ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 550.8.07

Научная статья

**Опыт работы с цифровой инженерной сейсмостанцией
ТЕЛС – 3 для уточнения грунтовых условий в долине реки
Авача (Елизовский городской округ)**

Г. В. Артемьев¹, Е. С. Рылов², М. Л. Криволапчук³

¹ Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032,
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

² ООО «НИЦ «Геопульс», г. Петропавловск-Камчатский

³ Комплексная геофизическая экспедиция «Астра», 195009,
г. Санкт-Петербург, ул. Бобруйская, д. 5Б

E-mail: gennady.art97@gmail.com

В статье представлены результаты работы с такими приборами, как цифровая инженерная сейсмостанция «ТЕЛС – 3» (ООО «Геосигнал»), в комплекте с сейсмической СМ – 20 и сейсμοприемниками GS – 20 DX с целью уточнения грунтовых условий в долине реки Авача в Елизовском городском округе. Метод преломленных волн сейсморазведки выполнен впервые. Важно отметить значимость сейсмостанции для получения первичных акустических данных для дальнейшего уточнения сейсмических приращений. Благодаря полученным данным, появляется возможность принять правильные решения при проектировании объектов строительства.

Ключевые слова: сейсмостанция, сейсμοприемники, метод сейсморазведки, долина реки Авача, Елизовский городской округ, Камчатка

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-81-90

Поступила в редакцию: 09.02.2021

В окончательном варианте: 09.03.2021

Для цитирования. Артемьев Г. В., Рылов Е. С., Криволапчук М. Л. Опыт работы с цифровой инженерной сейсмостанцией ТЕЛС – 3 для уточнения грунтовых условий в долине реки Авача (Елизовский городской округ) // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 35. № 2. С. 81-90. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-81-90

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

© Артемьев Г. В., Рылов Е. С., Криволапчук М. Л., 2021

Введение

Достоинством метода корреляционных преломленных волн сейсморазведки является невысокая стоимость выполнения инструментальных исследований, позволяющая использовать цифровую инженерную сейсмостанцию «ТЕЛС – 3»

Финансирование. Исследование выполнялось без финансовой поддержки фондов.

в комплекте с сейсмической косою СМ – 20 и сейсмоприемниками GS – 20 DX, регистрирующими сейсмические волны на поверхности земли для решения разного рода задач.

Преимущество метода корреляционных преломленных волн сейсморазведки заключается в том, что проводить его можно вблизи населенных пунктов, промышленных объектов, включая городские территории. Данный метод позволяет получать непрерывные данные вступления головных сейсмических волн и использовать эти данные для расчета скоростей акустических волн в скоростном разрезе, для уточнения сейсмической интенсивности на заданной территории.

Исследуемый участок располагается в г. Елизово Камчатского края (рис. 1) в 20 км к северо-западу от г. Петропавловск-Камчатский, в пределах Нижне-Авачинской низменности на левобережье р. Авача в 5 км к востоку от ее русла и в 20-27 км к юго-западу от действующих вулканов Корякская Сопка (3456 м) и Авачинская Сопка (2741 м) в краевой (фронтальной) части подгорного вулканогенно-аллювиально-пролювиального шлейфа. Последний образован совместной деятельностью водотоков бассейна р. Мутная (левый приток р. Авача), берущих свое начало на склонах вулканов, а также самой р. Авача.

Рис. 1. Схематическая карта участка исследований

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные данные помогут уточнить грунтовые условия на важном участке для всего Камчатского края. Здесь планируется строительство проектируемой канализационной насосной станции КНС «Аэропорт», реконструкция существующей канализационной насосной станции КНС «29 км» и реконструкция существующих канализационных очистных сооружений КОС «29 км». Уточнение грунтовых условий поможет в дальнейшем при планировании использования данной территории для социальных нужд.

Характеристика геологического строения исследуемого участка

Всего на участке пройдено 14 скважин глубиной по 5-10 м (рис. 2), всего 125 п.м. Грунты исследуемой зоны в зависимости от их генезиса, гранулометрического состава, состояния, физико-механических свойств разделены на 5 инженерно-геологических элемента (ИГЭ).

Рис. 2. Процесс бурения вблизи объекта КНС «Аэропорт»

ИГЭ-1. Насыпной грунт. Песок дресвяный, дресвяный грунт с песком до 45%, средней крупности. Мощность насыпных грунтов составляет до 1,7 м. Расчетное сопротивление (R_0) насыпных грунтов составляет 150 кПа.

