

Работы молодых ученых

УДК 553.838.2

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НИЖНЕ-КОШЕЛЕВСКОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА) И РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТНОЙ СЪЕМКИ

© 2013 И.А. Нуждаев, С.О. Феофилактов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: ivandf@kscnet.ru, serg415@kscnet.ru*

В работе представлена геологическая характеристика Кошелевского вулканического массива, в пределах которого находится крупнейшее на Камчатке Нижне-Кошелевское пародоминирующее геотермальное месторождение и одноименная термоаномалия. Для участка площадью 1.5 км² составлена карта магнитных аномалий ΔT_a .

Ключевые слова: пародоминирующее геотермальное месторождение, магнитная съемка, карта, график, аномалия.

ВВЕДЕНИЕ

Пародоминирующие геотермальные месторождения и вмещающие их газо-гидротермальные системы представляют большой интерес как с фундаментальной научной, так и с практической точек зрения. Они образуются в геодинамически подвижных регионах мира: островных дугах, областях тектоно-магматической активизации, глубинных разломах на границе океанических и континентальных плит. Именно эти геологические структуры характеризуются высокой проницаемостью для восходящего глубинного флюида, что приводит к формированию крупных геотермальных аномалий и геотермальных месторождений различного типа: вододоминирующих, пародоминирующих и смешанного типа. Пародоминирующие геотермальные месторождения обеспечивают получение основного объема геотермальной электрической энергии в мире (Bertani, 2010). Особый интерес для научных и практических исследований вызывают крупнейшие месторождения такого типа: Гейзерс (США), Лардерелло и Монте-Амиата (Италия), Дараджат и Камоджанг (Индонезия), Какконде и Матсукава (Япония) (Bellani et al., 2004; Vernabini et al., 1995; Fujimoto et al., 1998;

Hanano et al., 1990; Rejeki et al., 2010; Shigeno, 2010). На этих объектах пробурены скважины до глубины 5–6 км, что делает их прекрасными полигонами для изучения строения верхней части земной коры, многофазных интрузивных комплексов, которые могут служить источниками тепла и вещества для гидротермальных систем; изучения условий формирования рудной минерализации на глубинах до нескольких километров, решения других научных задач.

Нижне-Кошелевское месторождение, расположенное на юге Камчатки, относится к крупным пародоминирующим геотермальным месторождениям (рис. 1). Его запасы оценены в 90 МВт электрической мощности (Писарева, 1987). Прогнозные геотермальные ресурсы Кошелевского вулканического массива, на склонах которого находится Нижне-Кошелевское месторождение, составляют более 300 МВт (Стратегия..., 2001). В этом районе в 1960–70-ые годы были проведены региональные геофизические исследования с целью тектонического районирования территории и выделения геологических структур, контролируемых различными типами полезных ископаемых (Долгоживущий..., 1980; Супруненко и др., 1968; Тихонов, Ривош 1961). С позиции оценки тектонической структуры

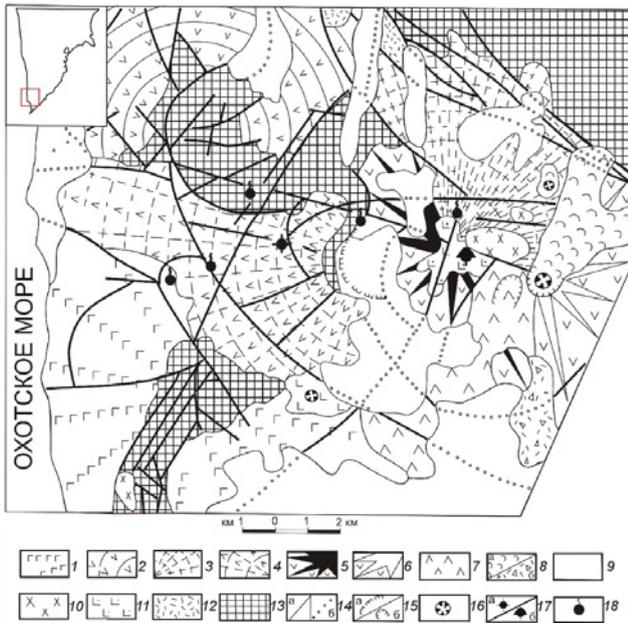


Рис. 1. Схематическая карта геологического строения и термопроявлений Кошелевского вулканического массива (Вакин и др., 1976). На врезке показан район работ: 1, 2 – эффузивные и пирокластические образования нижнечетвертичных вулканов: 1 – вулкан Дед и Баба ($\alpha\beta QI$); 2 – вулкан Третья Речка ($\alpha\beta QII$); 3–8 – эффузивные и пирокластические образования Кошелевского вулканического массива: 3 – вулкан Древний (αQII); 4 – вулкан Западный ($\alpha QIII$); 5 – вулкан 1545 (Валентин) ($\alpha Q2III$); 6 – вулкан Восточный ($\beta QIII-IV$); 7 – вулкан Центральный ($\alpha\beta QIII-IV$); 8 – образования Активного кратера: а – лавовые потоки (βQIV), б – отложения направленного взрыва (QIV); 9 – рыхлые отложения различного генезиса ($QII-QIV$); 10 – экструзии голоценового возраста: а – дациандезитов и дацитов ($\alpha\gamma QIV$), б – базальтов (βQIV); 11 – субвулканические интрузии долеритов; 12 – субвулканические интрузии долеритов ($\beta QIII-IV$); 13 – дочетвертичные эффузивы ($\alpha N1-N2$); 14 – разрывные нарушения: а – прослеженные и расшифрованные по аэрофотоснимкам, б – под рыхлыми отложениями; 15 – кальдеры (а), эродированные кратеры и воронки взрывов (б); 16 – кратеры эффузивных и шлаковых конусов; 17 – Нижне-Кошелевская т/а (а), Верхне-Кошелевская т/а (б); 18 – термальные источники.

