УДК 550.8.07

Научная статья

Опыт работы с прибором георадар "ОКО-250" для уточнения грунтовых условий на озерновской косе Култучного озера (город Петропавловск-Камчатский)

В. Ю. Павлова, В. А. Соловьев, А. С. Кокорева

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032,
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4
E-mail: verpavlova88@gmail.com

В статье представлены результаты работы с прибором георадар «ОКО-250» с целью уточнения грунтовых условий в центральной исторической части города Петропавловска-Камчатского на юго-западном берегу Култучного озера. Метод георадиолокации выполнен впервые. Важно отметить значимость георадара для выявления содержания влаги и эрозии грунтов. Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства.

Ключевые слова: георадар, метод георадиолокации, Култучное озеро, город Петропавловск-Камчатский, Камчатка

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-110-119

Поступила в редакцию: 19.04.2021

В окончательном варианте: 16.06.2021

Для цитирования. Павлова В. Ю., Соловьев В. А., Кокорева А. С. Опыт работы с прибором георадар "ОКО-250" для уточнения грунтовых условий на озерновской косе Култучного озера (город Петропавловск-Камчатский) // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2021. Т. 35. № 2. С. 110-119. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-110-119

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Павлова В. Ю., Соловьев В. А., Кокорева А. С., 2021

Введение

Достоинством метода георадиолокации¹ является универсальность и невысокая стоимость выполнения инструментальных исследований, позволяющая использовать георадары² для решения разного рода задач. Преимущества метода георадиолокации в том, что на протяженных участках получают непрерывные данные по

Финансирование. Исследование выполнялось без финансовой поддержки фондов.

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 [2].

²**Георадар** – радиотехнический прибор подповерхностного зондирования [3].

геологическому строению и определению влажности грунтов в их естественном залегании [1].

Исследуемый участок находится в центральной исторической части города Петропавловска-Камчатского и расположен на юго-западной берегу Култучного озера. В геоморфологическом отношении площадка расположена на восточной границе морской косы, отделяющей акваторию Авачинской губы от озера Култучного, и засыпанной части акватории озера.

На карте сейсмического микрорайонирования г. Петропавловска-Камчатского 1974 г. изученная площадка расположена в зоне с сейсмической опасностью Х баллов [1]. К Х-балльной зоне отнесены участки наиболее слабых грунтов в районе города, состоящих из обводненных суглинков севернее сопки Петровской; насыпных или намывных грунтов с высоким уровнем грунтовых вод (выше 5 м); болотистых, заиленных грунтов в пойме ручьев. Практическая значимость работы заключается в том, что полученные данные помогут уточнить грунтовые условия на важном участке для города Петропавловск-Камчатский. Здесь проходит главная транспортная магистраль, по которой ходят маршрутные автобусы и располагаются административные здания. Территория подвержена антропогенному воздействию. Уточнение грунтовых условий поможет в дальнейшем при планировании использования данной территории для социальных нужд.

Характеристика геологического строения Озерновской косы Култучного озера

Рельеф площадки ровный искусственно сформирован при строительном освоении территории (рис. 1).

Рис. 1. Район проведения работ: 1- строительное освоение территории; 2 – насыпные грунты; 3 и 4 - эффузивно-пирокластические породы, метаморфизованные в зеленокаменные сланцы

Засыпка Култучного озера началась в 1920-х годах с южных берегов. Со стороны улицы Максutowa засыпка озера достигла промышленных масштабов. В начале 1950-х годов был снесен мост, связывающий улицу Набережную с улицей Ленинградской, ручей был спрятан в трубу, засыпка озера продолжилась. В результате, Култучное озеро почти в два раза сократилось по сравнению с первоначальной площадью. Еще в 30-е годы XX века длина озера оставляла около 2 километров, а ширина более 300 метров. На данный момент длина Култучного озера составляет 815 метров, ширина — 283 метра, глубина — 6–7 метров, толщина ила — 3 метра. В воде присутствует много органики и продуктов ее распада [<http://www.piragis.ru/history/kultuchnoe-ozero.html>].

