

Новые данные о глубинном строении Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная Камчатка)

*И.Ф. Абкадыров¹, И.А. Нурдаев¹, Д.К. Денисов¹, А.В. Горбатиков²,
М.Ю. Степанова², С.О. Феофилактов¹*

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: aifgf@mail.ru, Ivandf@kscnet.ru*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Москва*

В районе Нижне-Кошелевской термоаномалии проведены сейсмологические исследования методом микросейсмического зондирования. В результате по низкоскоростным аномалиям выделены контуры глубинного канала, по которому происходит циркуляция и подъем гидротермальных растворов к дневной поверхности. Прослежены области распространения аргиллизированных горных пород.

Введение

Нижне-Кошелевская термоаномалия (т/а) находится на юго-западном склоне действующего вулкана Кошелева на высоте 750 - 800 м. Участок т/а представляет собой овально-кольцевую отрицательную геоморфологическую структуру с характерными формами термопроявлений (кипящие водные и грязе-водные котлы, пульсирующие источники, парогазовые струи). Т/а вытянута на 500 м вдоль глубоко врезанного оврага руч. Гремучего, но наиболее активная часть т/а сосредоточена на участке размером 150 × 250 м. Общий вынос тепла оценен в 25 Гкал/сек [2]. В 2007 году рядом с т/а образовано Нижне-Кошелевское Новое термальное поле, температура на поверхности которого достигала 100⁰С [8]. Структурное положение Нижне-Кошелевской т/а приурочено к зоне глубинного разлома сбросо-сдвигового типа субширотного простирания (радиального в структуре Кошелевского вулканического массива). Породы этой зоны отличаются, в целом, повышенной трещиноватостью и, следовательно, проницаемостью для поверхностных и подземных вод и газов. Строение зоны разлома, как в районе т/а, так и вдоль руч. Гремучий, не изучено. Это обстоятельство не позволяет построить геолого-геофизическую модель, объясняющую механизмы циркуляции высокотемпературных парогидротерм в центральной части геотермального месторождения. В связи с этим в 2012 году были проведены сейсмологические исследования методом микросейсмического зондирования (ММЗ). Непосредственно под т/а выделены: 1) низкоскоростная аномалия в форме чаши, которая распространяется до глубины 250 - 300 м и соответствует зоне гипергенеза современной гидротермальной системы; 2) локализованные субвертикальные аномалии, распространяющиеся глубже 3 - 5 км и приуроченные к зонам разрывных тектонических нарушений [11]. В 2017 г. проведены дополнительные исследования с целью детализации геологического строения т/а и зоны глубинного разлома в центральной части геотермального месторождения.

Методика и аппаратура работ

ММЗ основан на регистрации и спектральном анализе фундаментальной моды волн Релея в составе естественных микросейсм. Информативным параметром является искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями. Форма и глубина залегания неоднородности оценивается по распределению искажения на поверхности и частоте, на которой это искажение проявляется. На поверхности Земли над высокоскоростными неоднородностями спектральные амплитуды в определенном частотном диапазоне уменьшаются, а над низкоскоростными – возрастают [5]. ММЗ позволяет изучать разрез земной коры и устанавливать пространственное положение аномальных зон даже в сложных

сейсмогеологических условиях, при этом реализация полевых работ относительно проста и не требует значительных финансовых затрат. В связи с этим метод получил широкое применение, в том числе на Камчатке [1, 4, 7].

Во время полевых работ выполнено 4 параллельных профиля в направлении ЮЮЗ-ССВ, проходящих ортогонально центральной линии простираения т/а (руч. Гремучий). Длина профилей составила 400 - 600 м, средний шаг измерений около 50 м, шаг между профилями – 150 м (рис. 1).