район расположен в Южно-Камчатской грабен-синклинали (Долгоживущий..., 1980) на сочленении камчатского и курильского сегментов Курило-Камчатской дуги.

Непосредственными объектами работ авторов служат Нижне-Кошелевское геотермальное месторождение и расположенная в его центральной части одноименная термоаномалия (т/а). Здесь с целью выделения геологических структур, перспективных на поиски термальных вод или перегретого пара, выполнена аэромагнитная съемка масштаба 1:50 000, наземная магнитная съемка масштаба 1:25 000, геофизические работы

выполнялись в разные года под руководством В.К. Соловьева, Ю.Л. Корякина, Я.Б. Шварца¹. Результаты этих работ совместно с государственной геологической съемкой масштаба 1:200 000 и тематическими геолого-геохимическими исследованиями (Вакин и др., 1976) способствовали постановке Елизовской геофизической экспедицией поисково-разведочных работ на геотермальный теплоноситель. Вследствие комплексных исследований и бурения глубоких скважин на западном склоне Кошелевского вулканического массива была выделена мощная зона перегретого пара, распространяющаяся на глубину более 1500 м от дневной поверхности, оценены ресурсы месторождения (Писарева, 1987). Вместе с тем, остались нерешенными многие вопросы, касающиеся как глубинного строения месторождения, так и приповерхностных частей геологического разреза: не ясны структура зон восходящего потока парогидротерм, положение на глубине и границы термоаномалии, строение верхнего водоупорного горизонта в современной гидротермальной системе, и др.

Это послужило основанием для проведения дополнительных геофизических исследований на площади месторождения, в том числе магнитометрической съемки выполненной авторами, в составе Южнокамчатско-Курильской экспедиции Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН (Рычагов, 2008).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

Объекты исследований расположены в Паужетско-Камбально-Кошелевском геотермальном (рудном) районе (рис. 1).

Изучению геологического строения района посвящено много работ (Белоусов, 1978; Долгоживущий..., 1980; Структура..., 1993; и др.). Кратко остановимся только на характеристике Кошелевского вулканического массива. В составе Кошелевского вулканического массива выделяют 5 вулканов (Древний, Западный, Валентин, Центральный, Восточный), а также экструзивные и вскрытые эрозией интрузивно-субвулканические тела (рис. 1). Здесь и далее геологическая характеристика массива приводится на основании работ (Вакин, 1976; Долгоживущий..., 1980; Поздеев, Нажалова, 2008 и др.). *Вулкан Древний* наиболее разрушен, сохранилась северная постройка. Это типичный стратовулкан, в его

¹Шварц Я.Б. Отчет о поисковых работах, проведенных на Нижне-Кошелевском месторождении парогидротерм в 1975-1984 гг. Том III. Геофизические работы. Елизово, 1984. Петропавловск-Камчатский: ФГУ «ТФИ по Камчатской области и Корьякскому АО». 376 с.

строении принимают участие три выдержанные по простираению группы потоков. Нижняя группа – лавы пироксеновых базальтов, лавы и лавобрекчии плагиобазальтов (общая мощность 250-300 м), средняя – агглютинаты, туфы и шлаки базальтового состава, лавы и лавобрекчии оливин-пироксеновых базальтов (400 м), верхняя – лавы оливин-пироксеновых базальтов и оливин-пироксеновых андезибазальтов (мощность отложений, по-видимому, составляет 250-300 м). Возраст вулкана ниже-среднеплейстоценовый. *Вулкан Западный* сложен лавовыми потоками мелкопорфировых двупироксеновых андезитов, дациандезитов и андезибазальтов. На месте вершины конуса образовалась кальдера. По возрасту вулкан отнесен к среднему плейстоцену. *Вулкан Валентин* представляет собой конусовидный горный массив. В результате вулканотектонических перестроек и интенсивной эрозии кратера в его центральной части образовалась крупная воронка площадью около 3,5 км², в которой происходит разгрузка Верхне-Кошелевских парогидротерм. Постройка сложена четырьмя группами потоков. Первая группа представлена туфобрекчиями и туфоконгломератами андезитов и андезибазальтов (мощность 100-300 м), вторая – лавами двупироксеновых андезитов, дациандезитов и оливинсодержащих андезибазальтов (300 м), третья – лавами двупироксеновых андезитов, переходящих в оливинсодержащие андезибазальты (50-350 м). Четвертая группа потоков объединяет наиболее молодые образования вулкана: лавы пироксеновых андезибазальтов, двупироксеновых андезибазальтов и двупироксеновых андезитов (мощность 300 м). Время формирования вулкана – верхний плейстоцен (моложе первой фазы оледенения). Для вулкана Валентин характерно наличие крупных экструзий и экструзивно-субвулканических тел, обрамляющих эрозионный кратер. *Вулкан Центральный* образует крупную конусовидную постройку, состоящую преимущественно из потоков лав и лавобрекчий оливинсодержащих андезибазальтов (мощность 350 м). Вулкан не затронут оледенением, время его формирования – конец верхнего плейстоцена, начало голоцена. *Вулкан Восточный* образовался и действовал синхронно с вулканом Центральным, но продукты извержения имеют кислый состав. *Активный кратер* возник в результате взрыва вблизи вершины Восточного вулкана. В настоящее время сохранилась южная стенка. После взрыва произошло излияние лавового потока, по составу, отвечающему оливиновым базальтам.

