

УДК 550.8:551.21  
 DOI 10.17513/use.38153

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-МУТНОВСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ (КАМЧАТКА)

**Павлова В.Ю.**

*ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга»,  
 Петропавловск-Камчатский, e-mail: verpavlova88@gmail.com*

Данная работа является частью исследований, направленных на решение основной цели, которая 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. Одна из решаемых задач, затрагиваемая в данных исследованиях, заключается в оценке применимости и последующей адаптации метода георадиолокации для изучения вулканических областей. Район исследования находится на полуострове Камчатка – в юго-восточной части, рядом с вулканами Вилючинским, Горелым и Мутновским. Исследуемый участок расположен на территории Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны рядом с эксплуатируемым Мутновским месторождением парогидротерм. На данный момент важны детальные исследования условий геологического строения гидротермальных систем и близлежащей территории для определения проведения детальных разведочных работ на геотермальных месторождениях Камчатки. Метод георадиолокации как раз помогает в выявлении геологического строения и в последнее время стал применяться для этих целей на Камчатке. Метод георадиолокации на этой территории применен впервые. Измерения проведены с помощью имеющегося в наличии георадара «ОКО-250». В результате выявлены некоторые особенности детального геологического строения приповерхностной территории: переслаивание слоев вулканического пепла разного состава с включениями крупнообломочного материала; аккумулятивные отложения; трещинные зоны; разрывные нарушения. Метод георадиолокации возможно применять на Камчатке для детального изучения территории и картирования геологических структур.

**Ключевые слова:** Камчатка, Северо-Мутновская вулкано-тектоническая зона, геологическое строение, метод георадиолокации, радарограмма

*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030. Дальний Восток».*

## RESULTS OF GPR RESEARCH IN THE TERRITORY OF THE NORTH-MUTNOVSKY VOLCAN-TECTONIC ZONE (KAMCHATKA)

**Pavlova V.Yu.**

*Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky,  
 e-mail: verpavlova88@gmail.com*

This work is part of research aimed at solving the main goal, which is to create a scientific and methodological basis for the ground penetrating radar (the GPR) method in relation to Kamchatka, including methods for processing and interpreting data, taking into account practical experience of application at various sites. One of the problems addressed in these studies is to assess the applicability and subsequent adaptation of the ground penetrating radar method for studying volcanic areas. The study area is located in the southeastern part of the Kamchatka Peninsula. The Mutnovsky, Gorely, and Vilyuchinsky volcanoes are located here. The study area is located on the territory of the North-Mutnovskaya volcano-tectonic zone next to the exploited Mutnovsky steam-hydrothermal field. At the moment, detailed studies of the conditions of the geological and structural localization of hydrothermal systems and surrounding areas are important to determine the conduct of detailed exploration work in the geothermal fields of Kamchatka. The ground penetrating radar method helps in identifying the geological and structural features of the study areas and has recently begun to be used for these purposes in Kamchatka. The georadar method was used for the first time in this area. The measurements were carried out using the available georadar «OKO-250». As a result, some features of the detailed geological structure of the near-surface territory were revealed: interlayering of layers of volcanic ash of different composition with inclusions of coarse material; accumulative deposits; crack zones; rupture violations. The georadar method can be used in Kamchatka for a detailed study of the territory and mapping of geological structures. The work was carried out as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030. Far East".

**Keywords:** Kamchatka, North-Mutnovsky volcano-tectonic zone, geological structure, ground penetrating radar method (the GPR), radargram

*The work was carried out as part of the implementation of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030. Far East."*

Актуальность исследований заключается в следующем:

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.

