

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

 <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2024-47-2-143-156>

Научная статья

Полный текст на русском языке

УДК 550.8.07, 550.8.08



Опыт работы с прибором георадар «ПИТОН-3» на территории города Петропавловск-Камчатский (Камчатка)

В. Ю. Павлова^{*1}, Р. Р. Акбашев^{1,2}

¹ ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга», 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4, Россия

² Камчатский филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 683023, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9, Россия

Аннотация. Определение возможностей применения метода георадиолокации, относящегося к методам малоглубинной геофизики, в сейсмоактивных районах позволит повысить информативность и достоверность результатов, особенно при инженерно-геологических изысканиях для обеспечения сейсмостойкого строительства в геодинамических активных областях, к которым относится Камчатка. Для оптимизации метода георадиолокации необходимо сопоставление и анализ результатов наблюдений в различных геологических условиях. Поскольку метод георадиолокации интенсивно развивается в последние годы, то теоретические исследования в области обработки данных необходимо иллюстрировать многочисленными примерами практического использования георадаров на разных объектах исследования. Цель исследований заключается в создании научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах. В статье приводятся опыт и особенности работы с прибором георадар «ПИТОН-3» на территории города Петропавловск-Камчатский. Объектом исследований являются геологические особенности и грунтовые условия территории города Петропавловска-Камчатского, требующие уточнения и детального изучения. Охарактеризованы некоторые результаты георадиолокационного профилирования. Даны рекомендуемые значения параметров измерений при проведении работ. Георадар «ПИТОН-3» - геофизическая аппаратура радиолокационного подповерхностного зондирования. Данный георадар информативен для исследования на большие глубины при решении геологических задач на территории города Петропавловск-Камчатский. Стоит учесть, что теряется информативность верхней части зондируемой среды (более мелкие геологические структуры можно не обнаружить). Для точной интерпретации получаемых радарограмм необходимо использовать сведения о геологическом строении исследуемой территории.

Ключевые слова: Камчатка, город Петропавловск-Камчатский, георадар, метод георадиолокации, радарограммы, обработка данных

Получение: 28.06.2024; Исправление: 17.08.2024; Принятие: 19.08.2024; Публикация онлайн: 26.08.2024

Для цитирования. Павлова В. Ю., Акбашев Р. Р. Опыт работы с прибором георадар «ПИТОН-3» на территории города Петропавловск-Камчатский (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2024. Т. 47. № 2. С. 143-156. EDN: HVSZMP. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2024-47-2-143-156>.

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030. Дальний Восток» и в рамках реализации гранта ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга» №124020800006-9 на тему научного проекта «Уточнение грунтовых условий и геологического строения территории города Петропавловск-Камчатский с помощью метода георадиолокации» (руководитель Павлова В.Ю.).

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

Авторский вклад и ответственность. Авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

***Корреспонденция:**  E-mail: verpavlova88@gmail.com

Контент публикуется на условиях Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Павлова В. Ю., Акбашев Р. Р., 2024

© ИКИР ДВО РАН, 2024 (оригинал-макет, дизайн, составление)





Experience with the «PYTHON-3» georadar device in the Petropavlovsk-Kamchatsky city (Kamchatka)

V. Yu. Pavlova^{*1}, R. R. Akbashev^{1,2}

¹ Vitus Bering Kamchatka State University, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, st. Pogranichnaya, 4, Russia

² Kamchatsky branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences», 683023, Petropavlovsk-Kamchatsky, bul. Piipa, 9, Russia

Abstract. Determining the possibilities of using the ground penetrating radar method, which is a method of shallow geophysics, in seismically active areas will increase the information content and reliability of the results, especially in engineering and geological surveys to ensure seismic-resistant construction in geodynamically active areas, which include Kamchatka. To optimize the ground penetrating radar method, it is necessary to compare and analyze the results of observations in various geological conditions. Since the ground penetrating radar method has been intensively developing in recent years, theoretical research in the field of data processing must be illustrated by numerous examples of the practical use of ground penetrating radars at various research sites. The purpose of the research is to create a scientific and methodological basis for the georadar method in relation to Kamchatka, including methods for processing and interpreting data, taking into account practical experience of application at various sites. The object of the research is the geological features and soil conditions of the territory of the Petropavlovsk-Kamchatsky city, requiring clarification and detailed study. The article describes the experience and features of working with the «PYTHON-3» georadar device in the Petropavlovsk-Kamchatsky city. Some results of ground penetrating radar profiling are characterized. Recommended values of measurement parameters during work are given. Georadar «PYTHON-3» - geophysical equipment for radar subsurface probing. This georadar is informative for research at great depths when solving geological problems in the Petropavlovsk-Kamchatsky city. It is worth considering that the information content of the upper part of the probed environment is lost (smaller geological structures may not be detected). For an accurate interpretation of the resulting radargrams, it is necessary to use information about the geological structure of the territory under study.

