

УДК 553.078.2

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ
НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) МЕТОДОМ ВЭЗ

Денисов Д.К.,^{1,2} Феофилактов С.О.,^{1,2} Нуждаев И.А.^{1,2}

¹ Камчатский государственный университет,
² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Научный руководитель д.г.-м.н. Рычагов С.Н.

Представлены результаты электроразведочных работ, выполненных методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) на Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении, которые в значительной мере дополняют информацию, опубликованную нами в 2013 г. Проведено одномерное моделирование кривых зондирований в программном комплексе IPI2WIN по профилям, пересекающим основные термоаномалии (т/а) центральной части месторождения. На основании интерпретации геоэлектрических разрезов, в комплексе с имеющимися геолого-геофизическими данными, определена структура зон разгрузки геотермальных растворов Нижне-Кошелевской т/а, Нижне-Кошелевского Нового термального поля и предполагаемой техногенной аномалии.

Ключевые слова: *пародоминирующее геотермальное месторождение, вулканический массив, вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), кажущееся удельное сопротивление, геоэлектрический разрез, термальное поле, термоаномалия.*

ВВЕДЕНИЕ

Паужетско-Камбально-Кошелевский геотермальный (рудный) район расположен на юге Камчатки. Он включает Кошелевский вулканический массив и Камбальный вулканический хребет с приуроченными к ним крупными разгрузками парогидротерм, а также Паужетскую гидротермальную систему (рис. 1). К Кошелевскому вулканическому массиву приурочены две крупные термоаномалии (т/а) Верхне- и Нижне-Кошелевская.

Район работ интенсивно изучался в 1960-80-х гг. В последнее время здесь проводятся тематические исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН. В задачи экспедиции входит геохимическое, геологическое и гидрогеологическое опробование, изучение свойств гидротермальных глин и др. минеральных новообразований, слежение за из-

менением геохимического и температурного режимов термальных полей, изучение структуры термопроявлений геофизическими методами [12, 13].