Вся средняя часть Кошелевского вулканического массива прорвана экструзиями дациандезитов и субвулканическими телами долеритов и микродиоритов. Возраст многих из этих образований – голоценовый.

Характерной особенностью Кошелевского массива является асимметрия вулканов: новые постройки возникали на месте разрушенных частей более древних вулканов со смещением центров вулканической активности. При этом намечается и общая тенденция: смещение питающего близповерхностного магматического очага на нижнечетвертичном этапе – с востока на запад, на средне- и верхнечетвертичном этапе – с запада на восток. Формирование массива началось в среднем плейстоцене, максимальная вулканическая активность проявилась в верхнем плейстоцене, в голоцене она постепенно затухает. Для постройки, в целом, также характерно интенсивное дробление на границах вулканов, экструзивно-субвулканических тел и отдельных тектонических блоков. Высокой неоднородностью и наличием мелких рвущих тел и густой сети трещин выделяются кратерные зоны вулканов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТЕРМОАНОМАЛИЙ И ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В пределах Кошелевского вулканического массива известно два крупных геотермальных поля (Верхне- и Нижне-Кошелевская т/а), а также отдельные теплые (до 40°С) термальные источники: Сивучинские, Промежуточный, Шумный, Кальдерный, Сказка (рис. 1). В последние годы сотрудниками лаборатории геотермии ИВиС ДВО РАН обнаружены новые разгрузки термальных вод (в районе Нижне-Кошелевского геотермального месторождения, верховья руч. Прямой) (Рычагов, 2008). Здесь из-под подошвы лавового потока изливаются углекислотные нейтральные до щелочных воды с температурой на изливе от 50 до 70°С. Состав и другие физико-химические параметры воды не характерны для вод термальных полей и приповерхностного формирования. Вероятно, разгрузка имеет техногенное происхождение: выше по потоку в 200 м расположены две разведочные скважины, на устье одной из которых выходит пар под давлением до 8-10 атм.

Верхне-Кошелевская т/а расположена в эрозионном кратере вулкана Валентин на абсолютных отметках 1200-1250 м. Поле окружено экструзиями дациандезитов, в южной части кромки кратера вскрывается блок пород, отвечающих по составу и структуре микродиоритам (субвулканической фации пород среднего состава) (рис. 2а). По-видимому, источником тепла является интрузивно-субвулканический комплекс, кровля которого залегает на глубине от первых метров до первых сотен метров от дневной поверхности. Т/а является одной из наиболее