Key words: Kamchatka, the Petropavlovsk-Kamchatsky city, georadar, the GPR method, radargrams, data processing.

Received: 28.06.2024; Revised: 17.08.2024; Accepted: 19.08.2024; First online: 26.08.2024

For citation. Pavlova V. Yu., Akbashev R. R. Experience with the «PYTHON-3» georadar device in the Petropavlovsk-Kamchatsky city (Kamchatka). *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2024, **47**: 2, 143-156. EDN: HVSZMP. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2024-47-2-143-156>.

Funding. The work was carried out as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program «Priority 2030. The Far East» and within the framework of the implementation of the grant of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «KamSU named after Vitus Bering» №124020800006-9 on the topic of the scientific project «Clarification of soil conditions and geological structure of the territory of Petropavlovsk-Kamchatsky using the method of georadiolocation» (head Pavlova V. Yu.).

Competing interests. 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.

***Correspondence:**  E-mail: verpavlova88@gmail.com

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Pavlova V. Yu., Akbashev R. R., 2024

© Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, 2024 (original layout, design, compilation)



Введение

В сейсмоактивных регионах при проведении инженерно-геологических изысканий важна достоверность и информативность получаемых результатов об исследуемой среде. Такой подход обеспечивает надежность в сейсмостойком строительстве [1].

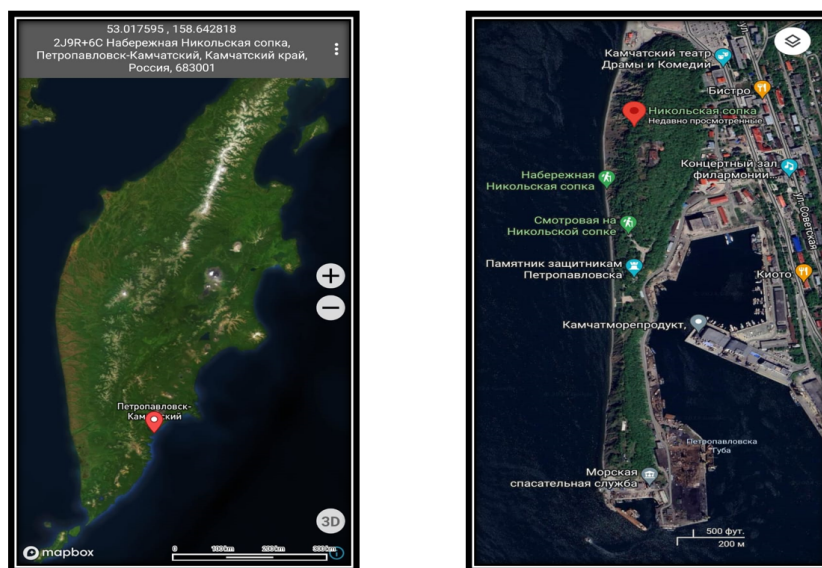
Задачи исследования:

1. Оценка применимости и последующая адаптация метода георадиолокации для изучения грунтовых условий в сейсмоактивном регионе.
2. Разработка методики обработки и интерпретации данных георадиолокации применительно к Камчатке.
3. Комплексный анализ данных георадиолокации с учетом геологических, геоморфологических, гидрогеологических особенностей исследуемых объектов на Камчатке.

Объектом исследований являются геологические особенности и грунтовые условия территории города Петропавловска-Камчатского (рис. 1, 2), требующие уточнения и детального изучения [2–4].

Объект исследований:

Камчатка: Сопка Никольская в центре города Петропавловск-Камчатский.



Общая схема расположения объекта исследования на карте.

Рис. 1. Объект исследования на карте (Россия, Камчатка, город Петропавловск-Камчатский)

[Figure 1. The object of study on the map (Russia, Kamchatka, the Petropavlovsk-Kamchatsky city)]