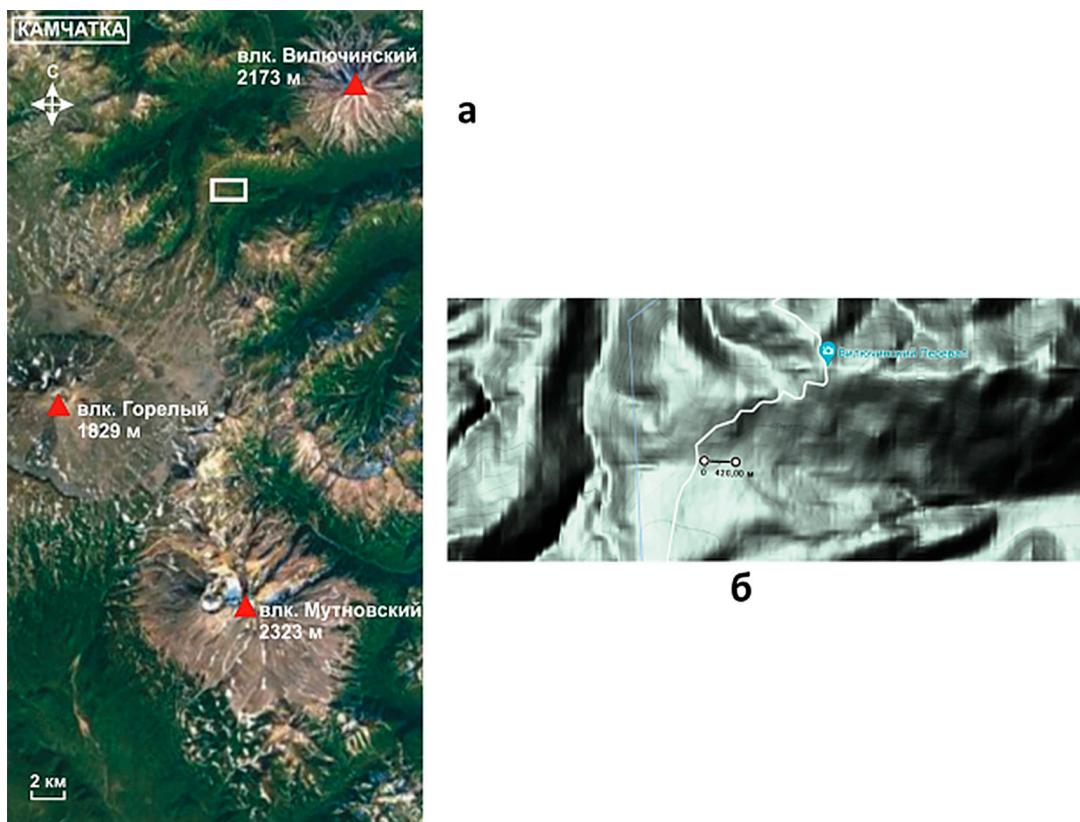
Данная работа является частью исследований, направленных на решение основной цели, которая заключается в создании научно-методической основы метода георадиолокации применительно к Камчатке, включая методику обработки и интерпретации данных, с учетом практического опыта применения на различных объектах.

Одна из решаемых задач, затрагиваемая в данных исследованиях, заключается в оценке применимости и последующей адаптации метода георадиолокации для изучения вулканических областей.

Район исследования находится в юго-восточной части полуострова Камчатка. Здесь расположены вулканы Мутновский, Горелый, Вилючинский. Исследуемый участок – территория Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны. Общая протяженность георадарных исследований составила 420 м, что связано со сложным рельефом и небольшой равнинной территорией, где можно было провести измерения с помощью георадара (рис. 1).

Северо-Мутновский район раньше рассматривался как перспективный, поэтому на участке Пенистый была пробурена глубокая рекогносцировочная скважина. Но она оказалась непродуктивной. Однако сейчас делается упор на детальное изучение этого района с целью наращивания ресурсов теплоносителя Мутновского месторождения парогидотерм.

Согласно исследованиям А.В. Киюхи и с соавт., на данной территории температура на глубине составляет до 125°C. При бурении здесь не обнаружены продуктивные зоны, поэтому имеющиеся ранее скважины ликвидированы [1].



*Рис. 1. Территория исследований: а – карта района работ (Камчатка), участок исследования отмечен прямоугольником; б – участок работ, 420 м – общая протяженность георадарных исследований*

В позднеплейстоцен-голоценовое время во всех районах происходит формирование новейшей сети разломов северо-северо-восточного (ССВ 20–30°) и менее выраженного субширотного (ЗСЗ 280–300°) простираций [2]. Так же как среднеплейстоценовые разломы северо-восточного простирания, эти разломы формируют раздиги, выраженные на поверхности грабенообразными структурами [2]. Их необходимо рассматривать как поверхностное проявление Восточно-Камчатского глубинного разлома, выделенного многими авторами. В позднем плейстоцене-голоцене вдоль этого разлома произошла активизация, выразившаяся в формировании новейшей зоны растяжения [2].