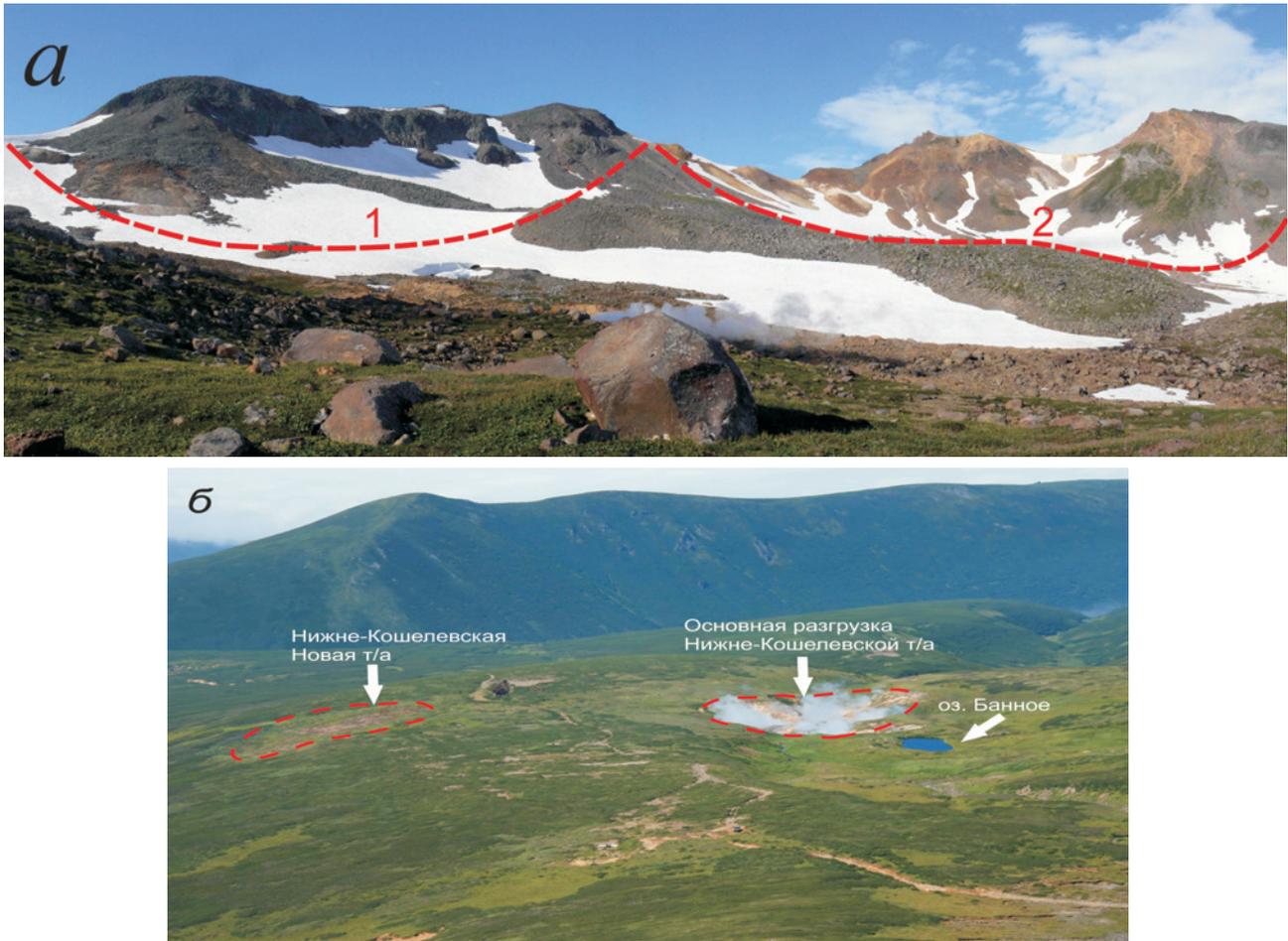


Рис. 2. Панорама района Верхне-Кошелевских парогидротерм (а) (фото С.Н. Рычагова) и район Нижне-Кошелевской термоаномалии (б) (фото И.Ф. Абкадырова): 1 – субвулканические породы (микродиориты); 2 – экструзивные дациандезиты.

крупных на Камчатке: вынос тепла оценивается в 50 Гкал/сек (Вакин, 1976). Основная разгрузка тепла в виде паро-газовых струй и мощных водных котлов (диаметром до 7 м) сосредоточена вдоль руч. Тартарары. Температуры паро-газовых струй достигают 130-150°C (Вакин, 1976; Нуждаев, 2008). Большая часть т/а расположена на слабонаклонной поверхности эрозионного кратера и представлена несколькими термальными площадками (Полигон, Западный, Пиритовый Котел и др.), отличающимися температурным режимом и условиями формирования и разгрузки парогидротерм (Калачева, 2011; Рычагов и др., 2009; Феофилактов, Нуждаев, 2009).

Нижне-Кошелевская т/а находится на юго-западном склоне Кошелевского вулканического массива на высоте 750-800 м над уровнем моря (рис. 2б). Участок термоаномалии представляет собой овально-кольцевую отрицательную геоморфологическую структуру, вытянутую на 500 м вдоль глубоко врезанного оврага руч. Гремучего. Наиболее характерными формами термопроявлений являются большие кипящие водоемы и теплые озера, более мелкие кипящие

водные и грязе-водные котлы, пульсирующие источники, паро-газовые струи, парящие грунты. Температуры грунтов не превышают 105°C (на глубине 0.8-3.0 м), температуры паро-газовых струй могут достигать на устьях отдельных выходов 120°C (в основном, 90-98°C). Наиболее активная часть т/а сосредоточена на участке размером 150 × 250 м. Общий вынос тепла оценен в 25 Гкал/сек (Вакин и др., 1976). Температурные и физико-химические характеристики т/а приведены в публикациях (Нуждаев, 2008; Рычагов и др., 2009). Важное значение имеет структурное положение Нижне-Кошелевской т/а: она приурочена к зоне глубинного разлома сбросо-сдвигового типа субширотного простирания (радиального в структуре Кошелевского вулканического массива (рис. 1)). Породы этой зоны отличаются, в целом, повышенной трещиноватостью и, следовательно, проницаемостью для поверхностных и подземных вод и газов.

Нижне-Кошелевское геотермальное месторождение разведано в 1975-84 гг. Его прогнозные ресурсы оценены в 210 кг/сек сухого пара или 90 МВт электрической мощности (Писарева,

1987). В результате бурения скважин до глубины 1500 м установлено, что основной особенностью месторождения является наличие мощной зоны перегретого пара. Зона распространяется на глубину более 1500 м и выходит на дневную поверхность вдоль оврага руч. Гремучего, образуя одноименную термоаномалию. Разведочными скважинами вскрыто многофазное интрузивно-субвулканическое тело (рис. 3): диориты выше по разрезу постепенно (?) переходят в диоритовые порфириты (граница между этими интрузивными фациями достаточно условна), контактовая зона представлена мегабрекчией интрузивных и вмещающих пород. Над этим интрузивно-субвулканическим комплексом залегает вулканогенно-осадочная толща, вероятно, неогенового возраста, которая перекрывается лавами и экструзиями четвертичного возраста от среднего до кислого состава. Таким образом, показаны основные черты геологической структуры геотермального месторождения и т/а до глубины 1500 м, но осталось не ясным внутреннее строение разреза, определяющее движение глубинных флюидов, смешанных и метеорных вод.

В последние годы в районе Нижне-Кошелевской т/а Южнокамчатско-Курильской экспедицией ИВиС ДВО РАН выполняются комплексные геофизические исследования и работы по изучению температурного режима, состава газов и термальных вод, солевых отложений, гидротермальных глин, решаются другие научные и практические задачи (Рычагов, 2008).

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ, ПРЕДШЕСТВОВАВШИЕ ПОСТАНОВКЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Методами микросейсмического зондирования и высокоточной гравиметрии получены новые данные о строении центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения и одноименной термоаномалии (Абкадыров и др., 2010). Выделена зона пород, разуплотненных и поглощающих сейсмические волны, имеющая форму чаши и распространяющаяся до глубины 150-200 м (рис. 3). Эта зона в интервале глубин 150-200 м довольно резко