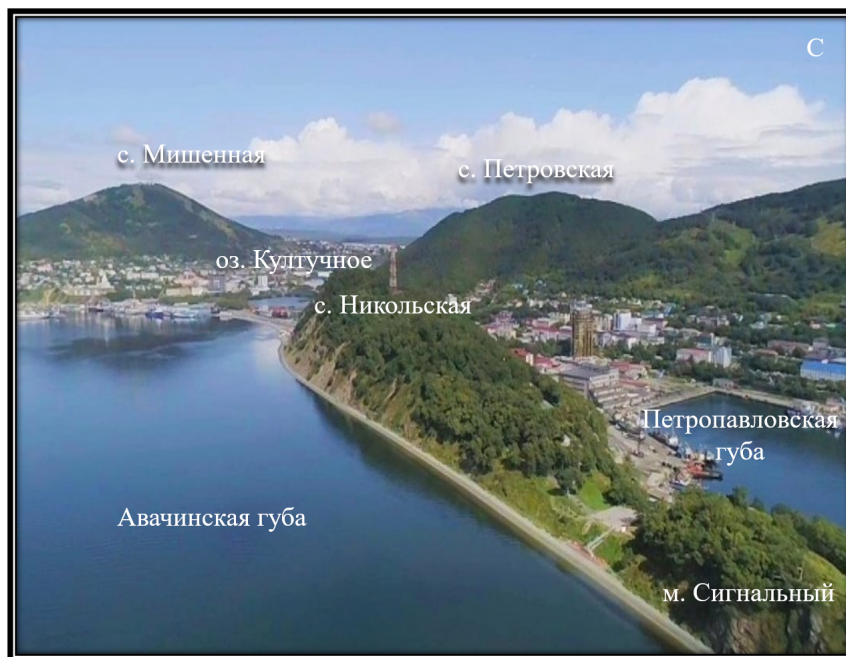


Рис. 2. Объекты исследования на территории города Петропавловск-Камчатский: сопка Никольская, Култужное озеро, сопка Мишенная (Россия, Камчатка)
 [Figure 2. Object of study in the territory of the city of Petropavlovsk-Kamchatsky city: Mount Nikolskaya, Lake Kultuchnoe, Mount Mishennaya (Russia, Kamchatka)]

Камчатским филиалом Дальневосточного треста инженерно-строительных изысканий (КФ ДальТИСИЗ) в 1971–1974 гг. были проведены инженерно-геологические исследования в г. Петропавловске-Камчатском и составлены карты фактического материала, геологическая, геоморфологическая, гидрогеологическая и карта инженерно-геологических условий в масштабе 1:10000. Территория города по инженерно-геологическим условиям разделена на четыре области: А, Б, В и Г. В каждой из выделенных областей были выделены благоприятные, условно благоприятные, условно неблагоприятные и неблагоприятные районы для строительства. Карты микросейсмического районирования г. Петропавловск-Камчатский, составленные в 1974 и 1981 гг., были объединены в единую карту СМР с выделением зон сейсмической интенсивности VIII, IX и X баллов. Разжижение грунтов при сильных землетрясениях в г. Петропавловске-Камчатском происходит, в основном, в зоне с сейсмической опасностью X баллов. Эта зона занимает 30% площади в северной, северо-восточной и центральной частях города в местах распространения обводненных грунтов различного генезиса. В зону с сейсмичностью X баллов отнесены: а) щебенистые, дресвяные и супесчаные грунты средней плотности (объемный вес 2.0 - 2.10 г/см³) с глубиной залегания УГВ 10% обеспеченности менее 3 м; б) менее плотные дресвяные, супесчаные и песчаные грунты (объемный вес менее 2.0 г/см³) с глубиной залегания УГВ до 4 м; в) заилованные, заторфованные и

другие слабые грунты; г) склоны круче 15%, сложенные рыхлыми грунтами; д) склоны крутизной 10–20% при наличии других неблагоприятных факторов: повышенной влажности, малой плотности отложений, повышенного содержания в них песка и супеси; е) обрывы и склоны крутизной более 30%, сложенные рыхлыми и коренными породами; ж) насыпные и намывные грунты при глубине залегания подземных вод менее 4–6 м; з) участки повышенной интенсивности сотрясения при землетрясении 1971 г., независимо от инженерно-геологических условий. Участки развития опасных физико-геологических процессов (оползи, обвалы, лавины) также отнесены к X-балльной зоне [5].

Полуостров Камчатка – часть активной Курило-Камчатской островодужной системы, протягивающейся на 2000 км от Японии на юге, до сочленения с Алеутской дугой на севере. Современное единство этой системы проявляется в непрерывном глубоководном желобе, сейсмофокальной зоне и поясе активного вулканизма. [6]. Малко-Петропавловская зона (МПЗ), расположенная на юго-восточном побережье полуострова Камчатка, простирается в северо-западном направлении от Авачинского залива до реки Быстрая (Малкинская). Она ограничена региональными разрывными нарушениями – Петропавловским и Вилучинским разломами северо-западного простирания – и субмеридиональным разломом, ориентированным вдоль реки Быстрая [7]. Формирование МПЗ связано с историей развития Тихоокеанской плиты и северо-западного обрамления Пацифики и, в частности, с аккрецией Кроноцкой палеодуги к континентальной окраине Камчатки [8–10]. Необходимость исследования проявляется в изучении грунтовых условий строительных площадок для обеспечения безопасности при дальнейшем проектировании инфраструктуры в районах с высокой сейсмической активностью и разнообразным сложным геологическим строением.