ИГЭ-2. Почвенно-растительный слой. Цвет – коричневый. Грунт средней степени водонасыщения и супесь макropористая (bvIV) рыжая, пластичная, с прослоями (до 2-6 см) вулканического пепла, иногда содержит до 2 % включений гравия. Грунты ИГЭ-2 с низким содержанием органического вещества. Грунты являются сильносжимаемыми и чрезмернопучинистыми при сезонном промерзании.

ИГЭ-3. Песок крупный. Грунт средней плотности ($e=0,59$), средней степени водонасыщения и водонасыщенный. Содержит включения до 24,8% гальки и гравия. Цвет от серого до коричневого. В составе ИГЭ-3 встречаются редкие прослои песка гравелистого. Грунт имеет распространение в районе КНС «Аэропорт». Мощность составляет 9,5 м.

ИГЭ-4. Песок средней крупности. Грунт средней плотности, средней степени водонасыщения и водонасыщенный. Содержит включения до 11,3% гальки и гравия. Цвет от серого до коричневого. Мощность составляет до 9,5 м.

ИГЭ-5. Песок пылеватый средней плотности. Грунт средней степени водонасыщения и водонасыщенный. Содержит включения до 6% гальки и гравия. Цвет от серого до коричневого. Мощность составляет до 9,3 м. Распространен на площадках КНС-29 и КОС-29.

Изученную 10 метровую толщу грунтов исследуемой области слагают четвертичные дисперсные грунты. В составе дисперсных грунтов участка выделены техногенные (tIV), биогенные (bIV) и аллювиальные (aIV) отложения.

Гидрогеологические условия участка изучены на глубину до 10 м по 14 скважинам. Подземные воды установлены во всех пробуренных скважинах на глубине 1.5-2.4 м. Грунтовые воды исследуемой территории - безнапорные. Близкое залегание подземных вод является главным осложнением для строительства и эксплуатации. При отрывке котлованов и траншей будет происходить затекание воды.

Конструкция и принцип действия цифровой инженерной сейсмической станции «ТЕЛС – 3»

При организации сейсмических исследований, особенно в городских условиях, очень важными факторами является выбор технологии сейсмических исследований: метод преломленных волн (МПВ), исследование метода поверхностных волн (MASF) [1].

Полноценный комплект для проведения сейсморазведочные исследований включает в себя цифровую инженерную сейсмостанцию «ТЕЛС – 3», характеристики которой приведены в таблице 1, в комплекте с сейсмической косой СМ – 20, сейсмоприемниками GS – 20 DX, полевыми модулями, блоком Wi-Fi, интерфейсным модулем (рис. 3).

Таблица 1

Основные технические характеристики сейсмостанции ТЕЛС – 3

Параметр	Значение
Количество каналов, шт	до 960
Разрядность АЦП, бит	32
Частотный диапазон, Гц	0 – 1600
Максимальная длина записи, отсчетов на канал	4096
Уровень собственных шумов регистрирующего канала, мкВ	0.08
Коэффициент нелинейных искажений, %	0.0005
Система питания: внешняя аккумуляторная батарея, В	12 – 30
Температурный диапазон бортового комплекса, С°	-40... +70

Рис. 3. Комплект сейсморазведочной аппаратуры

Метод КМПВ основан на регистрации первых и последующих поступлений преломлённых волн [2], из которых происходит выделение головных преломленных волн. По результатам измерений получают скорости продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн.

При падении волны на границу раздела слоев под углом, меньшем критического значения, падающая волна образует скользющую волну вдоль границы между слоями, которая в свою очередь вызывает головную (вторичную) волну, возвращающуюся к поверхности земли. Корреляция данных МПВ осуществляется за

счет использования данных последующих поступлений головных волн на приемники [3].

Методика проведения измерений с помощью цифровой инженерной сейсмостанции ТЕЛЛС – 3

Выбранный тип системы наблюдений - "встречные и нагоняющие годографы", с регистрацией на промежуточных пунктах возбуждения. Длина приемной расстановки составила 46 м, шаг между сейсмоприемниками 2 метра, 7 пунктов возбуждения на каждой расстановки, включая два, вынесенных за пределы приемной линии. Для возбуждения упругих колебаний использовалась кувалда весом 5 кг. Возбуждение продольных волн, производилось вертикально направленными ударами (рис. 4), поперечные волны возбуждались ударами кувалды по сейсмической подложке с ориентацией в плоскости, перпендикулярной к оси профиля, под углом 45° к горизонтальной поверхности. Количество накоплений на одном пункте возбуждения до 8 – 10. Шаг дискретизации записи – 0.5 мс.