В формировании геотермального резервуара главную роль сыграла образованная субмеридиональными сбросами грабенообразная депрессия, осевая часть которой проходит через кратеры Мутновского вулкана и далее на север, названная Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоной [3]. Грабенообразная депрессия Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны – часть субмеридионального глубинного разлома [3]. По данным исследований ряда авторов здесь выделяются предполагаемые тектонические нарушения [4].

На данный момент важны детальные исследования условий геолого-структур-

ной локализации гидротермальных систем и близлежащей территории для определения проведения детальных разведочных работ на геотермальных месторождениях Камчатки. Метод георадиолокации как раз помогает в выявлении геолого-структурных особенностей исследуемых территорий и в последнее время стал применяться для этих целей на Камчатке.

#### Материалы и методы исследования

Работы с помощью метода георадиолокации проведены впервые на этой территории. Использован имеющийся в наличии георадар «ОКО-250» (рис. 2, 3). Метод георадиолокации применяется для детального изучения отложений в их естественном залегании, а также в картировании и выявлении контуров деформационных геологических структур [5]. Глубина зондирования – до 10 м. Обработка результатов измерений – в программе GeoScan32.

Метод георадиолокации (англ. Ground-penetrating radar, GPR) – это метод геофизического исследования, который основан на излучении широкополосного сигнала радиочастотного диапазона в толщу среды, далее происходит регистрация отклика (сигнал, который является суперпозицией амплитуд прямых, преломленных и отраженных волн, достигающих приемной антенны) [6].



Рис. 2. Оператор с прибором георадар «ОКО-250»