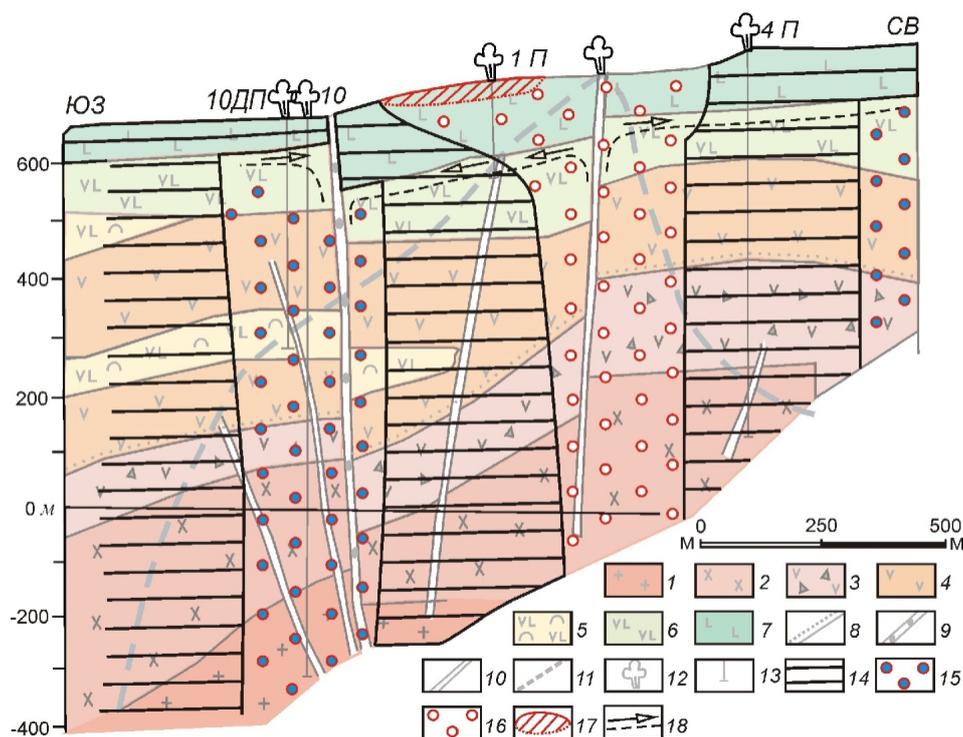


Рис. 3. Геологический разрез Нижне-Кошелевского геотермального месторождения (составлен М.В. Писаревой на основании поисково-разведочных работ и гидродинамических испытаний (1975-84 гг.)) дополненный оригинальными микросейсмическими и гравиметрическими данными (2008-2010 гг.): 1 – диориты; 2 – диоритовые порфириты; 3 – субинтрузивные ксенобрекчии; 4 – андезиты; 5 – туфы андези-базальтов; 6 – лавы андези-базальтов; 7 – лавы дациандезитов; 8 – граница интрузивно-субвулканического комплекса; 9 – закольматированные более древние разломы; 10 – открытые разломы и трещины; 11 – верхняя граница пара; 12 – проявление пара; 13 – буровая скважина и ее номер; 14 – эффузивные породы дациандезитового состава; 15 – зоны повышенной проницаемости, залеченные гидротермальными минералами; 16 – зона повышенной проницаемости для геотермальных флюидов; 17 – район Нижне-Кошелевского Нового термального поля; 18 – зона инфильтрации конденсата или восходящих термальных вод под верхним водоупором.

переходит в субвертикальную зону мощностью 200-250 м, распространяющуюся до 1.5-2.0 км и уходящую в недра интрузивно-субвулканического комплекса. Зона имеет пространственную и, возможно, генетическую связь с длительноживущим и открытым на современном этапе эволюции гидротермально-магматической системы разломом. Вероятно, эта зона представляет собой область гидротермально измененных пород с повышенной трещинно-поровой проницаемостью, по ней происходит подъем насыщенных газом глубинных гидротермальных растворов. Вблизи дневной поверхности эта область резко расширяется, породы изменяются до гидротермальных глин вследствие активного выщелачивания кислыми и слабокислыми термами. Глины обладают микропористой структурой, трещинки, и поры в них насыщены паро-газовой смесью, вследствие чего они практически не проницаемы для сейсмических волн высокой частоты.

Кроме того, современными исследованиями подтверждена выделенная Я.Б. Шварцем¹ на основании аэромагнитных и электроразведочных работ зона тектонического нарушения вдоль руч. Прямой (на разрезе (рис. 3) – крайняя левая разломная зона). Мощность этой зоны сопоставима с зоной современной разгрузки парогидротерм. Вероятно, она является элементом палеогидротермальной системы, поскольку породы зоны представлены пропилитами и кварцитами, в которых поры и трещины залечены вторичными минералами. Аналогичная зона палеогидротермальных изменений пород отмечена (не прослежена на глубину и по простиранию) на северо-восточной границе разреза. Таким образом, необходимо отметить одну из основных особенностей строения разреза центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения: он представлен чередованием блоков пород, обладающих контрастными физико-химическими свойствами: жесткими, плотными (слабопроницаемыми для парогидротерм) и разуплотненными (обладающими повышенной открытой трещинно-поровой проницаемостью). Такая структура характерна для многих геотермальных месторождений Курило-Камчатского региона (Рычагов, 1993; Структура..., 1993).

На основании маршрутных геологических исследований и обобщения фондового материала уточнено геологическое строение района Нижне-Кошелевского пародоминирующего геотермального месторождения (рис. 4). На площади работ выделяются три основных комплекса пород: экструзивно-субвулканический, его покровная фация и кальдерный. В южной части месторождения преобладают породы среднего состава: лавы андезитов и их экструзив-