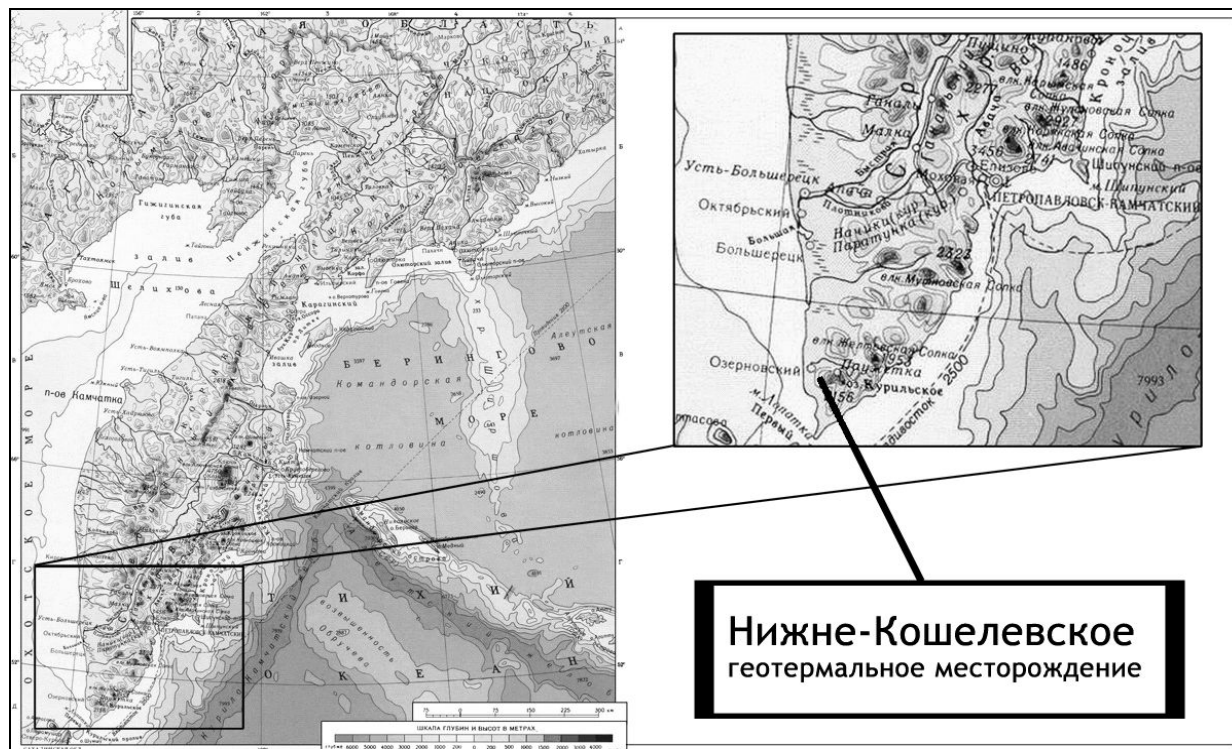


Рис. 1. Схема расположения объекта исследования [15].

С 2008 г. в районе Ниже-Кошелевского геотермального месторождения были проведены геофизические работы различными методами (гравиметрия, магнитометрия, микросейсмические зондирования) [1, 2, 3, 8], т.к. выполненные в 1960-80-х годах исследования не смогли ответить на многие вопросы: об источнике теплового питания, структуре восходящих потоков парогидротерм, строении зоны кипения перегретого пара, и др.

Целью работы является уточнение геологического строения центральной части Ниже-Кошелевского геотермального месторождения, определение структуры и природы Ниже-Кошелевского Нового термального поля и других термоаномалий на данной территории методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Нижне-Кошелевское пародоминирующее геотермальное месторождение расположено на западном склоне Кошелевского вулканического массива - скалистого хребта, вытянутого в широтном направлении (рис. 2).

