5332).

Профиль 1 (рис. 9): Геологическая привязка к скважине №5329, дата проходки: 28.12.2012 г. 1 слой – насыпной щебенистый грунт. Скорость

⁵ Здесь и далее при геологической интерпретации радарограмм на площадке расположения данного объекта использованы предоставленные заказчиком описания геологических разрезов скважин, пробуренных ООО «КамчатТИСИЗ».

электромагнитной волны (ЭМВ) $V_{\text{ЭМВ}} = 10-15,17$ см/нс; $E = 3,92-9$ соответствует подошве слоя.

Двойное время прихода отраженной волны около 70 нс. Мощность слоя меняется от 2 до 3 м. Оси синфазности отраженных электромагнитных волн на временных разрезах расположены горизонтально, что свидетельствует о горизонтальном расположении границ в разрезе. 2 слой – ил черный текучий заторфованный. Скорость ЭМВ варьирует от 7,5 (похоже, водонасыщенный участок на расстоянии около 15 м от начала профиля) до 9,54. Характерны небольшие изменения значений диэлектрической проницаемости 9,86 до 16 (водонасыщенный участок на расстоянии около 15 м от начала профиля). Двойное время прихода отраженной волны до 88 нс. Мощность слоя меняется в пределах от 0,5 до 2,9 м. 3 слой – щебенистый грунт с песчаным заполнителем, насыщенный водой. К сожалению, на радарограмме не прослеживаются оси синфазности.

Профиль 2 (рис. 9): Геологическая привязка к скважине №5332, дата проходки: 28.12.2012 г. 1 слой – насыпной щебенистый грунт. Скорость электромагнитной волны (ЭМВ) $V_{\text{ЭМВ}} = 13,6-14,7$ см/нс; $E = 4,16-4,88$ соответствует подошве слоя. Двойное время прихода отраженной волны около 65 нс.

Мощность слоя меняется от 2 до 3 м. Оси синфазности отраженных электромагнитных волн на временных разрезах расположены горизонтально, что свидетельствует о горизонтальном расположении границ в разрезе. 2 слой – ил черный текучий заторфованный, с обломками стекла (намывной грунт). Мощность меняется от 0,5 до 2,5 м. На глубине порядка 3,5 м (по радарограмме, по скважине – 2,7 м) залегают грунтовые воды, которые выделяются четкой протяженной осью синфазности и $V_{\text{ЭМВ}} = 5$ см/нс; $E = 36$. 3 слой – щебенистый грунт с песчаным заполнителем, насыщенный водой.