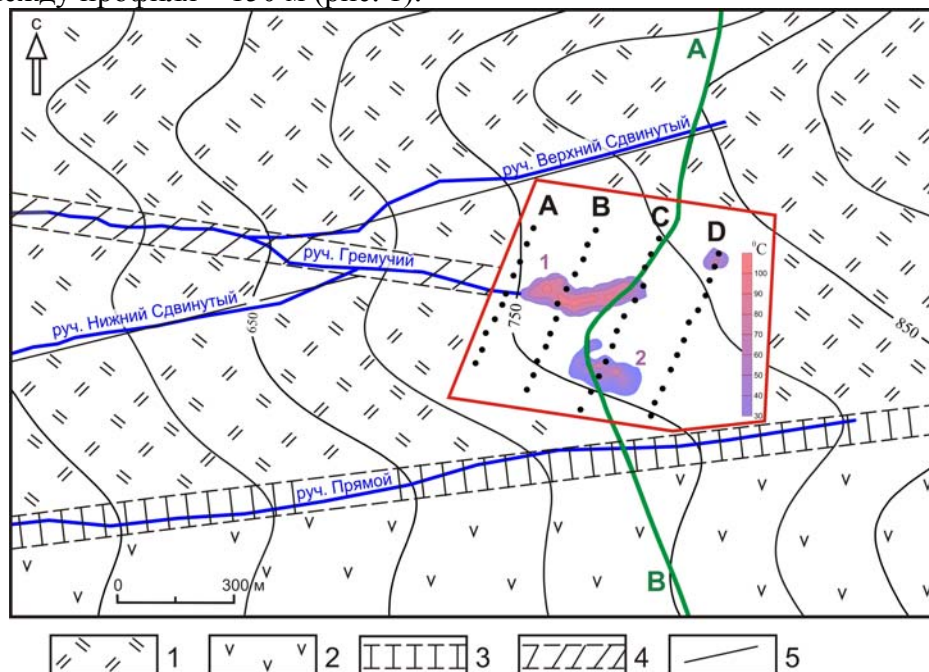


Рис.1 Схема работ ММЗ в районе Нижне-Кошелевской т/а. 1- Дациты, андезидациты; 2- андезиты, андезибазальты; 3- Древний разлом руч. Прямой (предположительно с гидротермальными изменениями пород на палеогидротермальном этапе); 4- Современная тектоническая зона руч. Гремучий; 5- Отдельные тектонические разрывные нарушения. В рамке: 1- Нижне-Кошелевская т/а; 2- Нижне-Кошелевское Новое термальное поле. Зеленая линия - профиль АВ 2012 г.; Черные точки - пункты зондирования 2017 г. по профилям «А», «В», «С», «D».

Для регистрации зондирующего сигнала были использованы три портативных широкополосных цифровых сейсмометра Guralp CMG-6TD, которые обеспечивали регистрацию микросейсм по трем компонентам в частотном диапазоне $f = 0,033 - 50$ Гц. Двумя станциями производились измерения на профиле и одновременно одной станцией на опорной точке для удаления эффекта нестационарности сигнала. Дискретизация сигнала составляла 100 отсч/с. Синхронизация отсчетов по времени обеспечивалась встроенными приемниками GPS. Время регистрации в каждой точке составляло не менее 150 минут, что определялось требованиями достижения статистической устойчивости спектра.

Фактический материал исследований

Результат исследований ММЗ представляется в виде вертикальных разрезов, отражающих распределение вариаций амплитуд микросейсм (в дБ) до глубины 2500 м ниже уровня моря (рис. 2). На всех полученных разрезах непосредственно под т/а преобладают высокоамплитудные аномалии, которые характеризуются низкими скоростями прохождения поперечных сейсмических волн. Как правило, такие аномалии в пределах высокотемпературных геотермальных систем связаны с насыщением пор и трещин парогазовой смесью, что приводит к возрастанию внутриволнового давления и, как следствие, к уменьшению эффективного напряжения и снижению скоростей упругих волн [6].

Для всех разрезов характерна чашеобразная приповерхностная аномалия до глубин 250-300 м, подобная аномалия была выделена в проводимых ранее исследованиях [11]. Эта, единая в районе т/а, зона представляет собой область насыщения аргиллизированных пород парогазовой смесью.

Особое внимание привлекают низкоскоростные субвертикальные аномалии, которые приурочены к зонам разрывных тектонических нарушений. На разрезе по профилю «А», проходящему по западной границе т/а (изотерма ниже 30⁰С), такая аномалия имеет небольшую мощность и достигает абсолютной отметки ≈ 400 м.

На разрезе по профилю «В», который пересекает центральную часть т/а, приповерхностная низкоскоростная аномалия на глубине порядка 300 м переходит в субвертикальную аномалию и распространяется на глубину более 2000 м относительно поверхности. Вероятнее всего, эта зона представляет собой трещинно-брекчиевую структуру в виде субвертикального канала, по которому происходит подъем парогазового теплоносителя к дневной поверхности.