Рис. 4. Возбуждение упругих колебаний

На исследуемой территории, для определения упругих свойств грунтов, был выполнен один сейсмический профиль для каждой из трех площадок: КНС «Аэропорт», КНС «29 км» и КОС «29 км», положение которых отмечено на схематической карте фактического материала (рис. 1), что позволило получить скоростные характеристики грунтовой толщи для расчета сейсмической опасности.

Объем полевых работ составил 21 физическое наблюдение, что при использовании методики с двумя типами волн, соответствует объему обработки в 42 годографа.

Результаты исследований и их обсуждение

Обработка полученных сейсмических материалов выполнялась в обрабатывающей программе Zond ST2D (Каминский А.Е.). Эта система позволяет осуществить весь

процесс обработки данных: чтение и визуализацию сейсмограмм, фильтрацию и различного рода усиление трасс, пикировку первых вступлений, построение и редактирование годографов, определение скоростей упругих волн и построение преломляющих границ.

Выработанный граф обработки данных МПВ (метода преломленных волн) ориентирован на реализованный в пакете Zond ST2D алгоритм сейсмотомографии. Он состоит из нескольких этапов:

- создание проекта;
- ввод и обработка сейсмограмм, ввод параметров системы наблюдений;
- корреляция первых вступлений и построение годографов;
- обработка годографов, подбор параметров модели;
- расчет скоростей по разрезу.

Начальный этап обработки заключается в создании проекта, в рамках которого проводится вся дальнейшая обработка. В пределах созданного проекта осуществляется ввод параметров системы наблюдений по профилю. После ввода данных о геометрии наблюдения, профиль со всеми пунктами приема и возбуждения изображается на карте-схеме. В последующем каждая сейсмограмма, а также соответствующие годографы и результаты вычислений, привязываются к этим пунктам.

На следующем этапе проводится пикирование первых вступлений и построение их годографов. Для более уверенной корреляции волн на зашумленных сейсмических записях включаются дополнительные процедуры обработки, такие как: частотная фильтрация и регулировка усиления. Пикировки первых вступлений по отдельным сейсмограммам заносятся в базу данных для использования их на последующих этапах работы.

Дальнейшая обработка пикировок первых вступлений осуществляется путем уточнения первоначально построенных годографов: коррекция значений времён в отдельных точках, сглаживание, увязка годографов во взаимных точках. Основная цель на этом этапе обработки – получить как можно более точную систему годографов для наиболее корректных расчетов.

Следующий шаг – создание модели. На этом этапе выбираются ключевые параметры модели: количество горизонтальных и вертикальных узлов, мощность первого слоя и параметр приращения мощности слоев с глубиной, а также минимальная и максимальная скорости. После задания этих параметров выбирается алгоритм инверсии и корректирующие параметры, такие как тип модели (гладкая или блоковая), фактор сглаживания и окончательный выбор скоростных пределов.

Скоростные разрезы, полученные по выполненным профилям на площадках КОС «29 км», КНС «29 км» и КНС «Аэропорт», представлены на рис. 5-24.

Рис. 5. Разрез скоростей продольных волн по профилю 1 (площадка КОС «29 км»)

Рис. 6. Разрез скоростей поперечных волн по профилю 1 (площадка КОС «29 км»)

Рис. 7. Разрез скоростей продольных волн по профилю 2 (площадка КНС «29 км»)

Рис. 8. Разрез скоростей поперечных волн по профилю 2 (площадка КНС «29 км»)

На площадке КОС «29 км» был выполнен профиль № 1. Строение разреза соответствует двуслойной модели, первый слой которой имеет малую мощность (менее метра) и представлен насыпным грунтом. В десятиметровой толще скважинами вскрыт ИГЭ 4 (средний песок), скорости поперечных волн в котором находятся в интервале 300 – 400 м/с.

Профиль № 2 выполнен на площадке КНС «29 км». Хорошо видно трехслойное строение разреза. Первый слой представлен техногенным насыпным грунтом.

Рис. 9. Разрез скоростей продольных волн по профилю 3 (площадка КНС «Аэропорт»)

Рис. 10. Разрез скоростей поперечных волн по профилю 3 (площадка КНС «Аэропорт»)

Ниже по разрезу выделяется слой пылеватых песков, выклинивающийся в юго-западном направлении (по увеличению пикетажа профиля). Третий слой соответствует пескам средней крупности.

На площадке КНС «Аэропорт» выполнен профиль № 3. По геологической информации разрез однородный – представлен средним песком, с маломощными прослоями. Однако наличие заметного увеличения скорости поперечных волн, обуславливают необходимость рассматривать разрез как двуслойный.