В региональном плане Озерновская коса Култучного озера располагается в зоне сочленения двух морфоструктур: линейно вытянутой в северо-западном направлении морфоструктуры Петропавловского горста и изометрической депрессионной морфоструктуры Авачинской губы. Вышеназванные морфоструктуры разделены грабеном Береговым, который протягивается вдоль Авачинской губы на 1 км и с северной стороны ограничен массивом сопки Мишенной. Северная половина грабена занята мелководным Култучным озером лиманного типа. Вертикальные движения вдоль грабенообразующих разломов в историческое время не фиксировались [4, 5].

В геологическом строении территории выделяются два структурных этажа – верхний и нижний. В строении нижнего структурного этажа преобладают осадочные и эффузивно-пирокластические породы, метаморфизованные в зеленокаменные сланцы (рис. 1). Породы нижнего структурного этажа имеют моноклинальное залегание с углами падения от 1450 до 2300, обнажаются на склонах сопки Никольской и Петровской, представляющих собой два разновысотных приподнятых тектонических блока, входящих в систему Петропавловского горста. Предполагается, что подобное строение имеет и погребенная часть нижнего этажа в основании днища Берегового грабена [6].

По совокупности литологических признаков и физико-механических свойств грунтов в разрезе участка работ и прилегающей территории выделяются инженерно-геологические элементы (ИГЭ), представленные в разрезах скважины № 1 (дата проходки: 11.01.07 г. и 13.04.87 г.). Анализируя скважину № 1 в разные даты проходки, можно отметить следующее. В разрезе скважины 13.04.87 г. есть почвенно-растительный слой мощность 0.2 м, который на скважине 11.01.07 г. отсутствует. Это связано с тем, что начали производиться работы по благоустройству Озерновской косы. В скважине 11.01.07 г., на глубине 2.1 - 2.6 м, кроме насыпного грунта, супеси (темно-серая пластичная, коричневатая - серая пластичная с галькой и щебнем) присутствует супесь заторфованная (водонасыщенные грунты (торф) с большим содержанием органических веществ). Таким образом, из разрезов имеющейся скважины на Озерновской косе видим со временем увеличение мощности насыпного щебенистого грунта от 2.4 до 3.1 м, отмечается водонасыщенность грунтов.

Конструкция и принцип действия георадара «ОКО-250»

Прибор георадар «ОКО-250» изготовлен НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова (г. Жуковский). Включает в себя: приемный и передающий антенные блоки; оптический преобразователь; аккумулятор БП – 9/12; оптический и

электрический кабели связи; датчик перемещения; подвеску с ноутбуком и блоком управления георадаром; штангу-ручку. На рис. 2 представлена функциональная схема антенного блока АБ-250.

Рис. 2. Функциональная схема георадара «ОКО-250» [7]

Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства: электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Основными величинами, измеряемыми при георадарных исследованиях, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника, а также амплитуда этого отражения. Такими границами раздела в исследуемых средах являются контакты между породами различного литологического состава, между коренными и рыхлыми породами. В результате георадиолокационных исследований получаем временные разрезы (радарограммы³), записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указывается расстояние в метрах, а по вертикали – время прихода отраженных сигналов в наносекундах [8].

Методика проведения измерений с помощью георадара «ОКО-250»

Использованы следующие параметры измерений с целью выделения полезных сигналов (отраженных от искомым объектов) на фоне других (помехи, шумы) и более точного определения точечных и протяженных объектов⁴ на радарограммах [7]: количество точек по глубине – 511; накопление – 20; шаг зондирования – 200

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

⁴ **Точечные объекты** – объекты в зондируемой среде, линейные размеры которых по горизонтали вдоль профиля сопоставимы с излученной длиной волны, и дающие на радарограмме отражения в виде гипербол. **Протяженные объекты** – объекты, линейные размеры которых по горизонтали вдоль профиля гораздо больше, чем длина волны, излученная антенным блоком, и дающие отражения в виде протяженных осей синфазности.

мм; количество точек по профилю – 2000; сдвиг – 8-9 м; развертка по глубине – 200 нс; скорость прохождения профиля – 1,2 км/ч; режим сканирования – “По перемещению”; эpsilon – 30 (значение диэлектрической проницаемости “Сухо” – 7, “Влажно” – 20, “Вода” – 80 — берется среднее значение; устанавливается приблизительно, исходя из априорной информации зондируемой среды; более точно рассчитывается по полученной радарограмме).