Актуальность данных исследований заключается в следующем [11]:

1. Для оптимизации метода георадиолокации необходимо сопоставление и анализ результатов наблюдений в различных геологических условиях.
2. Поскольку метод георадиолокации интенсивно развивается в последние годы, то теоретические исследования в области обработки данных необходимо иллюстрировать многочисленными примерами практического использования георадаров на разных объектах исследования.

Цель исследований заключается в создании научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах.

Георадар «ПИТОН-3» - геофизическая аппаратура радиолокационного подповерхностного зондирования. Основные области применения: картирование поверхности коренных пород под толщей рыхлых отложений; гляциология; обнаружение карстовых полостей; картирование уровня грунтовых вод в песчаных отложениях; картирование дна и донных отложений пресноводных водоемов; картирование палеорусел рек; археология и криминалистика; обнаружение

захоронений промышленных отходов; картирование талых зон в вечномёрзлых породах.

Конструкция и принцип действия георадара «ПИТОН-3»

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. В результате георадиолокационных исследований получают временные разрезы – радарограммы. Радарограммы – это волновая картина, совокупность трасс вдоль профиля съемки, протяженные по глубине оси синфазности отраженного сигнала, белые (отрицательные полуволны) и черные (положительные полуволны) [12, 13].

Для проведения исследований использовали прибор георадар «ПИТОН-3» (рис. 3).



Рис. 3. Оператор с георадаром «ПИТОН-3» (Камчатка)

[Figure 3. Operator with the «PYTHON-3» georadar (Kamchatka)]

Глубинный георадар «ПИТОН-3» оснащен одной приемно-передающей антенной. Длина георадара составляет 6.4 м, частота 24 МГц. Этот георадар позволяет получать отражения от границ с залеганием до 100 метров, а при исследованиях на сухих грунтах глубинность может достигать до 200 метров. Управление георадаром осуществляется в режиме реального времени. Прием данных зондирования производится на ноутбук по сети Wi-Fi.

Вся электронная часть георадара вместе с батареями питания размещается внутри небольшого модуля, закреплённого непосредственно на одном из диполей приемно-передающей антенны, смонтированной на пластиковой лыже. Специальный кожух обеспечивает защиту электронного модуля от механических

воздействий. Георадар протаскивается по поверхности зондируемой среды вручную или с помощью транспортного средства.

Данные зондирования отображаются на дисплее компьютера в реальном времени. Программное обеспечение «Prism 2.5» позволяет осуществлять обработку поступающей информации и представлять ее на дисплее в удобном для оператора виде.

Конструкция георадара «ПИТОН-3» позволяет в зависимости от решаемых задач изменять частоту зондирующего сигнала в полевых условиях. Это осуществляется путем изменения длины антенны от минимального размера $d=1.0\text{ м}$ ($f_{\text{max}} \approx 100\text{ МГц}$) до максимального $d=4.0\text{ м}$ ($f_{\text{min}} \approx 25\text{ МГц}$). Значения частот указаны для антенн, находящихся на поверхности среды с диэлектрической проницаемостью равной 5. Для изменения длины антенны используются дополнительные пластины, прикрепляемые к центральному антенному модулю и друг с другом.

Соединение в различных комбинациях центрального модуля с антенными пластинами обеспечивает различную частоту зондирующего сигнала, максимальную глубину зондирования и разрешающую способность.

Конструкция и длина георадара выбирается в соответствии с решаемой задачей. В пешем варианте георадар транспортирует один человек, протаскивая его по поверхности зондируемой среды с помощью буксировочной штанги с ручкой.

Электронный блок закреплён на центральном антенном модуле и имеет тумблер включения, светодиод, предохранитель и разъем, используемый для заряда встроенного аккумулятора. Внутри электронного модуля находятся передатчик, приемник, антенный переключатель, стробоскопический преобразователь, 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь и Wi-Fi адаптер. Антенны Wi-Fi адаптера находятся внутри блока у передней радиопрозрачной стенки блока, поэтому для надёжной связи с компьютером оператор должен всегда находиться впереди георадара в направлении, указанном стрелкой на внешнем защитном кожухе.

Электронный блок обеспечивает излучение и приём сигналов с частотой повторения 115 кГц, их стробоскопическое преобразование и 16-разрядное оцифровывание для передачи в компьютер по беспроводному каналу связи 28 трасс в секунду, каждая из которых содержит 1024 отсчёта. Максимальный временной интервал приема сигналов установлен равным 2000 наносекунд. Все изменения временного интервала зондирования, усиление и фильтрация сигнала происходят только в компьютере. При этом сигнал сохраняется в компьютере неусиленным и нефильтрованным, а функция усиления и параметры фильтра сохраняются в файле вместе с сигналом. При открытии сигнального файла эти параметры считываются и сигнал на экране отображается точно таким же, каким он был при зондировании. Затем оператор может изменять параметры усиления и фильтрации сигнала для достижения оптимальных значений. Уровень защищённости электронного блока от внешних воздействий – IP67 [14].