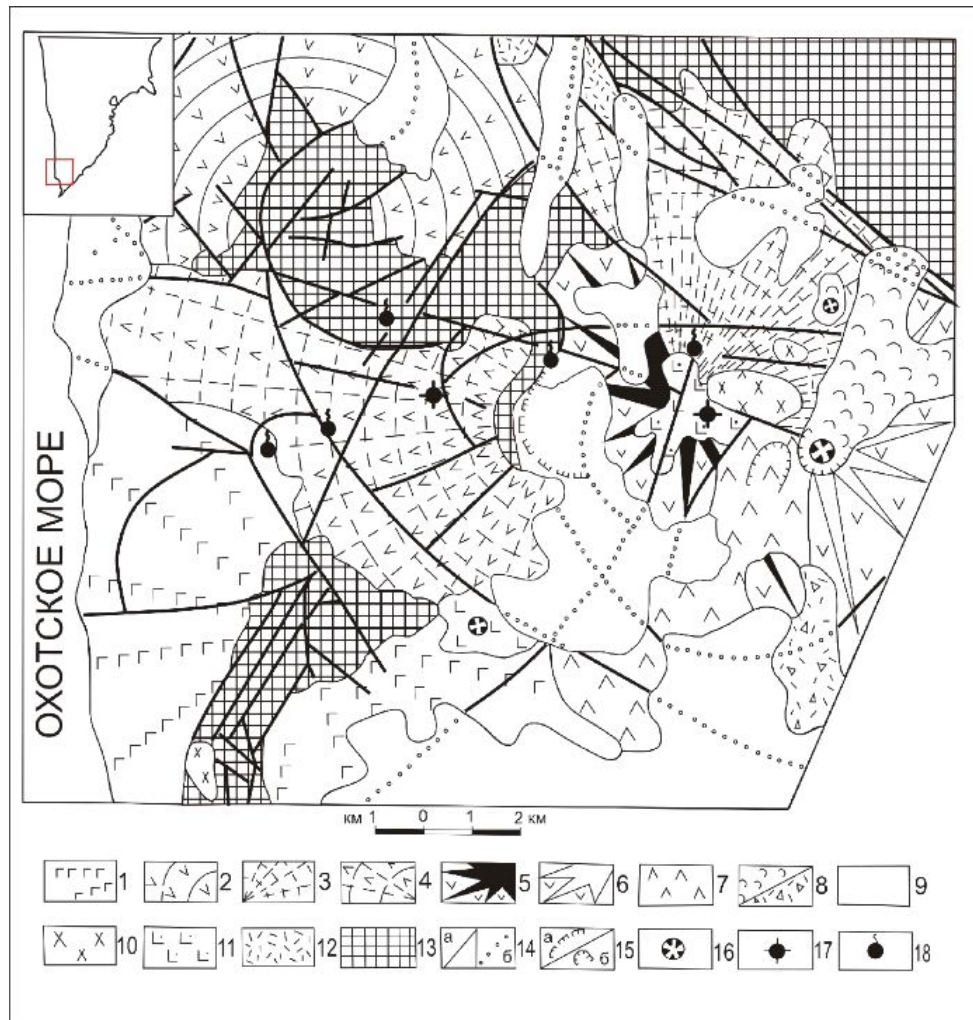


Рис. 2. Схематическая карта геологического строения и термопроявлений Кошелевского вулканического массива [4]. На врезке показан район работ: 1, 2 – эффузивные и пирокластические образования нижнечетвертичных вулканов: 1 – вулкан Дед и Баба ($\alpha\beta Q_I$); 2 – вулкан Третья Речка ($\alpha\beta Q_{II}$); 3-8 – эффузивные и пирокластические образования Кошелевского вулканического массива: 3 – вулкан Древний (αQ_{II}); 4 – вулкан Западный (αQ^1_{III}); 5 – вулкан 1545 (Валентин) (αQ^2_{III}); 6 – вулкан Восточный (βQ_{III-IV}); 7 – вулкан Центральный ($\alpha\beta Q_{III-IV}$); 8 – образования Активного кратера (Q_{IV}): а – лавовые потоки, б – отложения направленного взрыва; 9 – рыхлые отложения различного генезиса и возраста ($Q_{II-Q_{IV}}$); 10 – экструзии голоценового возраста; 11 – субвулканические интрузии долеритов (βQ_{III-IV}); 12 – предположительно туфы кислого состава верхнепаужетской подсвиты; 13 – дочетвертичные эффузивы (αN_1-N_2); 14 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 15 – отрицательные структуры: а – кальдеры; б – эрозионные кратеры и воронки взрыва; 16 – эффузивные и экструзивные конусы; 17 – основные термоаномалии: Нижне-Кошелевская – в западной части массива, Верхне-Кошелевская – в центральной; 18 – локальные разгрузки термальных вод.

Массив состоит из полуразрушенных и сросшихся между собой стратовулканов (Древний, Валентин, Западный, Центральный, Восточный), экструзивных куполов и субвулканических тел. Месторождение приурочено к вулкану Западный, сложенному лавами андезитов и андезидацитов; в основании постройки залегают лавы и туфы более основного состава.

По результатам бурения глубоких скважин были оценены прогнозные ресурсы месторождения (до 94 МВт электрической мощности) и выделена зона перегретого пара, распространяющаяся на глубину более 1.5 км [10]. Вершина паровой зоны выходит на дневную поверхность, где происходит разгрузка парогидротерм. Эта часть структуры названа Нижне-Кошелевской т/а [4]. В основании изученного разреза залегает многофазное интрузивно-субвулканическое тело диоритов - диоритовых порфири-тов.

Этот интрузивно-субвулканический комплекс перекрывается вулканогенно-осадочной толщей, вероятно, неогенового возраста. Лавы и экструзии среднего (до кислого) состава четвертичного возраста служат верхним водоупором для гидротермальной системы [12]. Более подробное описание Нижне-Кошелевского геотермального месторождения и одноименной т/а приводится в работах [7, 8, 12, др.].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Электроразведочные работы проводились методом ВЭЗ с симметричной четырехэлектродной расстановкой Шлюмберже. Разносы питающей линии составили от 5 до 1040 м, а приемной линии от 2 до 50 м. Это позволило изучить геоэлектрические свойства пород на глубину до 300 м. По окончании работ проведены контрольные измерения в 5 % объеме. Средняя относительная погрешность съемки составила 1.6 % [14]. Обработка полученных кривых кажущегося удельного сопротивления производилась в программе IPI2WIN (кафедра геофизики МГУ, А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин). Принцип обработки полученных кривых сводится к

подбору слоев и параметров сопротивления для них с максимальным совпадением теоретической и практической кривой. Коэффициент корреляции для кривых составил не более 7 %. По результатам обработки данных построены псевдоэлектрический и геоэлектрический разрезы на глубину до 300 м.