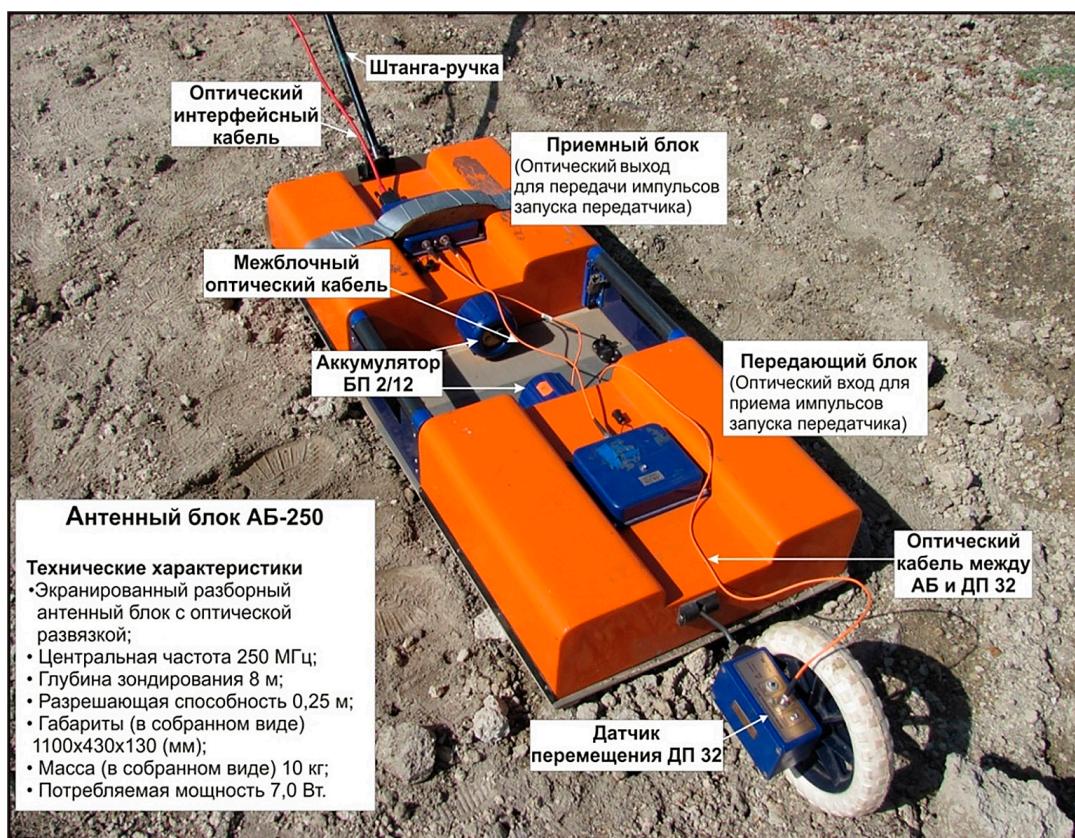


Рис. 3. Схема прибора георадар «OKO-250»

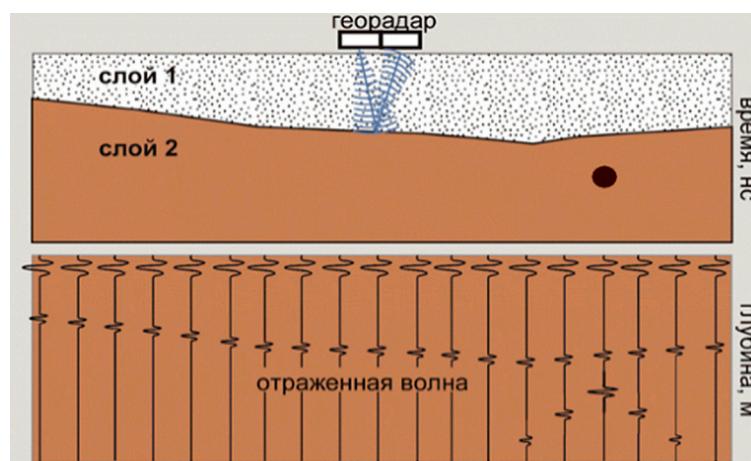
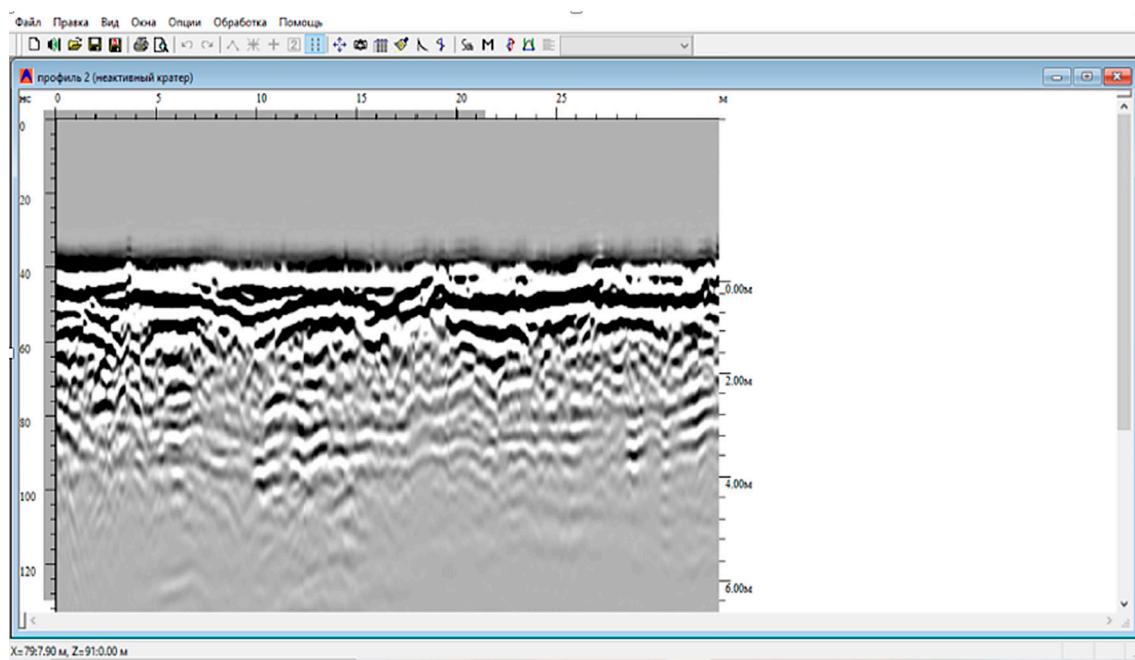


Рис. 4. Принцип метода георадиолокации [7]

Метод основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства: электропроводность и диэлектрическая проницаемость [6] (рис. 4). В результате метода георадиолокации получают данные в виде радарограммы [8] (рис. 5).