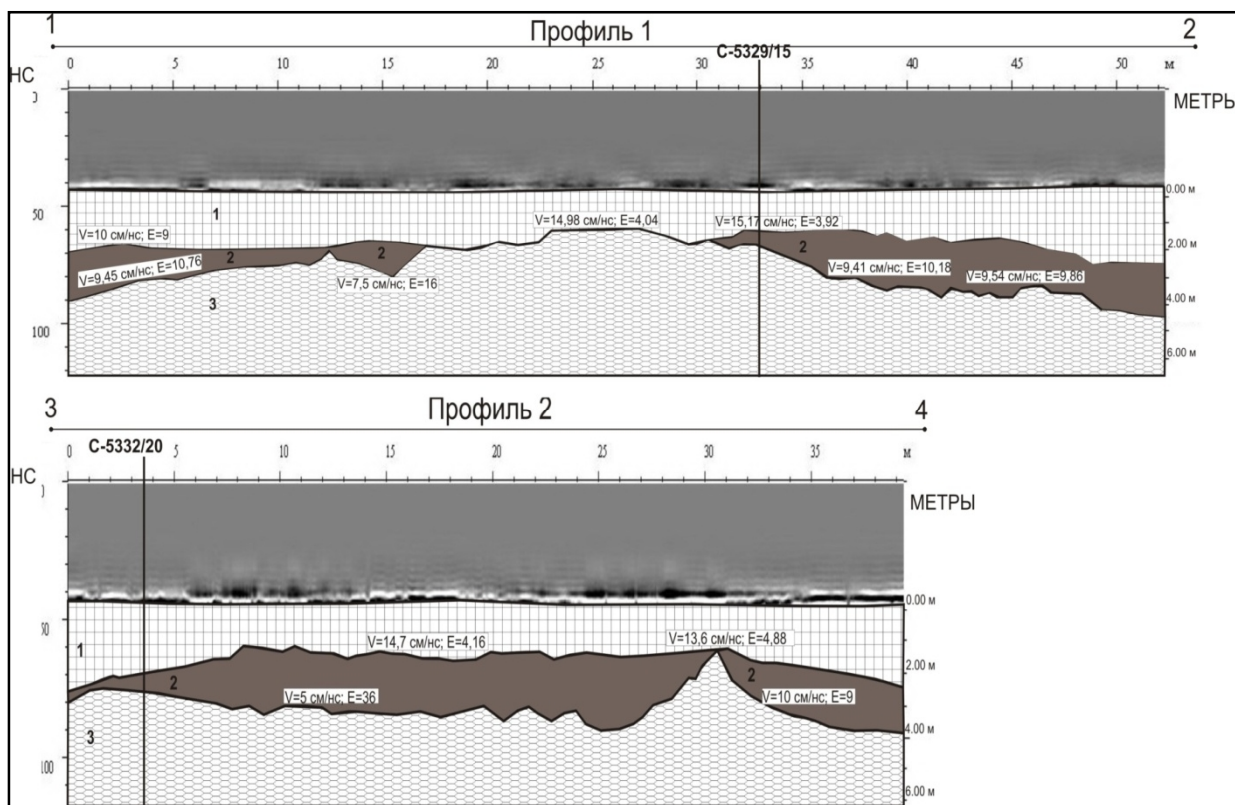


Рис. 9. Радарограммы по профилям на территории стадиона «Спартак». Геологическое описание (пояснение) в тексте.

Объект 3: район «Электрон».

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: строительство жилого корпуса Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга.



Рис. 10. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: 1-2 – профиль 1 (76 м); 3-4 – профиль 2 (80 м).

На участке выполнено профилирование георадаром «ОКО-250» на двух профилях общей протяженностью 156 м (рис.10).

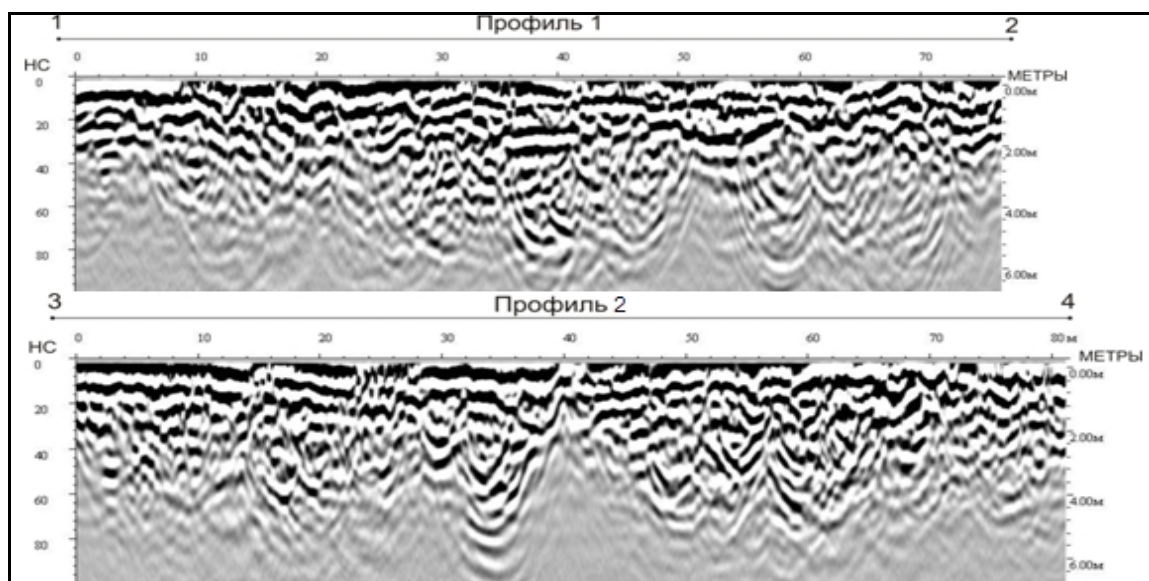


Рис. 11. Радарограммы по профилям на территории района «Электрон».