но-субвулканическая фация; в северной – лавы дациандезитов и более кислых (до дацитов) пород и в привершинной части (отметка 1082) распространены экструзивно-субвулканические образования того же состава. Возраст пород соответствует возрасту Западного вулкана. Кальдерный комплекс представлен разнообразными, в основном, обломочными породами. Возраст этих отложений, вероятнее всего, верхнеплейстоценоголоценовый. Выделяются две зоны тектонических разрывных нарушений: субширотного простирания, трассирующая руч. Прямой мощностью до 300 м и северо-западного простирания, проходящая по руч. Гремучий, мощностью до 200-250 м. Более мелкие тектонические нарушения разбивают центральную часть территории на серию блоков. К этим блокам и тектонической зоне руч. Гремучий приурочена т/а. На севере территории выделяется крупная овально-кольцевая структура размером примерно 1.5×2.5 км, породы которой интенсивно аргиллизированы (до гидротермальных глин). Эта структура названа авторами с коллегами, палеогидротермальной системой Аргиллизитовой. На севере за пределами схемы выделяется еще одна палеогидротермальная система (в районе вулкана Третья Речка), локализованная в поле неогеновых вулканогенно-осадочных пород и, по-видимому, имеющая более древний возраст, чем Аргиллизитовая. Таким образом, большое влияние на геологическое строение района работ, на формирование физико-химических и петрофизических свойств вулканогенных пород оказывали гидротермально-метасоматические процессы на всех этапах эволюции Кошелевского вулканического массива.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Для проведения магнитометрической съемки в 2010-2011 гг. использовался пешеходный протонный магнитометр ММП-203. Пешеходная магнитометрическая съемка проводилась двумя магнитометрами, один из которых использовался в качестве магнитовариационной станции, другой для рядовых измерений. Расхождение показаний приборов составляет ± 1 нТл, что соответствует точности ММП-203 (Магнитометр..., 1987).

Полевые измерения проводились в районе Нижне-Кошелевской т/а на протяжении трех полевых сезонов. Профили располагались в направлении север-северо-запад. Ориентировка на местности осуществлялась с помощью GPS-навигатора GARMIN GPSMAP 62s и 100-метровой рулетки.

В 2010 г. была разбита сеть из 15 профилей, 10 из которых протяженностью 1000 м, и 5 по 500 м

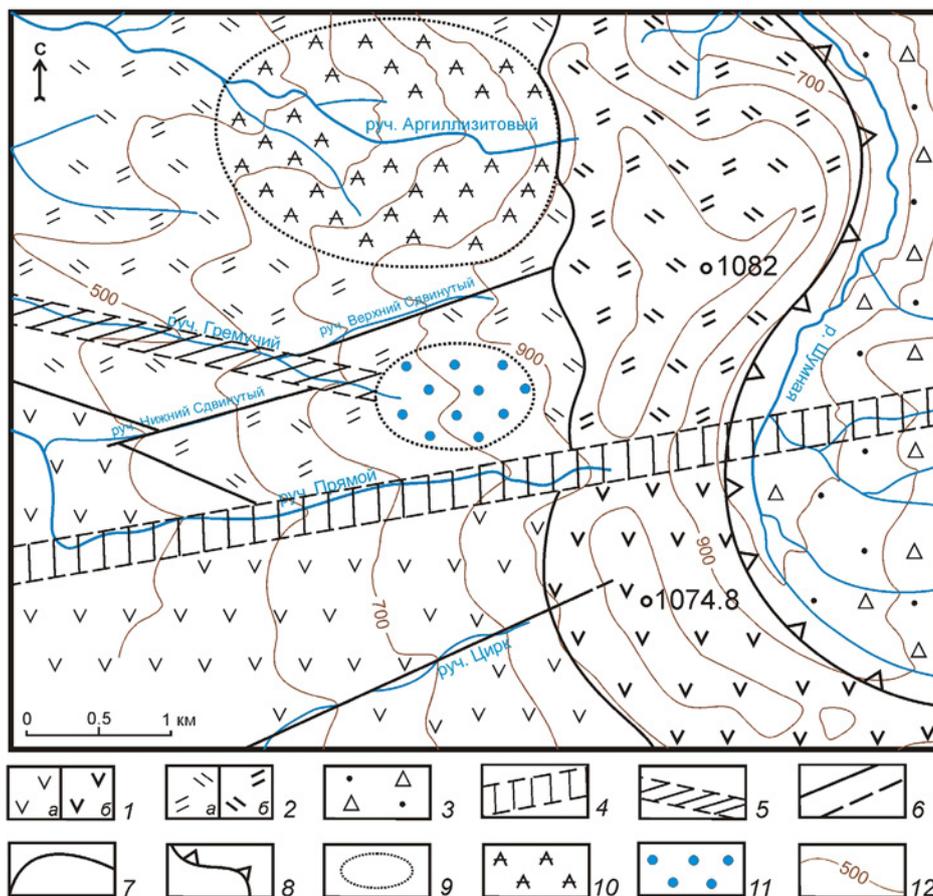


Рис. 4. Геологическая схема центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения. Составил С.Н. Рычагов с учетом данных (Писарева, 1987; Сержников и др., 1976): 1 – андезиты, андезибазальты Западно-Кошелевского вулкана: а – покровные, б – экструзивная фация; 2 – дациты, дациандезиты Западно-Кошелевского вулкана: а – покровные, б – экструзивная фация; 3 – кальдерный комплекс (лавы, брекчии, пирокластические отложения) Центрального Кошелевского массива; 4 – древний разлом руч. Прямого (предположительно с гидротермальными изменениями пород на палеогидротермальном этапе); 5 – современная тектоническая зона руч. Гремучий; 6 – отдельные тектонические разрывные нарушения; 7 – литологические (?) границы; 8 – границы кальдеры Центрального Кошелевского вулкана; 9 – гидротермально-метасоматические границы; 10 – аргиллизированные породы геотермальной системы средневерхнечетвертичного (?) возраста; 11 – современная Нижне-Кошелевская гидротермальная аномалия; 12 – изолинии рельефа.

(рис. 5). Расстояние между профилями составляло 100 м, в пределах термальной площадки – 50 м. Шаг по профилю составлял 10 м, в пределах термоаномалии сгущался до 5 м.