### Результаты исследования и их обсуждение

На территории Северо-Мутновской вулкано-тектонической зоны имеются небольшие озера, характерны неровности рельефа в виде пологих склонов, а также наблюдаются трещинные зоны.



*Рис. 5. Изображение радарограммы в программе GeoScan32.  
По горизонтали – расстояние в метрах, по вертикали – время прихода отраженного сигнала  
в наносекундах. Белые – отрицательные полуволны. Черные – положительные полуволны*

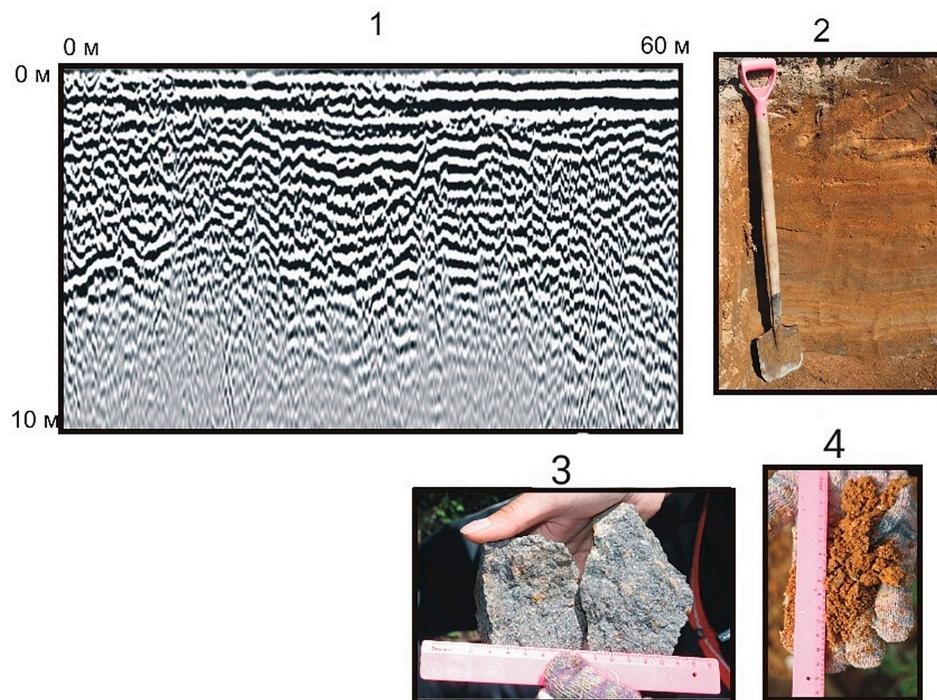


*Рис. 6. Исследуемый участок: 1 – почвенно-растительный покров;  
2 – озера; 3 – обнажения горных пород; 4 – трещинные зоны*