АППАРАТУРА

Для проведения работ применялась следующая аппаратура (рис. 3).

Электроразведочный генератор ВП-1000 (ООО «Элгео») предназначен для выработки в нагрузке разнополярных прямоугольных импульсов тока и может работать в двух режимах. В режиме РПИ-1 генератор выдает разнополярные прямоугольные импульсы тока без пауз (режим переменного тока). В режиме РПИ-2 генератором вырабатываются разнополярные прямоугольные импульсы тока с паузами, длительность которых равна длительности импульсов. Генератор позволяет работать на частотах от 4.88 до 0.08 Гц. Допустимый диапазон напряжений на выходе – 50-800 В. Максимальная выходная мощность в импульсе тока 1000 Вт. Прибор оснащен ЖК-дисплеем, управление функциями осуществляется с помощью кнопочного интерфейса. Питание генератора осуществляется от внешнего источника переменного напряжения 220 В, 50 Гц [5]. Для питания использовался *бензиновый генератор Yamaha EF2000iS*.

Многофункциональный электроразведочный измеритель МЭРИ-24 (ООО «Северо-Запад») позволяет проводить работы методами: кажущихся сопротивлений (КС), вызванной поляризации (ВП), частотного зондирования (ЧЗ), электрической томографии (ЭТ), естественных полей (ЕП). Измеритель состоит из двух основных узлов: усилителя постоянного тока с АЦП и формирователем сигнала калибровки, а также блока управления. Аппаратура снабжена графическим жидкокристаллическим индикатором и клавишным модулем управления. Питание осуществляется от блока аккумуляторных батарей с выходным напряжением 10.5 – 14.5 В. Прибор может работать в широком диапазоне частот от 0.15 до 680 Гц. Измеритель

оснащен встроенной памятью данных на 16 Мб. Копирование данных на персональный компьютер осуществляется через USB-порт [6]. Для устройства заземлений питающей линии были использованы стальные электроды. В приемной линии использовались латунные электроды.



Рис. 3. Электроразведочная аппаратура:
1 – генератор ВП-1000, 2 – измеритель МЭРИ-24.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На Нижне-Кошелевском геотермальном месторождении в 2013-2014 гг. выполнены зондирования в 30 точках. Пикеты располагались по двум профилям, простирающимся с Севера на Юг и с Запада на Восток, которые пересекаются на периферии Нижне-Кошелевского Нового термального поля. Шаг между пунктами измерений составлял 100 м, со сгущением в районе геотермальных разгрузок до 40 м (рис. 4), что повысило детальность исследований.

Профиль С-Ю проходит через центр Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевского Нового термального поля (рис. 5).

На геоэлектрическом разрезе по профилю в верхней части наблюдается высокоомный горизонт с удельным сопротивлением (у.с.) от 400 до первых тысяч Ом*м, по всей видимости, являющийся верхним водоупором. Этот горизонт имеет мощность от 5 – 10 м в северной части профиля до 35 – 37 м в южной части с выклиниванием на поверхность в районе термоаномалий. На глубине от первых метров под разгрузками термаль-

ных вод с погружением к периферии профиля до 10, 35 м прослеживается низкоомный горизонт (у.с. 120 – 10 Ом*м), предположительно, пароводонасыщенный.