Особенности работы с прибором «ПИТОН-3»

Перед началом работы с георадаром необходимо установить конфигурацию компьютера для соединения с георадаром по беспроводной линии связи Wi-Fi. Включение георадара индицируется загоранием светодиода.

Далее запускается программа «Prism 2.5». В меню устанавливается конфигурация антенны (длина), выбирается нужный временной интервал, усиление и настраивается цифровой фильтр. Предварительную настройку цифрового фильтра осуществляет программа «Prism 2.5» сама как Предусстановленный (англ. Preset).

Направление движения указано стрелкой на кожухе георадара. Оператор с компьютером должен находиться впереди георадара для устойчивой связи по Wi-Fi интерфейсу.

Важно быть внимательным при поворотах, особенно с длинной лыжей. Рекомендуется при поворотах приподнимать носики антенной лыжи.

При работе георадара «ПИТОН-3» по поверхности исследуемой среды на экран монитора выводится совокупность трасс (радарограмма, или профиль), по которому можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов зондируемой среды (рис. 4).

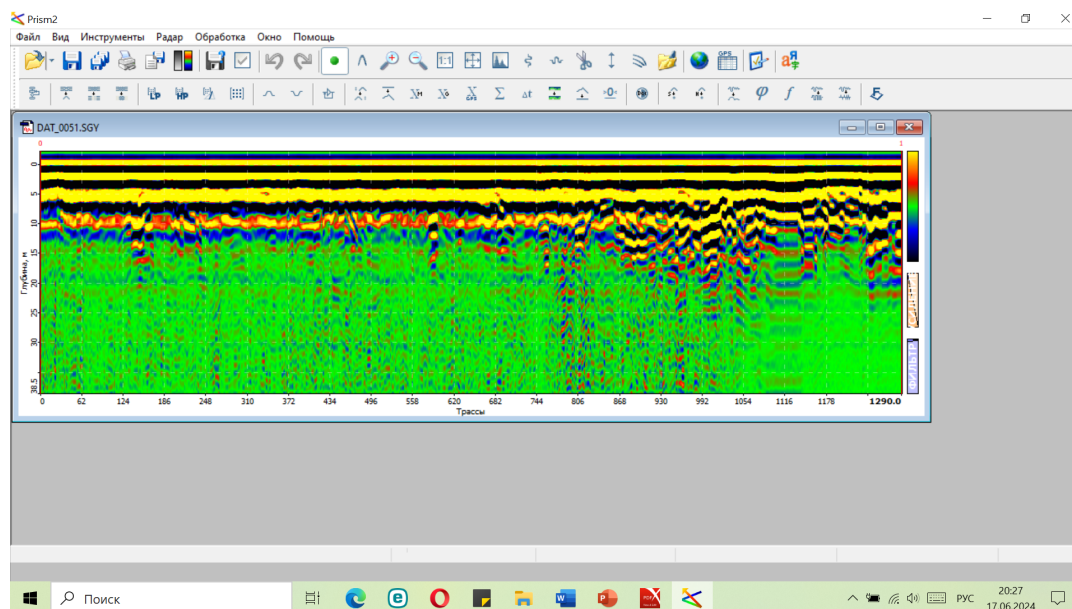


Рис. 4. Пример радарограммы в программе Prism 2.5 (георадар «ПИТОН-3». Сопка Никольская, город Петропавловск- Камчатский)

[Figure 4. For example – radargram in the Prism 2.5 program (georadar «PYTHON-3». Mount Nikolskaya, the Petropavlovsk- Kamchatsky)]

Рекомендации по оптимизации проведения работ при использовании георадара «ПИТОН-3»

Перед началом измерительных работ рекомендуется провести пробную запись радарограммы на выбранной территории, с целью идентификации помех (в частности, уровня записи воздушных волн) и определения выбора параметров измерений.

При анализе получаемой информации следует иметь в виду, что скорость распространения электромагнитных волн в зондируемой среде (если это – не воздух) не равна скорости света, а меньше ее в коэффициент замедления раз. Коэффициент замедления равен квадратному корню от диэлектрической проницаемости среды. Учет этого фактора в программе Prism 2.5 делается автоматически [15].

Все параметры настройки георадара программа сохраняет в специальном файле. Причем сохраняются все параметры для всех типов антенн. Если вносишь какие-либо изменения в параметры, то по окончании настройки параметры сохраняются. При последующих запусках программы именно эти параметры и будут установлены. Такая функция удобна при проведении больших работ на одном объекте исследования.