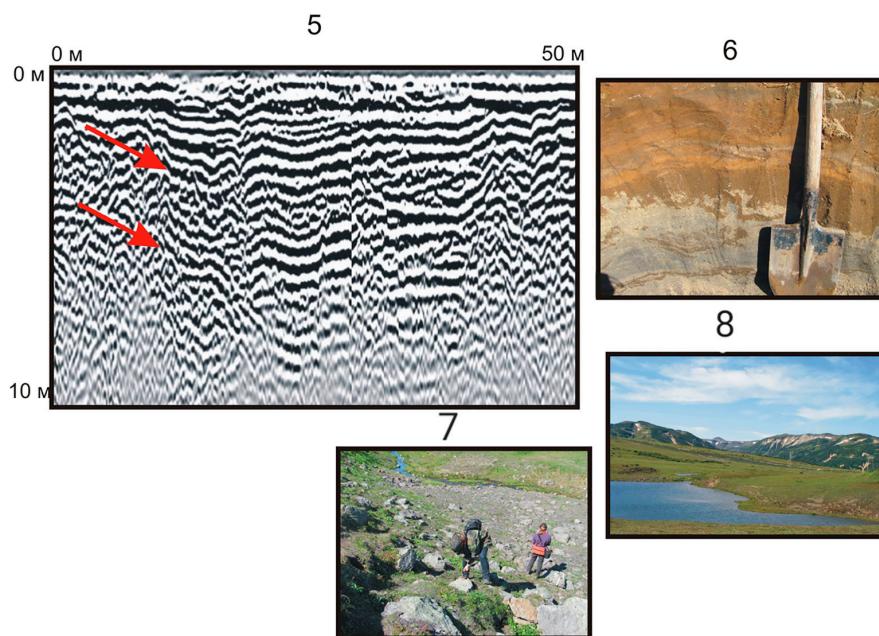
На поверхности встречаются обломки игнимбритов трещинных ареальных извержений, андезитов, дацитов, риолитов, а также слои вулканических пеплов разного состава (рис. 6).

Вулканический пепел представлен чередованием слоев желтого, светло-коричневого, темно-коричневого, черного цвета с синеватым отливом. Также имеется слой

мелкой пемзы (до 5 мм). На всех радарограммах эти слои представлены протяженными горизонтальными осями синфазности, что указывает на долгий период вулканической деятельности на данной территории, что, соответственно, за длительный период времени привело к накоплению разного состава вулканических отложений (рис. 7).



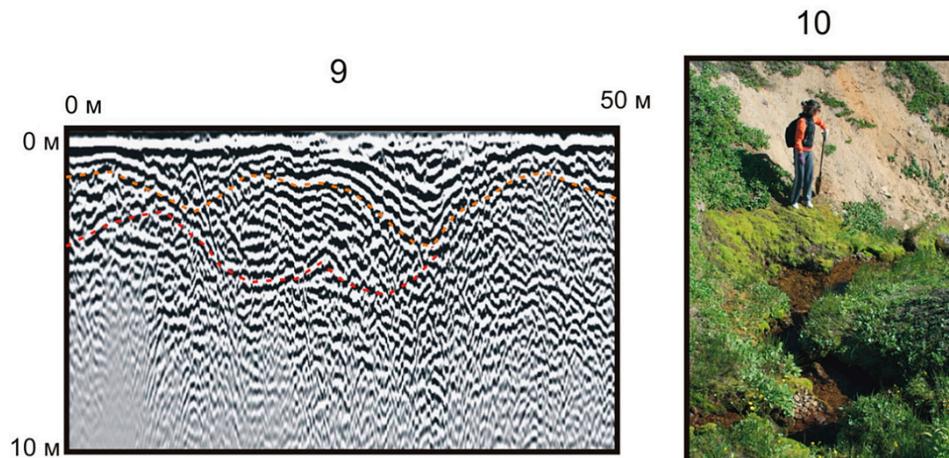
*Рис. 7. Профиль георадарной съемки с интерпретацией. Условные обозначения: 1 – радарограмма; 2 – переслаивание слоев вулканического пепла разного состава; 3 – образец горной породы; 4 – почвенный слой с включениями крупнозернистого песка*