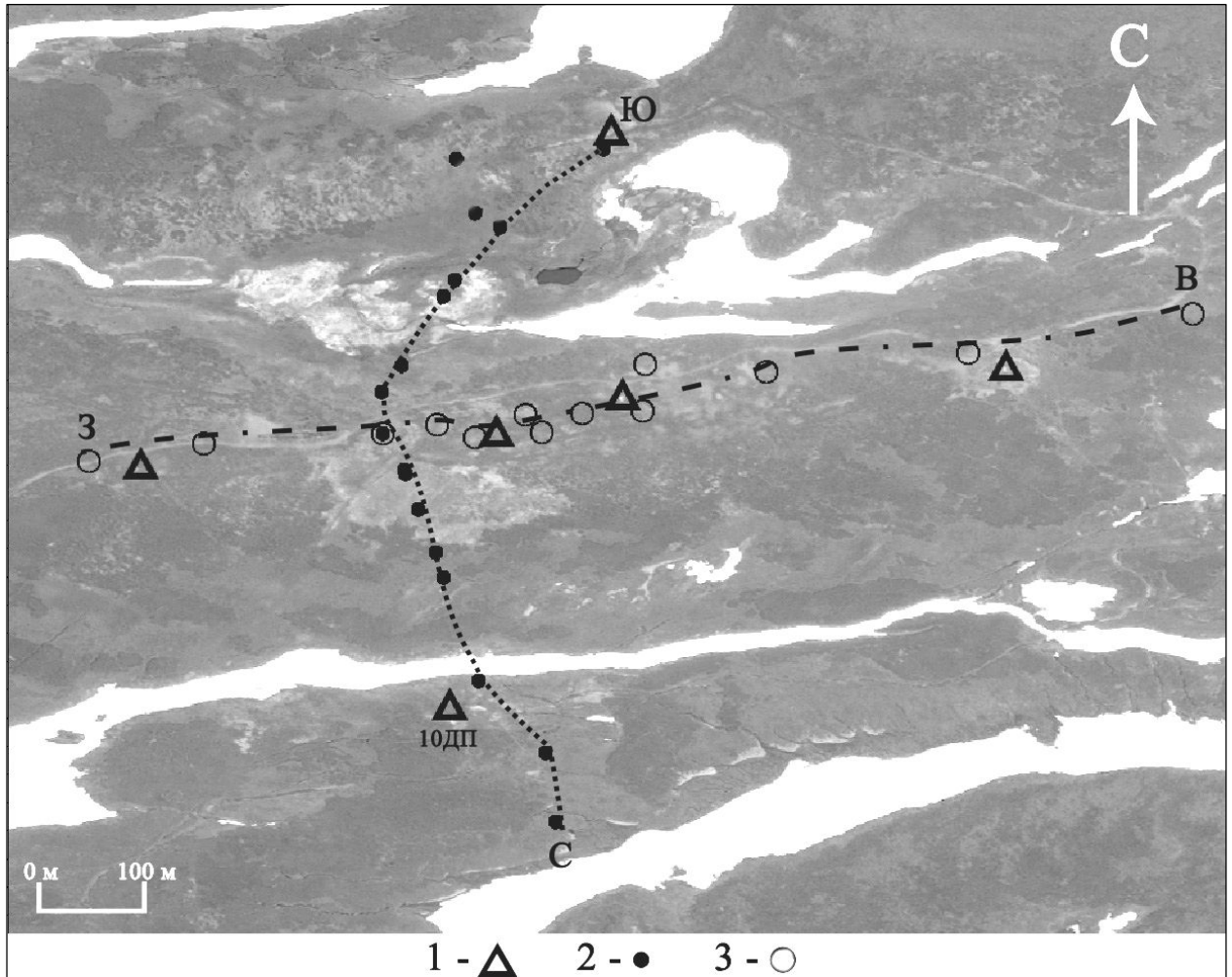


Рис. 4. Схема точек и профилей ВЭЗ: 1 – местоположение скважин, 2 – профиль ВЭЗ в направлении С-Ю, 3 – профиль ВЭЗ в направлении З-В [16].

Под обеими термоаномалиями имеется общий горизонт с низкими сопротивлениями до 10 Ом*м. Это свидетельствует о том, что они связаны на глубине одним источником теплового питания. Под Нижне-Кошелевским Новым термальным полем на глубине около 10 м выделяется область пород с у.с. до 500 Ом*м и мощностью 10 – 15 м.