Георадарное профилирование включает 9 профилей (четыре параллельных: 1-2, 2-3, 4-5, 5-6; пять в крест: 7-8, 9-10, 11-12, 13-14, 15-16) (рис. 3). Глубина зондирования составила от 6 до 10 м.

Рис. 3. Схема расположения георадиолокационных профилей. Условные обозначения: цифры от 1 до 16 – георадарные профили (обозначение начала и конца)

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ радарограмм начинается с выделения осей синфазности отраженных волн, которые не связаны с наличием реальных границ в разрезе, а являются волнами-помехами (воздушные, кратные и неполнократные отражения). Для удаления помех применяется ряд процедур: частотная фильтрация с использованием разного рода фильтров (полосовой и режекторный, горизонтальный полосовой, медианный); выделение контура; сглаживание или обострение сигнала; вычитание среднего. Все

процедуры проводятся в модуле обработки файлов программы GeoScan32. После этого, для каждого выделенного геологического слоя производится подсчет значений скорости распространения электромагнитной волны V (см/нс) по формуле $2H/t$ в точках профиля, соответствующих положению скважин, с учетом толщины слоя H (см) и времени прихода отраженной волны t (нс). Затем, для каждого слоя рассчитывается значение диэлектрической проницаемости E по формуле $(30/V)^2$ с учетом уже рассчитанной скорости электромагнитной волны V в данной точке [8, 9].

По конфигурации и корреляции осей синфазности на всех радарограммах можно уверенно выделить три слоя (рис. 4, 5, 6).

Рис. 4. Радарограммы по георадиолокационным профилям. Условные обозначения: большие цифры от 1 до 3 – георадарные профили (обозначение начала и конца); 1, 2, 3 – номера слоев; горизонтальная шкала – расстояния в метрах; вертикальная шкала справа – глубина в метрах; вертикальная шкала слева – двойное время прихода отраженной электромагнитной волны

Рис. 5. Радарограммы по георадиолокационным профилям. Условные обозначения: большие цифры от 4 до 6 – георадарные профили (обозначение начала и конца); 1, 2 – номера слоев; красная стрелка – указывает на поднятие слоя грунта; горизонтальная шкала – расстояния в метрах; вертикальная шкала справа – глубина в метрах; вертикальная шкала слева – двойное время прихода отраженной электромагнитной волны

Все слои – это насыпной грунт, супесь (с галькой и щебнем), заторфованная. Слой № 1 наиболее мощный (до 4 м) наблюдается на профиле 1-2-3, 7-8, 11-12, 15-16. Слой № 2 мощностью до 2 м залегает под наклоном в сторону Култучного озера. Слой № 3 наблюдается не на всех профилях и залегает в виде линзы. На радарограмме по профилю 1-2-3 хорошо выделяются эффузивно-пирокластические породы, метаморфизованные в зеленокаменные сланцы, представленные проходящей волной (на рисунке 4 вертикальные жирные пунктирные линии) и уходящие на

Рис. 6. Радарограммы по георадиолокационным профилям. Условные обозначения: большие цифры от 7 до 16 – георадарные профили (обозначение начала и конца); 1, 2, 3 – номера слоев; горизонтальная шкала – расстояния в метрах; вертикальная шкала справа – глубина в метрах; вертикальная шкала слева – двойное время прихода отраженной электромагнитной волны

глубину в насыпной грунт. На профиле 4-5-6 отмечается поднятие слоя грунта (рис. 5).

Характерен контраст в значениях V (см/нс) и E (таблица 1). Слой № 1 – это плотный монолитный грунт. С глубиной влагонасыщенность увеличивается. Наиболее влагонасыщенным и проницаемым является заторфованный слой № 2. Для слоя № 3 также характерна высокая влагонасыщенность грунтов.