По результатам магнитной съемки 2010 г. неоднозначно выделилась зона сочленения центральной и южной аномалий ΔT_a . На этом участке для увеличения детальности съемки в 2011 г. проведена съемка по 5 дополнительным профилям, ориентированным вкрест простирания отрицательной аномальной зоны (восток – северо-восток). Длина профилей составляла 500 м, расстояние между профилями 50 м и шаг съемки – 5 м (рис. 5). Также были выполнены измерения по секущему профилю, проходящему через структуры: вулкан Третья речка – палеогидротермальная система Аргиллизитовая – активная часть современной Нижне-Кошелевской т/а – древний разлом руч. Прямого (рис. 4). Общая

длина профиля составила 3700 м, Шаг съемки составлял 10 м, а в пределах т/а – 5 м. Для оконтуривания выделенных отрицательных аномалий расширена сеть профилей: добавлено по 9 профилей протяженностью по 400 м на севере и на юге, и два профиля на востоке протяженностью по 400 и 500 м, шаг съемки – 10 м.

В течение всего рабочего времени (2010-2011 гг) на вариационной станции проводились измерения с интервалом 10 мин., что позволило достаточно точно фиксировать изменения магнитного поля. Наблюдаемые значения магнитного поля в 2010 г. находились в пределах от 51338 до 51444 нТл, а в 2011 г. от 51336 до 51493 нТл. Для определения точности съемки были проведены контрольные измерения в количестве 15% от общего объема наблюдаемых значений, которых в сумме за два года вышло 2930. Магнитометрические карты 2010 и 2011 гг. увязывались по ΔT_a .

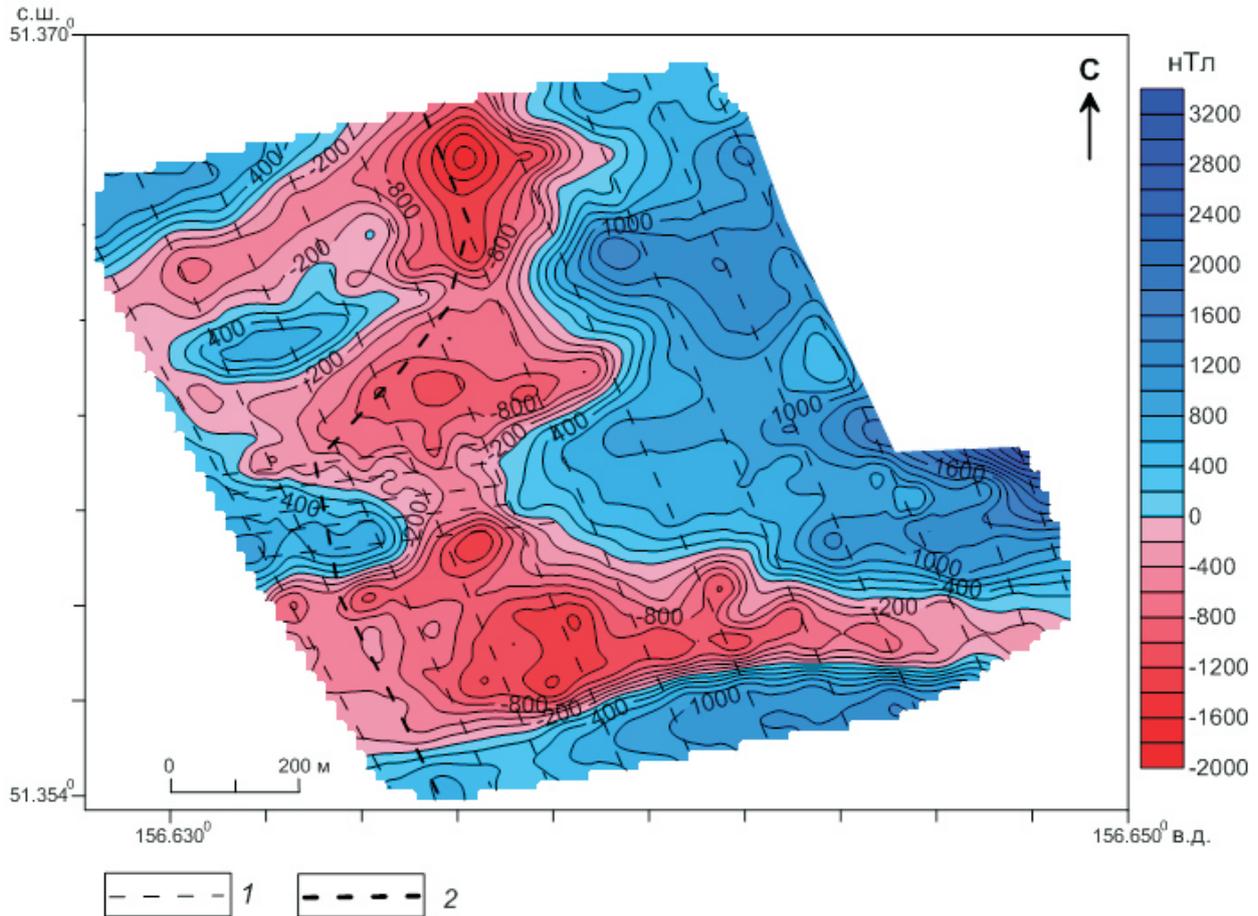


Рис. 5. Карта аномалий магнитного поля ΔT_a в районе Нижне-Кошелевских парогидротерм по данным магнитной съемки 2010-2011 гг.: 1 – профили 2010-2011 гг.; 2 – центральная часть секущего профиля 3700 м выполненного в 2011-2012 гг.