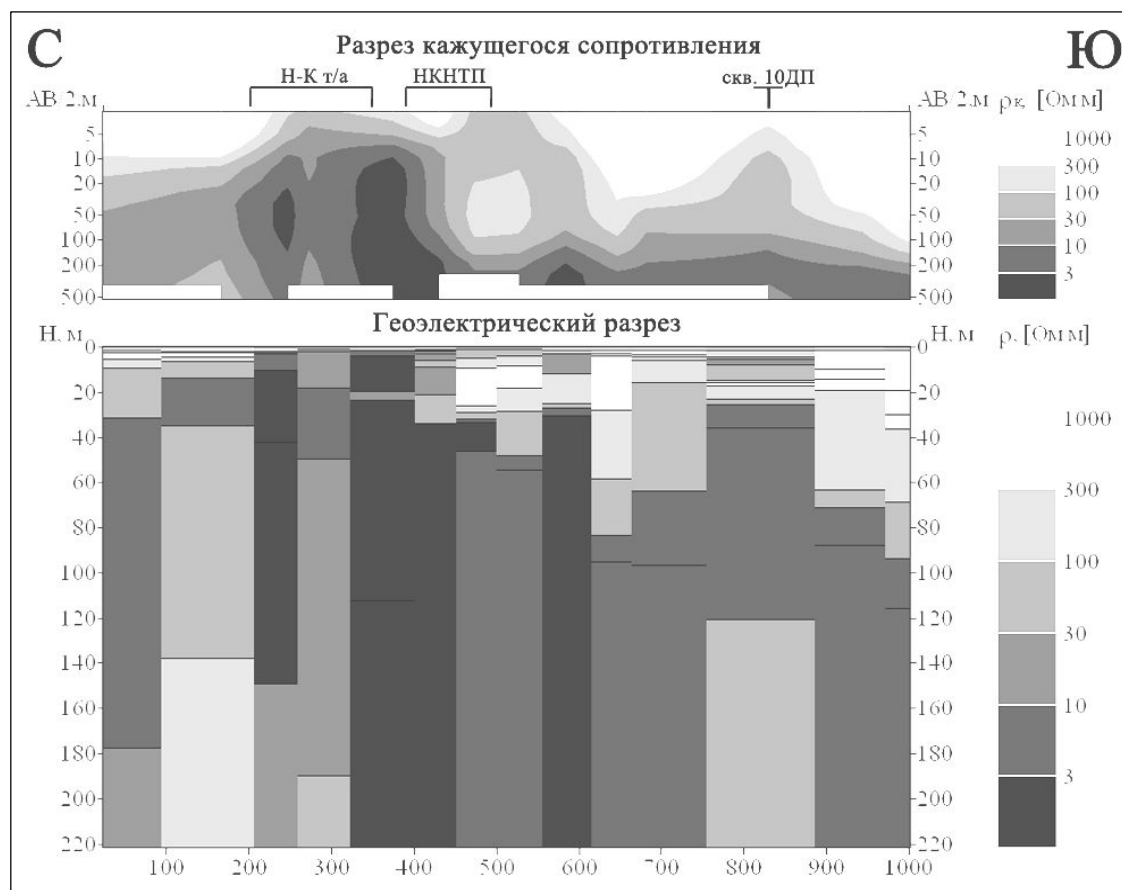


Рис. 5. Разрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю С-Ю.

Области пониженных сопротивлений (до $5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, показаны на рис. 5 черным цветом) выделяются непосредственно под разгрузками парогидротерм и уходят на глубину более 200 м.

В южной части профиля, возле скважины 10ДП наблюдается низкоомная линза с сопротивлением от 120 до $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, залегающая на глубине 2 – 3 м. Её мощность составляет до 15 м. Ниже выделяется высокоомный прослой пород мощностью 2 – 3 м с сопротивлением $400 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Вероятно, это связано с нарушением обсадки парящей скважины и попадания геотермального раствора в межпластовое пространство. Ниже, по руслу руч. Прямой имеются карбонатные плащи, происхождение которых возможно связано с этим нарушением.

Профиль Запад-Восток проходит между Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевским Новым термальным полем по периферии последнего (рис. 6).