При работе на территории города Петропавловск-Камчатский наиболее информативным видом отображения данных зондирования является, как правило, плотностной профиль в цветовой шкале цветов (рис. 5),

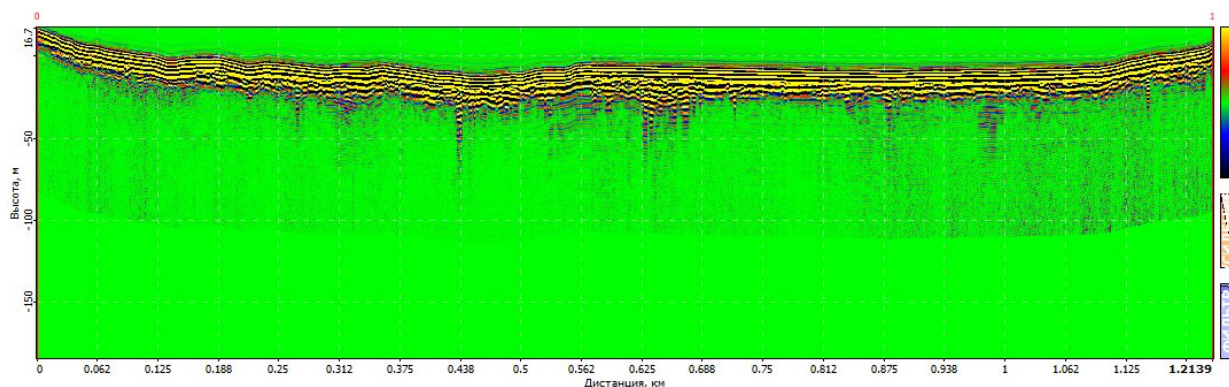


Рис. 5. Радарограмма в цветовой шкале цветов (сопка Никольская, город Петропавловск-Камчатский)

[Figure 5. Radargram in the color scale of colors (Mount Nikolskaya, the Petropavlovsk-Kamchatsky city)]

поскольку в черной-белой шкале цветов (рис. 6) не отображаются ярко геологические структуры мелкого масштаба (слои, трещинные зоны и т.д.)

GPS проводник (англ. GPS tracker) – отображение пройденного пути в процессе зондирования, при позиционировании с помощью GPS.

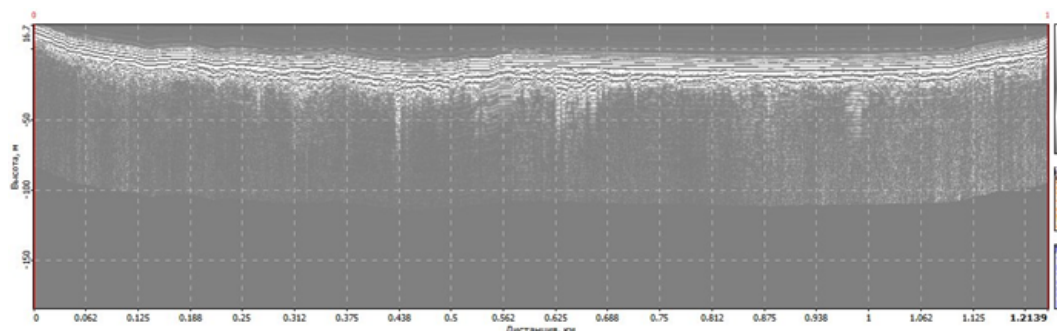
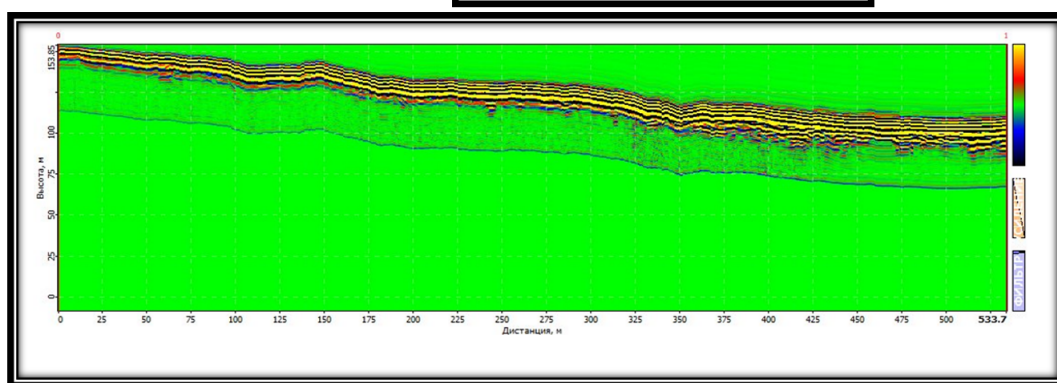


Рис. 6. Радарограмма в черной-белой шкале цветов (сopка Никольская, город Петропавловск-Камчатский)

[Figure 6. Radargram in black and white color scale (Mount Nikolskaya, the Petropavlovsk-Kamchatsky city)]

Использование данной функции позволяет отобразить радарограмму с учетом рельефа местности, что помогает при обработке и интерпретации увидеть особенности расположения имеющихся геологических структур (угол наклона слоев, мощность и др.) (рис. 7).