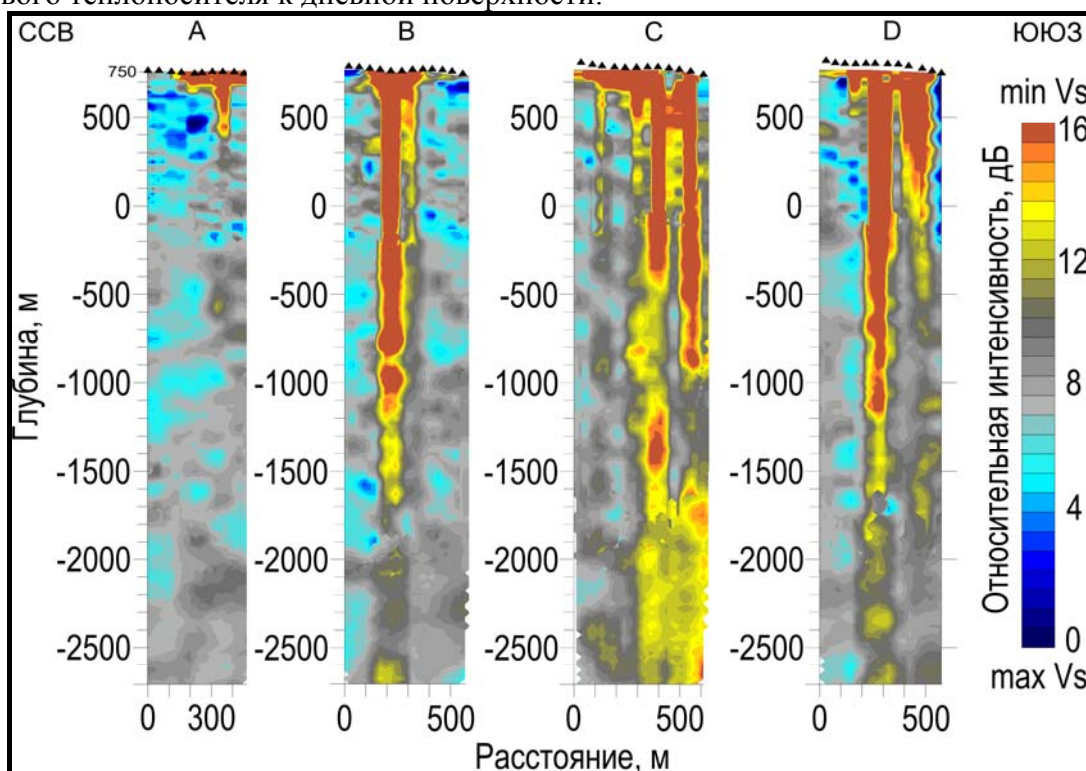


Рис. 2. Разрезы, отражающие распределение вариаций амплитуд микросейсм (в дБ), связанных со скоростными аномалиями поперечных сейсмических волн в районе Нижне-Кошелевской т/а.

На разрезе по профилю «С», проходящему по восточной границе Нижне-Кошелевской т/а и через центральную часть Нижне-Кошелевского Нового термального поля, приповерхностная низкоскоростная аномалия распространена по всей его ширине, что свидетельствует в пользу широкого развития аргиллизированных парогазонасыщенных пород на некоторой глубине. Также на этом разрезе выделяются две мощные субвертикальные низкоскоростные аномалии непосредственно под самой т/а в центральной части и ЮЮЗ части разреза под Новым термальным полем, достигающие глубин 2500 м и 1000 метров относительно уровня моря, соответственно. На глубине порядка 500 м относительно поверхности обе субвертикальные аномалии имеют общую зону сочленения: взаимосвязь этих структур была показана нами и методами электроразведки (ВЭЗ) [10]. Подобная картина с общей приповерхностной низкоскоростной аномалией, переходящей в две субвертикальные, наблюдается и на разрезе по профилю «D», который проходит восточнее основной части т/а. Центральная аномалия погружается на глубину более 2000 м, пространственно относится к Нижне-Кошелевской т/а. Эта аномалия (как и на всех профилях)

соответствует глубинному каналу, по которому происходит подъем гидротерм к дневной поверхности. Аномалия в ЮЮЗ части разреза приурочена к Нижне-Кошелевскому Новому термальному полю.

Заключение

На всех представленных разрезах под Нижне-Кошелевской т/а по низкоскоростным аномалиям пространственно выделяются следующие структуры:

1) область насыщенных парогазовой смесью аргиллизированных пород (зона гипергенеза современной гидротермальной системы), распространяющаяся до глубины 250-300 м;

2) субвертикальные каналы, погружающиеся на глубину более 2 км, по которым происходит подъем геотермального флюида к поверхности.

Выделенные каналы представляют собой участки пород с повышенной трещинно-поровой проницаемостью для флюида (и парогазовой смеси вблизи дневной поверхности) и трассируют зону глубинного разлома руч. Гремучий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-05-00007) и Дальневосточного отделения РАН (проект 18-2-003).

Список литературы

1. *Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Геранин К.О.* Скоростные неоднородности под Авачинским вулканом по данным микросейсмического зондирования // Шестнадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. Материалов, Пермь, ГИ УрО РАН, 2015. С. 3-7.
2. *Вакин Е.А., Декусар З.Б., Сержников А.И. и др.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
3. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки / Отв. ред. Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1980. 172 с.
4. *Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Арнозо Х. и др.* Развитие модели острова Эль Иерро Канарского архипелага на основе комплексной интерпретации результатов низкочастотного микросейсмического зондирования и гравиметрических исследований // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 60-70.
5. *Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е.* Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. №7. С. 66-84.
6. *Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.
7. *Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В. и др.* Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // Доклады РАН. 2010. Том 435. №1. С. 96-101.
8. *Нуждаев А.А., Чернов М.С., Феофилактов С.О. и др.* Нижне-Кошелевское Новое термальное поле: история появления и развитие // Материалы XI региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 26 ноября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН 2013. С.111-124
9. *Писарева М.В.* Зона природного пара Нижнекошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
10. *Феофилактов С.О.* Электропроводность зон разгрузки парогидротерм Паужетского и Нижне-Кошелевского геотермальных месторождений (Южная Камчатка) // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы» – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 219-222
11. *Abkadyrov I.F., Rychagov S.N., Bukatov Y.Y. et al.* Structure of the Kamchatka's Largest Nizhne (Lower)-Koshelevsky Vapour-Dominated Geothermal Deposit: New Geology and Geophysics Data // Proceedings World Geothermal Congress. 19-24 April 2015 Australia – New Zealand.