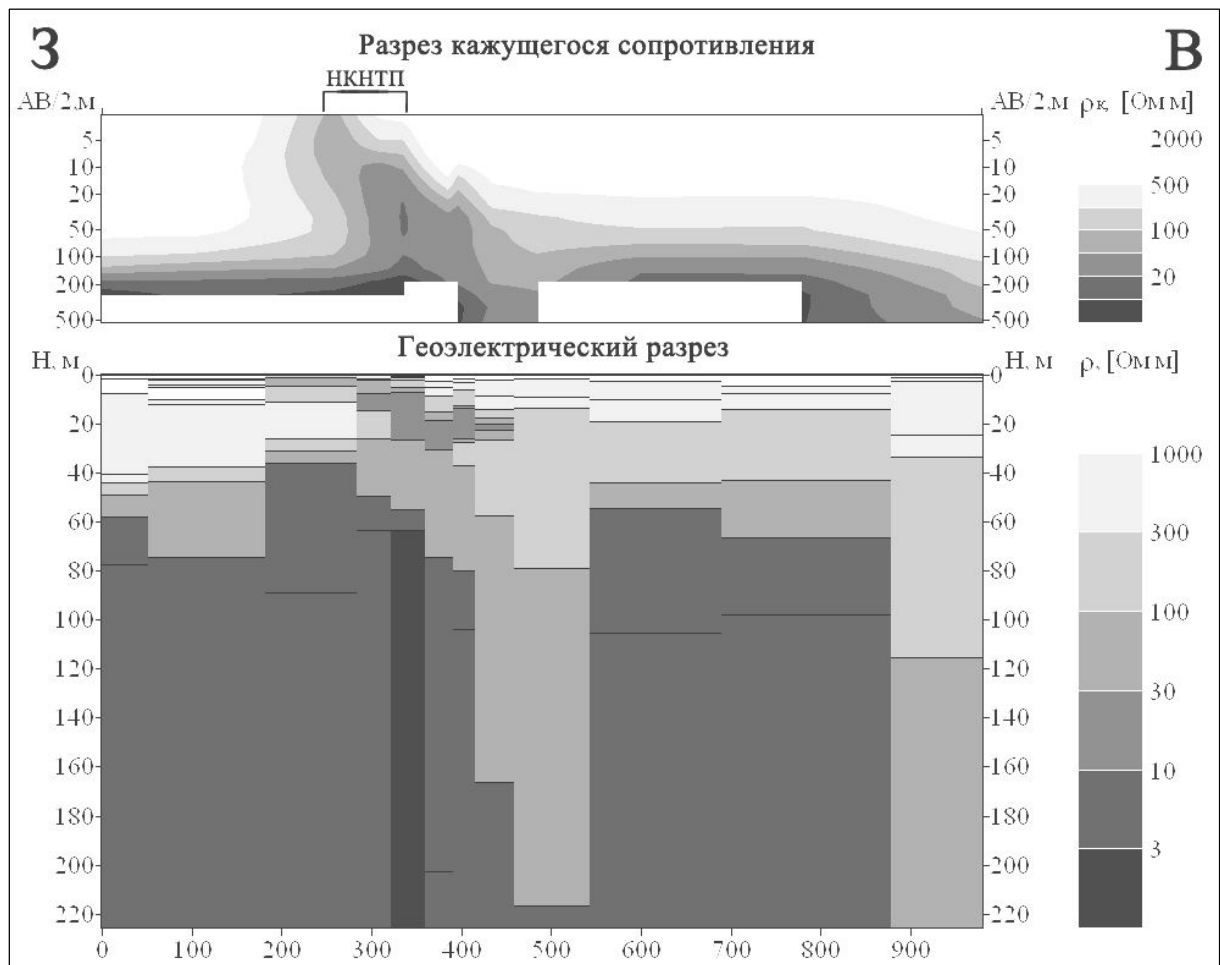


Рис. 6. Разрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю 3-В.

Верхняя часть разреза представлена высокоомной толщей с у.с. от 500 до 2000 Ом*м. Мощность этой толщи в западной части профиля составляет 40 м, далее выклинивается к поверхности в районе Нижне-Кошелёвского Нового термального поля, в окончании профиля составляет 35 м. Глубже залегает горизонт пород с удельным сопротивлением 120 – 10 Ом*м, который подходит к поверхности в районе термоаномалии.

Под Нижне-Кошелёвским Новым термальным полем выделяется вытянутая до 150 м в длину низкоомная линза пород на глубине от 10 до 30 м с сопротивлением около 10 Ом*м, показана темным цветом. Эта зона отделяется от основной проводящей области пород расположенным глубже горизонтом с сопротивлением 40-50 Ом*м. По видимому, в этой низкоомной линзе происходит конденсация и накопление растворов, поступление которых идет по относительно узкому (до 50 м) каналу.