Изучение грунтовых условий:
проведение исследования с помощью
метода георадиолокации



Практические работы с. Никольская,
- Георадарная съемка «ПШОН – 3»



Рис. 7. Радарограмма (сopка Никольская, город Петропавловск-Камчатский)
[Figure 7. Radargram (Mount Nikolskaya, the Petropavlovsk-Kamchatsky city)]

Заключение

Прибор георадар «ПИТОН» информативен для исследования на большие глубины при решении геологических задач на территории города Петропавловск-Камчатский. Стоит учесть, что теряется информативность верхней части зондируемой среды (более мелкие геологические структуры можно не обнаружить). Для точной интерпретации получаемых радарограмм необходимо использовать сведения о геологическом строении исследуемой территории.

Аббревиатуры

СМР Сейсмическое микрорайонирование

УГВ Уровень грунтовых вод

Список литературы

1. СП 14.13330.2018. *Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81**. Москва: Стандартинформ, 2018. 115 с.
2. Шеймович В. С. *Государственная геологическая карта Российской Федерации 1:200000. Серия Южно-Камчатская. Листы N-57-XXI (Северные Коряки), N-57-XXVII (Петропавловск-Камчатский), N-57-XXXIII (Сопка Мутновская)*. Москва: Объясн. зап., 2000. 302 с.
3. Савельев Д. П., Палечек Т. Н., Портнягин М. В. Кампанские океанические кремнисто-вулканогенные отложения в фундаменте восточного камчатского вулканического пояса, *Тихоокеанская геология*, 2005. Т. 24, № 2, С. 46–54.
4. Bergal-Kuvikas O., Bindeman I., Chugaev A., Larionova Y., Perepelov A., Khubaeva O. Pleistocene-Holocene Monogenetic Volcanism at the Malko-Petropavlovsk Zone of Transverse Dislocations on Kamchatka: Geochemical Features and Genesis, *Pure and Applied Geophysics*, 2022. vol. 179, pp. 3989–4011 DOI: 10.1007/s00024-022-02956-7.
5. Константинова Т. Г. *Поведение грунтов и зданий при сильных землетрясениях*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. 188 с.
6. Есин Е. И., Василевский А. Н., Бушенкова Н. А. Пространственные корреляции особенностей рельефа, гравитационного поля и аномалий скоростей сейсмических волн центральной зоны Камчатского региона, *Геология и геофизика*, 2024. Т. 65, № 2, С. 303–318.
7. Гонтовая Л. И., Попруженко С. В., Низкоус И. В., Апрельков С. Е. Верхняя мантия Камчатки: Глубинная модель и связь с тектоникой, *Тихоокеанская геология*, 2008. Т. 27, № 2, С. 80–91.
8. Селиверстов Н. И. *Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг*. Москва: Научный мир, 1998. 164 с.
9. Авдейко Г. П., Бергаль-Кувикас О. В. Геодинамические условия образования адакитов и Nb-обогащенных базальтов (NEAB) на Камчатке, *Вулканология и сейсмология*, 2015. № 5, С. 1–13.
10. Агibalов А. О., Бергаль-Кувикас О. В., Зайцев В. А., Макеев В. М., Сенцов А. А. Взаимосвязь морфометрических параметров рельефа, характеризующих трещиноватость верхней части литосферы, и проявлений вулканизма Малко-Петропавловской зоны, *Геофизические процессы и биосфера*, 2023. Т. 22, № 2, С. 122–133.
11. Павлова В. Ю., Делемень И. Ф. *Применение метода георадиолокации на Камчатке*. Москва: Издательский дом Академии Естествознания, 2020. 144 с.
12. Владов М. Л., Старовойтов А. В. *Введение в георадиолокацию*. Москва: издательство МГУ, 2004. 153 с.
13. Старовойтов А. В. *Интерпретация георадиолокационных данных*. Москва: издательство МГУ, 2008. 192 с.
14. *Инструкция по эксплуатации: Георадар «ПИТОН-3»*. Рига: НПФ «Радарные Системы», 2022. 4 с.

15. Инструкция пользователям *Prism2.59*.. Рига.: НПФ «Радарные Системы», 2014. 66 с.

Информация об авторах



Павлова Вероника Юрьевна ✉ – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры биологии и наук о Земле факультета естественных и технических наук, ведущий научный сотрудник международной интегративной научно-исследовательской лаборатории экстремальных явлений Камчатки, ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга», Петропавловск-Камчатский, Россия,  ORCID 0000-0003-4753-1928.



Акбашев Ринат Рафикович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории акустического и радонового мониторинга Камчатского филиала ФГБУН Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», научный сотрудник международной интегративной научно-исследовательской лаборатории экстремальных явлений Камчатки, ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга», Петропавловск-Камчатский, Россия,  ORCID 0000-0002-0737-9610.