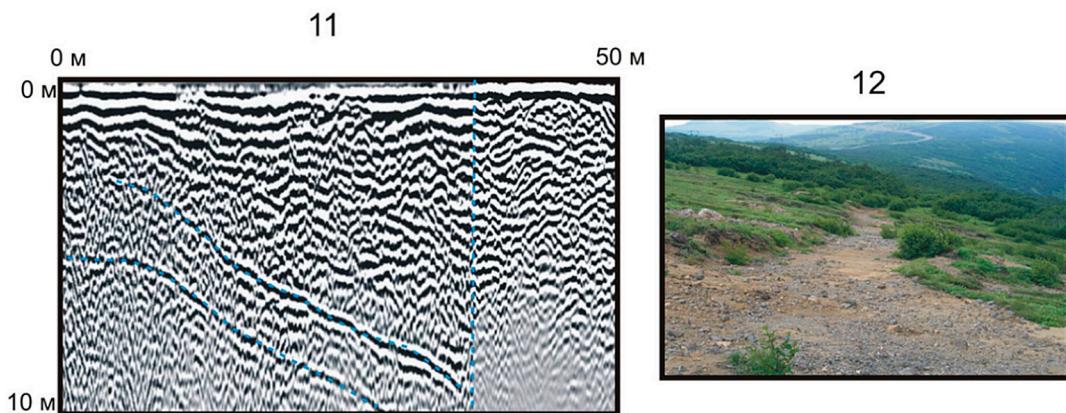
*Рис. 8. Профиль георадарной съемки с интерпретацией. Условные обозначения: 5 – радарограмма; 6 – переслаивание слоев вулканического пепла разного состава; 7 – ручей Пенистый; 8 – озера*

На радарограммах хорошо выделяется участок влагонасыщенных отложений в виде понижения, расположенного у ручья Пенистый и небольших озер. Волновая кар-

тина представлена горизонтально расположенными осьми синфазности – это отложения аккумулятивных равнин, где имеются вулканические пески (рис. 8).



*Рис. 9. Профиль георадарной съемки с интерпретацией.  
Условные обозначения: 9 – радарограмма; 10 – трещинные зоны*



*Рис. 10. Профиль георадарной съемки с интерпретацией.  
Условные обозначения: 11 – радарограмма; 12 – разрывные нарушения*

На радарограммах выделяются чашеобразные мульды со смятием слоев в складки. Границы слоев согласны друг другу, но при этом выделяются угловые несогласия (рис. 9).

На радарограммах также хорошо выделяются участки с наклонным залеганием слоев и видимым нарушением их параллельности с резким смещением относительно друг друга, что указывает на наличие не предполагаемых, а явных разрывных нарушений, имеющихся на этой территории (рис. 10).

### Заключение

Особенности детального геологического строения приповерхностной территории по данным метода георадиолокации: переслаивание слоев вулканического пепла разного состава с включениями крупнобломочного материала; аккумулятивные отложения; трещинные зоны; разрывные

нарушения. Эти особенности указывают на длительные процессы тектономагматической активности на этой территории и на явные признаки геолого-структурной локализации геотермального района. Однако это исследования приповерхностной части, но даже эти результаты указывают на важность проведения детального глубинного исследования.

Метод георадиолокации является важным методом для детального изучения территории и картирования геологических структур вулканических областей Камчатки. Однако исследования стоит проводить в комплексе и с георадаром с большей глубиной зондирования и низкой центральной частотой. Поскольку вулканические отложения имеют сложное геологическое строение, то интересно изучать всю толщу этих отложений, а также сам вулканический рельеф.

**Список литературы**

1. Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., Usacheva O.O., Kiryukhin P.A. Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2018. P. 36–55.
2. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
3. Феофилактов С.О. Блоковая структура Паужетского геотермального месторождения (Южная Камчатка): новая геолого-геофизическая модель: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Петропавловск-Камчатский, 2022. 15 с.
4. Поляков А.Ю. Анализ условий водного и газового питания Мутновского геотермального резервуара (Камчатка): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Петропавловск-Камчатский, 2018. 116 с.
5. Соколов К.О. Алгоритм обработки данных георадиолокации для выявления контуров деформационных геологических структур // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 10. С. 138–144.
6. Прокофьев И.В., Марков М.А., Пуртов А.И., Шебалкова Л.В., Ющенко В.П. Влияние свойств грунта на дальность зондирования в геолокации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2019: 15 междунар. науч. конгр. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: сб. материалов междунар. науч. конф. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). В 9 т. Новосибирск: Изд-во СГУГИТ, 2019. Т. 2. № 4. С. 237–245.
7. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Око-2. Раменское: ООО «Логические Системы», 2007. 93 с.
8. Алыков А.Н. Разработка алгоритма для обработки результатов георадиолокации с целью обнаружения объектов под землей // Вестник науки и образования. 2017. Т. 1, № 6 (30). С. 18–21.