ВЫВОДЫ

На основании вертикального электрического зондирования и сопоставления с результатами, полученными нами ранее [1, 2, 3, 8, 9], уточнена структура зон разгрузки основных термоаномалий на месторождении.

Установлена связь между Нижне-Кошелевской т/а и Нижне-Кошелевским Новым термальным полем: они соединяются общим низкоомным (пароводонасыщенным) горизонтом с сопротивлениями до 10 Ом*м.

На левом борту руч. Прямой обнаружена низкоомная линза пород с сопротивлением 20 Ом*м на глубине около 5 м. Этот горизонт предположительно связан с нарушением обсадки находящейся поблизости скважины 10ДП.

Полученные данные уточняют геологическую структуру Нижне-Кошелевского геотермального месторождения, а также дают представление о природе новообразованного Нижне-Кошелевского Нового термального поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Нуждаев И.А., Рылов Е.С., Феофилактов С.О. Результаты высокоточных гравиметрических исследований на Верхне-Паужетском термальном поле. // Природная среда Камчатки // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2011. С. 51–60.
2. Абкадыров И.Ф., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Букатов Ю.Ю. Опыт применения метода микросейсмического зондирования на геотермальных полях на примере Нижне-Кошелевской термоаномалии (Южная камчатка) // Природная среда Камчатки. Материалы IX региональной молодежной конференции «Природная среда Камчатки». 12-13 апреля 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 49-60.
3. Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю. Результаты высокоточных гравиметрических исследований на Нижне-Кошелевской термоаномалии // Природная среда Камчатки // Материалы IX региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2010г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2010. С. 71–80.

4. *Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В.* Гидротермы Кошелёвского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
5. Генератор ВП-1000. Руководство по эксплуатации. // С.-Петербург, 2010 г, 8 с.
6. Инструкция по эксплуатации измерителя «МЭРИ-24» // Москва, 2010 г, 24 с.
7. *Нуждаев А.А.* Новые результаты изучения Верхне- и Нижне-Кошелёвской термоаномалий // Материалы VI региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле» 26-27 ноября 2008 г. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. С. 43-49.
8. *Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.* Современное состояние изученности строения центральной части Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения и результаты магнитной съёмки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2013. № 2. Выпуск 22. С 231-241.
9. *Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.* Особенности глубинного строения Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения на основе сопоставления данных микросейсмического зондирования и гравиметрии.// Природная среда Камчатки // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 12–13 апреля 2011г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2011. С. 119–130.
10. *Писарева М.В.* Зона природного пара Нижне-Кошелёвского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
11. *Поздеев А.И., Нажалова И.Н.* Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелёвского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32-45.
12. *Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королева Г.П.* Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелёвского и Паужетского геотермальных месторождений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 116–134.
13. *Рычагов С.Н.* Исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН в Паужетско-Камбально-Кошелёвском геотермальном районе на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. № 12. С. 203-206.
14. *Хмелевской В.К.* Основной курс электроразведки // Издательство Московского университета. 1970. Часть 1. 241 с.
15. www.infokart.ru/karta-kamchatskogo-kraya/
16. www.kosmosnimki.ru

SPECIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF NIZHNE-KOSHELEVSKY GEOTHERMAL DEPOSIT (SOUTH KAMCHATKA)
BY VES METHOD

Denisov D.K., Feofilaktov S.O., Nuzhdaev I.A.

The results of electrical exploration works in the area of Nizhne-Koshelevsky geothermal deposits which considerably supplement information published by us in 2013 are presented. One-dimensional simulation of curve sounding in the program complex IPI2WIN on the profiles crossing the main thermoanomalies (t/a) of the central part of a deposit is carried out. Based on the received vertical resistivity profiles, in a complex with the available geologic-geophysical data the structure of zones of unloading of geothermal solutions of Nizhne-Koshelevsky t/a, Nizhne-Koshelevsky New thermal field and estimated technogenic anomaly is defined.

Key words: *vapor-dominant geothermal deposit, vertical electric sounding (VES), apparent resistance, vertical resistivity profile, thermal field, thermoanomaly.*