Таблица

Изменение скорости распространения электромагнитных волн (V , см/нс) и диэлектрической проницаемости E для грунтов в районе проведения работ

Тип грунта	№ слоя	V (см/нс)	E	№ профиля
Насыпной грунт, супесь (с галькой и щебнем), заторфованная	1	6.15	23.79	1-2-3
		8	14.06	4-5-6
		8.5	12.45	7-8
		7.6	15.58	9-10
		14	4.59	11-12
		7.6	15.58	13-14
		17.2	3	15-16
	2	10	9	1-2-3
		12	6.25	4-5-6
		4 – 4.4	46.6 – 56.25	7-8
		10 – 12.5	5.76 - 9	9-10
		8 – 9.09	10.8 – 14.06	11-12
		6.81 – 8.95	11.23 – 19.4	13-14
		9.41 – 12.3	5.94 – 10.16	15-16
	3	7 - 8	14.06 - 18.36	1-2-3
		-	-	4-5-6
		8.88 – 10.6	8 – 11.41	7-8
		9.2 – 10.3	8.4 – 10.6	9-10
		5 – 6.89	18.95 - 36	11-12
		11.7 - 16	3.51 – 6.57	13-14
		7.5 – 8.5	12.45 - 16	15-16

Заключение

С увеличением влажности грунтов увеличиваются значения диэлектрической проницаемости и, соответственно, уменьшаются скорости распространения электромагнитной волны. Эти показатели помогают в уточнении грунтовых условий. На исследуемом участке Озерновской косы Култучного озера (город Петропавловск-Камчатский) отмечается наиболее плотный грунт до глубины от 2 до 4 м. С глубиной увеличивается влагонасыщенность грунтов, что необходимо учитывать при планировании строительства на данной территории.

Таким образом, сканирование георадаром «ОКО-250» позволяет оценить различные аспекты пригодности грунтового основания для застройки. Важно отметить значимость георадара для выявления содержания влаги и эрозии грунтов.

Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Автор участвовал в написании статьи и полностью несет ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