Волновая картина на радарограммах по двум профилям представлена волнами дифракции (рис. 11). Выявлен строительный мусор до глубины 2 м, что подтвердилось данными бурения. Данный слой непригоден для закладки фундамента здания, эти грунты подлежат удалению при заложении фундаментов.

Объект 4: территория предприятия, расположенного в микрорайоне Кирпичики⁶.

Работы выполнены по заданию ООО «Квантум».

Задача: выявление кабелей связи, отсутствующих на инженерной схеме.

Часто данные о местоположении линейных подземных коммуникаций отсутствуют либо закрыты, а хотя повреждения их приводит к штрафным санкциям при бурении скважин или при земляных работах. Поэтому определение их точного расположения становится важной задачей.

⁶ В связи с требованиями заказчика, название предприятия не разглашается.

Метод георадиолокации позволяет выявлять кабели связи, которые часто выделяются на радарограммах в виде аномальных участков – вертикальных зон так называемой “звучащей” записи, интенсивность которой практически не меняется с увеличением времени (рис. 12).

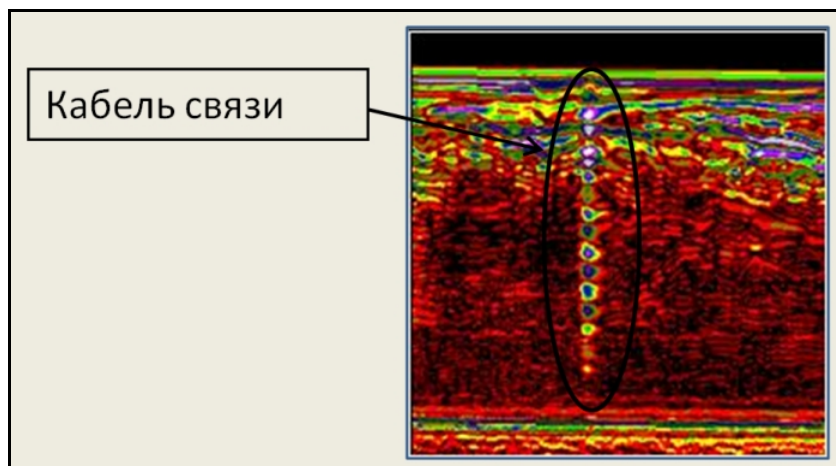


Рис. 12. Фрагмент георадиолокационного профиля над кабелем связи. Характерная “звучащая” запись. Наличие кабеля подтверждено вскрытием.

Объект 5: мыс Чавыча, площадка очистных сооружений.

Работы выполнены по заданию ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

Задача: реконструкция в связи с увеличением расходов сточных вод и возросшими требованиями к качеству очищенной воды.

В 1998 г. было обращено внимание на наличие признаков оползневой опасности склонов на участке размещения очистных сооружений⁷. Поэтому при проведении инженерно-геологических изысканий в 2011-2012 годах под реконструкцию очистных сооружений, было принято решение изучить оползневую опасность территории с использованием комплекса геолого-геофизических методов. Было установлено наличие современных оползневых деформаций склона, и опасность их развития в будущем⁸. Уже

⁷ Делемень И.Ф. Заключение об оползневой опасности склонов на участке размещения очистных сооружений на мысе «Чавыча» / Институт вулканологии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. 1998. 20 с.

⁸ Делемень И.Ф., Константинова Т.Г., Акбашев Р.Р., Бубнов А.Б., Берсенёва Н.Ю., Лунгул О.М., Павлова В.Ю., Рылов Е.С. Уточнение сейсмических условий и оползневой опасности на объекте «Реконструкция канализационных очистных сооружений "Чавыча"». Петропавловск-Камчатский. 2012. 117 с. Архив ООО НИЦ «Геоконсалтинг».

в начале работ по реконструкции очистных сооружений с реализацией противооползневых мероприятий, 24 февраля 2013 года при проходке одной из траншей при обвале грунта, слагавшего борт траншеи, погиб рабочий.

С ноября 2011 г. по апрель 2012 года на мысе Чавыча ООО НИЦ «Геоконсалтинг» были выполнены сейсморазведочные работы по методу преломленных волн в комплексе с методом георадиолокации.