Послойный пересчет томографических разрезов, проведенный в модуле КМПВ программы Zond ST2D позволил определить средние скорости в отдельных инженерно-геологических элементах, либо условных слоях. Полученная в итоге послойная разбивка разреза, позволяет сопоставить упругие и физико-механические свойства грунтов.

Заключение

По данным сейсморазведки исследуемые площадки являются однородными в сейсмическом отношении. На территории участка исследований отсутствует значительная дифференциация скоростных параметров.

Послойный пересчет томографических разрезов, проведенный в модуле КМПВ программы Zond ST2D позволил определить средние скорости в отдельных

инженерно-геологических элементах, либо условных слоях. Полученная в итоге послойная разбивка разреза, позволяет сопоставить упругие и физико-механические свойства грунтов.

Результаты вынесены в таблицу 2.

Таблица 2

Скорости распространения сейсмических волн в ИГЭ

ИГЭ	Наименование грунта	Скорость продольных волн V_P , м/с	Скорость поперечных волн V_S , м/с	Плотность грунта ρ г/см ³	Модуль деформации
3	Песок пылеватый	600 - 770	220 - 280	1.90	11
4	Песок средней крупности	850 - 1100	350 - 400	1.95	30

Эти показатели помогают в уточнении грунтовых условий. Таким образом, исследование сейсмических характеристик цифровой инженерной сейсмостанцией «ТЕЛЛС – 3» в комплекте с сейсмической косой СМ – 20, сейсмоприемниками GS – 20 DX, полевыми модулями, блоком Wi-Fi, интерфейсным модулем позволяет оценить различные аспекты пригодности грунтового основания для строительства и реконструкции планируемых стратегически важных объектов.

Благодаря полученным данным, появляется возможность для создания сейсмогеологических моделей для дальнейшего расчета сейсмических приращений.

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литературы/References

- [1] Федотов С. А., ООО «ГЕОСИГНАЛ», 2015, 22 – 25. [Fedotov S.A., Fedotov A.S., “Optimizatsiya tekhnologiy seysmorazvedochnykh rabot pri inzhenerno-geofizicheskikh issledovaniyakh”, ООО «GEOSIGNAL», 2015, 22 – 25].
- [2] Гамбургцев Г. А., Ризниченко Ю. В., Берзон И. С. и др., *Корреляционный метод преломленных волн*, Издательство академии наук СССР, М., 1952, 238 с. [Gamburtsev G. A., Riznichenko Yu. V., Berzon I. S. i dr., *Korrelyatsionnyy metod prelomlennykh voln*, Izdatel'stvo akademii nauk SSSR, M., 1952, 238 pp.]
- [3] Антипов В. В., Офрихтер В. Г., “Обзор возможностей современных неразрушающих методов сейсморазведки в области геотехники”, *Строительство и архитектура*, **6:1** (2018), 14 – 18. [Antipov V. V., Ofrikhter V. G., “Obzor vozmozhnostey sovremennykh nerazrushayukshchikh metodov seysmorazvedki v oblasti geotekhniki”, *Stroitel'stvo i arkhitektura*, **6:1** (2018), 14 – 18].

**Experience of working with digital engineering seismostation
TELLS–3 for refining ground conditions in the Avach river valley
(Yelizovsky city district)**

G. V. Artemev¹, E. S. Rylov², M. L. Krivolapchuck³

¹ Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, PetropavlovskKamchatskiy, Pogranichnaya st, 4, Russia

² LLC "Research Center" Geopulse ", Petropavlovsk-Kamchatsky

³ Complex geophysical expedition « Astra », 195009, St.-Petersburg, st. Бобрыйская, 5B

E-mail: gennady.art97@gmail.com

The article presents the results of work with such devices as the digital engineering seismic station "TELSS - 3" (LLC "Geosignal"), complete with seismic streamer SM - 20 and seismic receivers GS - 20 DX in order to clarify soil conditions in the valley of the Avacha river in Yelizovsky urban district. The method of refracted waves of seismic exploration was performed for the first time. It is important to note the importance of the seismic station for obtaining primary acoustic data for further refinement of seismic increments. Thanks to the data obtained, it becomes possible to make the right decisions when designing construction objects.

Key words: seismic station, seismic receivers, seismic survey method, Avacha river valley, Elizovsky urban district, Kamchatka

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-81-90

Original article submitted: 19.04.2021

Revision submitted: 16.06.2021

For citation. Artemev G. V., Rylov E. S., Krivolapchuck M. L. Experience of working with digital engineering seismostation TELLs–3 for refining ground conditions in the Avach river valley (Yelizovsky city district). *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **35**: 2, 81-90. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-81-90

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>)

© Artemev G. V., Rylov E. S., Krivolapchuck M. L., 2021

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