Список литературы/References

- [1] Федорова М. П., Куляндин Г. А., Федорова Л. Л., “Обследование дна озера Борулаах с поверхности ледяного покрова методом георадиолокации”, *Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения*, 2017, 337-338. [Fedorova M. P., Kulyandin G. A., Fedorova L. L., “Obsledovaniye dna ozera Borulaakh s poverkhnosti ledyanogo pokrova metodom georadiolokatsii”, *Materialy XI Mezhdunarodnogo simpoziuma po problemam inzhenernogo merzlotovedeniya*, 2017, 337-338].
- [2] Коновалова О. А., “ГИС-проект «Повреждаемость зданий и сооружений в г. Петропавловске-Камчатском при семибалльном землетрясении 1971 года»”, *Материалы IX региональной молодежной научной конференции “Природная среда Камчатки”*, 12-13 апреля 2010 г, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 2010, 61-70. [Konovalova O. A., *Materialy IX regional'noy molodezhnoy nauchnoy konferentsii “Prirodnaya sreda Kamchatki”*, 12-13 aprelya 2010, Institut vulkanologii i seysmologii DVO RAN, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2010].
- [3] Пупатенко В. В., Сухобок Ю. А., “Литологическое расчленение разреза по данным георадиолокации”, *Инженерная экология*, 2013, № 3, 154-161. [Pupatenko V. V., Sukhobok Yu. A., “Litologicheskoye raschleneniye razreza po dannym georadiolokatsii”, *Inzhenernaya ekologiya*, 2013, № 3, 154-161].
- [4] *Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2»*, Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Версия 2.5., ООО «Логические системы», Раменское, 2009, 92 с. [*Radiotekhnicheskiiy pribor podpoverkhnostnogo zondirovaniya (georadar) «OKO-2»*, Tekhnicheskoye opisaniye. Instruksiya po ekspluatatsii. Versiya 2.5., ООО «Logicheskiye sistemy», Ramenskoye, 2009, 92 pp.]
- [5] *Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Уточнение карты СМР для важных и критических объектов г. Петропавловска-Камчатского*, Том II. Участок 2. Здание областной администрации. Архив ОАО “КамчатТИСИЗ” № 1120 ДСП, 1999. [*Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh. Utochneniye karty SMR dlya vazhnykh i kriticheskikh ob"yektov g. Petropavlovsk-Kamchatskogo*, Tom II. Uchastok 2. Zdaniye oblastnoy administratsii. Arkhiv ОАО “KamchatTISIZ” No 1120 DSP, 1999].
- [6] *Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Уточнение карты СМР для важных и критических объектов г. Петропавловска-Камчатского*, Том IV. Отчет ИВ РАН по теме “Оценка тектонических условий, сейсмических свойств грунтов и опасных геологических процессов на участках уточнения карты СМР для важных и критических объектов г. Петропавловск-Камчатского: комплекса зданий областной больницы, здания областной администрации, комплекса зданий и сооружений ТЭЦ-2”. Архив ОАО “КамчатТИСИЗ” № 1120 ДСП, 1999. [*Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh. Utochneniye karty SMR dlya vazhnykh i kriticheskikh ob"yektov g. Petropavlovsk-Kamchatskogo*, Tom IV. Otchet IV RAN po teme “Otsenka tektonicheskikh usloviy, seysmicheskikh svoystv gruntov i opasnykh geologicheskikh protsessov na uchastkakh utochneniya karty SMR dlya vazhnykh i kriticheskikh ob"yektov g. Petropavlovsk-Kamchatskogo: kompleksa zdaniy oblastnoy bol'nitsy, zdaniya oblastnoy administratsii, kompleksa zdaniy i sooruzheniy TETS-2”. Arkhiv ОАО “KamchatTISIZ” No 1120 DSP, 1999].
- [7] *Инженерно-геологическое заключение по площадке: «Кафе с организацией сезонной выносной торговли по ул. Озерновская коса в районе Култушного озера*, ДальНИИС РААСН Камчатский филиал по сейсмостойкому строительству, П.-К., 2007. [*Inzhenerno-geologicheskoye zaklyucheniye po ploshchadke: «Kafe s organizatsiyey sezonnoy vynosnoy trgovli po ul. Ozerovskaya kosa v rayone Kultushnogo ozera*, Dal'NIIS RAASN Kamchatskiy filial po seysmostoykomu stroitel'stvu, P.-K., 2007].
- [8] Павлова В. Ю., “Опыт работы с прибором георадар «ОКО-250» на полуострове Камчатка”, *Датчики и системы*, 2013, № 4(167), 55-58. [Pavlova V. Yu., “Opyt raboty s priborom georadar «OKO-250» na poluostrove Kamchatka”, *Datchiki i sistemy*, 2013, № 4(167), 55-58].
- [9] *Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач*, ООО «Логические системы», Раменское, 2008, 28 с. [*Rekomendatsii po provedeniyu georadiolokatsionnykh izmereniy dlya resheniya geologicheskikh zadach*, ООО «Logicheskiye sistemy», Ramenskoye, 2008, 28 pp.]
- [10] Старовойтов А. В., *Интерпретация георадиолокационных данных*, МГУ, М, 2008. [Starovoytov A. V., *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh*, MGU, M, 2008].

Features of operating the instrument georadar "OKO-250" for refining the ground conditions on the ozernovskaya kosa Kultuchnogo lake (Petropavlovsk-Kamchatsky city)

V. Yu. Pavlova, V. A. Soloviev, A. S. Kokoreva

Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, PetropavlovskKamchatskiy, Pogranichnaya st, 4, Russia.

E-mail: verpavlova88@gmail.com

The paper presents the results of work with the georadar «OKO-250» device in order to clarify the soil conditions in the central historical part of the Petropavlovsk-Kamchatsky city on the southwestern shore of the Lake Kultuchnoye. The GPR method was performed for the first time. It is important to note the importance of GPR for detecting moisture content and soil erosion. The data obtained helps to make the right decisions in the design of construction projects.

Key words: georadar, the GPR method, the Lake Kultuchnoye, Petropavlovsk-Kamchatsky city, Kamchatka

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-110-119

Original article submitted: 19.04.2021

Revision submitted: 16.06.2021

For citation. Pavlova V. Yu., Soloviev V. A., Kokoreva A. S. Features of operating the instrument georadar "OKO-250" for refining the ground conditions on the ozernovskaya kosa Kultuchnogo lake (Petropavlovsk-Kamchatsky city). *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **35**: 2, 110-119. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-110-119

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Pavlova V. Yu., Soloviev V. A., Kokoreva A. S., 2021

Funding. The study was carried out without financial support from foundations.