References

- [1] SP 14.13330.2018. Construction in seismic areas. Updated edition of SNiP II-7-81*. Moscow, Standartinform, 2018, 115 p. (In Russian)
- [2] Sheimovich V.S. State geological map of the Russian Federation 1:200000. South Kamchatka series. Sheets N-57-XXI (Northern Koryaks), N-57-XXVII (Petropavlovsk-Kamchatsky), N-57-XXXIII (Mount Mutnovskaya), 2000, 302 p. (In Russian)
- [3] Savelyev D. P., Palechek T. N., Portnyagin M. V. Campanian oceanic siliceous-volcanogenic deposits in the basement of the eastern Kamchatka volcanic belt, *Pacific Geology*, 2005, vol. 24, no. 2, pp. 46–54. (In Russian)
- [4] Bergal-Kuvikas O., Bindeman I., Chugaev A., Larionova Y., Perepelov A., Khubaeva O. Pleistocene-Holocene Monogenetic Volcanism at the Malko-Petropavlovsk Zone of Transverse Dislocations on Kamchatka: Geochemical Features and Genesis, *Pure and Applied Geophysics*, 2022, vol. 179, pp. 3989–4011. DOI: 10.1007/s00024-022-02956-7.
- [5] Konstantinova T. G. Behavior of soils and buildings during strong earthquakes. Obninsk, FRC EGS RAS, 2020, 188 p. (In Russian)
- [6] Esin E. I., Vasilevskiy A. N., Bushenkova N. A. Spatial correlations between the terrain features, gravitational field and seismic velocity anomalies in the central Kamchatka region. *Russian Geology and Geophysics*, 2024, vol. 65, no. 2, pp. 285-298 (In Russian)
- [7] Gontovaya L. I., Popruzhenko S. V., Nizkous I. V., Aprel'kov S. E. Upper Kamchatka mantle: Depth model and relationship with tectonics, *Pacific Geology*, 2008, vol. 27, no 2, pp. 80–91. (In Russian)
- [8] Seliverstov N. I. Stroyeniye dna kamchatskikh vod i geodinamika zony sochleneniya Kurilo-Kamchatskoy i Aleutskoy ostrovnykh dug [Structure of the bottom of the Kamchatka waters and geodynamics of the articulation zone of the Kuril-Kamchatsky and Aleutian island arcs]. Moscow: Scientific World, 1998, 164 p. (In Russian)
- [9] Avdeyko G. P., Bergal-Kuvikas O. V. Geodynamic conditions of formation of adakites and Nb-enriched basalts (NEAB) in Kamchatka, *Volcanology and Seismology*, 2015, no 5, p. 1–13. (In Russian)
- [10] Agibalov A. O., Bergal-Kuvikas O. V., Zaitsev V. A., Makeev V. M., Sentsov A. A. The relationship between morphometric parameters of the relief characterizing the cracking of the upper part of the lithosphere and manifestations of volcanism of the Malko-Petropavlovsk Zone, *Geophysical Processes and Biosphere*, 2023, vol.22, no2, pp. 122-133. (In Russian)
- [11] Pavlova V. Yu., Delemen I. F. *Primeneniye metoda georadiolokatsii na Kamchatke* [Application of the ground penetrating radar method in Kamchatka]. Moscow, Publishing House of the Academy of Natural Sciences, 2024, 144 p. (In Russian)
- [12] Vladov M. L., Starovoytov A. V. *Vvedeniye v georadar* [Introduction to ground penetrating radar]. Moscow, Moscow State University Publishing House, 2004, 153 p. (In Russian)
- [13] Starovoytov A. V. *Interpretatsiya dannykh georadara* [Interpretation of ground penetrating radar data]. Moscow, Moscow State University Publishing House, 2008, 192 p. (In Russian)
- [14] Operating instructions: GPR "PYTHON-3". Riga: NPF "Radar Systems 2022. 4 p. avrora-arm.ru (In Russian)
- [15] Instructions for Prism2.59 users. Riga: NPF "Radar Systems 2014. 66 p. (In Russian)

Information about the authors



Pavlova Veronika Yurievna ✉ – PhD (Geol. & Mineral.), Assistant Professor of the Department of Biology and Earth Sciences, Leading Researcher at the International Integrative Research Laboratory of Extreme Phenomena in Kamchatka, Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,  ORCID 0000-0003-4753-1928.



Akbashev Rinat Rafikovich – PhD (Phys. & Math.), Researcher at the laboratory of acoustic and radon monitoring of the Kamchatka, Kamchatsky branch of the Federal Research Center UGS RAS, Researcher at the International Integrative Research Laboratory of Extreme Phenomena in Kamchatka, Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,  ORCID 0000-0002-0737-9610.