В результате проведения работ удалось обнаружить тела древних оползней и склон палеоручья. Подробно результаты данной работы были представлены на конференции и были опубликованы [2].

ВЫВОДЫ

- Показано, что в условиях г. Петропавловска-Камчатского метод георадиолокации позволяет проводить инженерно-геологические изыскания, не нарушая целостность поверхности; даёт возможность работы с самыми различными типами геологических; обеспечивает мобильность и высокую скорость проведения работ; требует минимального количества обслуживающего персонала; характеризуется обнаружением и картографированием неоднородностей в режиме «реального времени», а также возможностью точного определения глубины залегания картируемых границ.

- Метод георадиолокации эффективен в условиях тесной городской застройки с интенсивным движением транспорта и мощными электромагнитными помехами. Сканирование георадаром позволяет оценить различные аспекты пригодности грунтового основания для застройки. Важно отметить значимость георадара для выявления оползневых зон и месторасположения инженерных сетей. Георадиолокация позволяет также оценивать содержание влаги и эрозию грунтов.

- Выполненные георадарные исследования на пяти строительных объектах г. Петропавловска-Камчатского позволили уточнить строение грунтового основания (объект 1), распределение литологических типов грунтов в разрезе (объект 2), мощности техногенных грунтов (объект 3), выявить положение линейных коммуникаций (объект 4) и уточнить строение оползневых склонов (объект 5). Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства, в результате чего инженерные изыскания становятся менее затратными.

Работы выполнены по заказам ООО НИЦ «Геоконсалтинг», ОАО «КамчатТИСИЗ» и ООО «Квантум». Публикация результатов согласована с указанными организациями, а дополнительная обработка первичных данных выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012 – 2016 г.

Благодарности: научному руководителю к.г.-м.н. И.Ф. Делеменю, директору ООО «Камчатск-ЭнергоСпецРемонт» В.И. Чеховичу, генеральному директору ОАО «КамчатТИСИЗ» С.А. Гуськовой, генеральному директору ОАО «Квантум» Н.Ю. Абиеву и генеральному директору ООО НИЦ «Геоконсалтинг» И.В. Шатило за сотрудничество и полезные консультации.

Литература

1. Константинова Т.Г., Шарапов В.Г. О принципах построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского. М.: «Наука». 1977. С.232-236.
2. Лунгул О.А., Павлова В.Ю. Уточнение сейсмических условий и оползневой опасности на площадке очистных сооружений (мыс Чавыча, п-ов Камчатка) // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 28-29 ноября 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 85-100.
3. Отчет по макросейсмическому обследованию последствий землетрясения 25 (24) ноября 1971 года на территории г. Петропавловска-Камчатского. Альбом I. Пояснительная записка. Г. Петропавловск-Камчатский. 1974 г.
4. Сводный отчет по сейсмическому микрорайонированию г. Петропавловска-Камчатского, Часть 1. Инструментальное сейсмическое микрорайонирование. Том 1. Текст и графические приложения. 1974 г.
5. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М: МГУ, 2008. С. 42-52.
6. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Око-2. Раменское: ООО «Логические Системы». 2007. 93 с.
7. Baker, P.L. Response of ground penetrating radar to bounding surfaces and lithofacies variations in sand barrier sequences. *Expl Geophys* 22, 1991, pp. 19-22;
8. Csaba Ekes, E.J. Hickin. Ground penetrating radar facies of the paraglacial Cheekye Fan, southwestern British Columbia, Canada / *Sedimentary Geology*. 143. 2001. pp.199-217. www.elsevier.com/locate/sedgeo).

APPLICATION OF GPR METHOD TO DECISION ENGINEERING-GEOLOGICAL TASKS (BY EXAMPLE OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY CITY)

Gluhova A.N.¹, Pavlova V.Yu.^{2,3}

¹*Dalnevostochny Federal University*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

³*Kamchatka Vitus Bering State University*

GPR method is one of the youngest and fastest growing ways to monitor the status of the soil. GPR method solves different engineering-geological tasks. The paper assesses the importance of using GPR method from the viewpoint of the builder. All of these results are presented on the example of works on objects of different levels of social significance in different parts of Petropavlovsk-Kamchatsky city.

Keywords: GPR method, ground-penetrating radar, engineering-geological tasks, Petropavlovsk-Kamchatsky city.