Среднеквадратичная ошибка измерений 2010 и 2011 гг. не превышала ± 10 нТл.

В 2012 г. по профилю секущему т/а была выполнена магнитная съемка с использованием современных магнитометров на эффекте Оверхаузера GEM GSM-19W v7.0 (рис. 5). Эти приборы оснащены системой GPS, имеют встроенную память, высокое разрешение 0.01 нТл и абсолютную точность 0.2 нТл при температурном режиме от -40°C до $+55^\circ\text{C}$, быструю скорость регистрации данных (Руководство..., 2007). Один прибор использовался для рядовых измерений по профилю, а другой как вариационная станция с интервалом записи 20 с. Наблюдаемые значения магнитного поля варьировали от 51508 до 51548 нТл за период съемки. Расположение на местности магнитовариационной станции не изменилось. Рядовая съемка выполнялась с шагом три метра. Использование аппаратуры такого класса позволило повысить производительность работ, а также понизить трудозатраты. Контрольные измерения были выполнены в количестве 15% от общего числа измерений – 1300, среднеквадратическая ошибка измерений равна ± 14 нТл.

РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По наблюдаемым значениям полевой магнитометрической съемки 2010 г. была составлена карта аномального магнитного поля ΔT_a для центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения. В изученном районе выделилась зона положительных значений ΔT_a до 2000 нТл и две зоны (центральная и южная) с отрицательными значениями ΔT_a до -1500 нТл (рис. 5). Положительные максимумы значений магнитного поля наблюдаются на эффузивных и пирокластических образованиях Кошелевского вулканического массива – вулкан Западный (рис. 1), состав которых не подвергался изменениям, связанным с гидротермальной деятельностью. Основную информацию об интересующих нас объектах несут отрицательные магнитные аномалии ΔT_a .

Центральная зона отрицательной магнитной аномалии приурочена к Нижне-Кошелевской термоаномалии, южная располагается по простиранию долины руч. Прямой. Ранее на основании геологической съемки и региональных

геофизических работ было показано, что руч. Прямой трассирует зону субширотного разлома (Писарева, 1987). Выделенную здесь отрицательную магнитную аномалию может объяснить, по нашему мнению, выщелачивание из пород минералов, обладающих ферромагнитными свойствами (магнетит, титаномагнетит), в процессе палеогидротермальной деятельности. В районе руч. Прямой не выявлено современных термальных источников, но по данным бурения установлены пропиллитизированные породы и вторичные кварциты на глубине уже первые десятки метров от дневной поверхности (Поздеев, Нажалова, 2008).

Карта магнитных аномалий ΔT_a , составленная по результатам измерений 2010 г., в полной мере не отражала размеры и простирание выделяемых магнитных аномалий. Не известно к чему приурочена уходящая на север аномальная область и каковы ее размеры, не ясны размеры южной аномальной области, также не ясен генезис выявленной зоны сочленения центральной и южной аномалий (район Нижне-Кошелевского Нового термального поля). Эта зона не была известна ранее и выделилась нами только по одному профилю. Возник ряд вопросов, на которые можно было ответить, только проведя дополнительные исследования.

Магнитометрические наблюдения 2011 г. были направлены на оконтуривание выделенных ранее отрицательных магнитных аномалий, детализацию съемки в районе Нижне-Кошелевского Нового термального поля и увеличение всей площади съемки. По итогам исследований на протяжении двух полевых сезонов составлена карта магнитных аномалий ΔT_a , на которой четко выделились три отрицательные магнитные аномалии: северная, центральная и южная (рис. 5). Северная аномалия приурочена к верховью руч. Верхний Сдвинутый, центральная – к Нижне-Кошелевской термоаномалии, южная – к долине руч. Прямой. В центральной части было подтверждено наличие зоны, соединяющей южную аномалию с центральной, приуроченной к термальному полю.

По секущему профилю в результате изме-

рений двух лет получены два графика распределения ΔT_a (рис. 6). Для интерпретации был взят участок 3700 м по которому имеется съемка магнитометрами ММП 203 и GEM GSM-19W v7.0 с одинаковым шагом по профилю. На рисунке показано, что графики хорошо коррелируют между собой и четко выделяются четыре крупные области отрицательных магнитных аномалий. Область 1, по-видимому, представляет собой разрывное тектоническое нарушение, пространственно или (и) генетически связанное с палеогидротермальной системой Аргиллизитовая. Область 2 является северной отрицательной магнитной аномалией (рис. 5) и, по-видимому, тяготеет к тектоническому разлому Верхний Сдвинутый (рис. 4). Эта аномалия смыкается с областью 3. Породы в этой области предположительно насыщены паро-газовой смесью и водным флюидом, так как аномалия 3 выделяется непосредственно в районе Нижне-Кошелевской т/а и интерпретируется как субвертикальная зона циркуляции глубинного теплоносителя, питающего месторождение. Данные о положении этой области хорошо согласуются с полученными ранее (Абкадыров и др., 2010). Область 4 представляет собой разрывное тектоническое нарушение (разлом), трассирующее долину руч. Прямой. Внутреннее строение и соотношение выделенных зон требует дальнейшего уточнения для понимания эволюции палео- и современных гидротермальных процессов в этом районе.

ВЫВОДЫ

1. На основании маршрутных геологических исследований и современных комплексных геофизических работ уточнено геологическое строение центральной части Нижне-Кошелевского пародоминирующего геотермального месторождения.

2. Построена карта аномального магнитного поля ΔT_a для центральной части Нижне-Кошелевского геотермального месторождения, на которой выделены три отрицательные аномалии: северная, центральная и южная. Образование южной аномалии связано с субширотной тек-

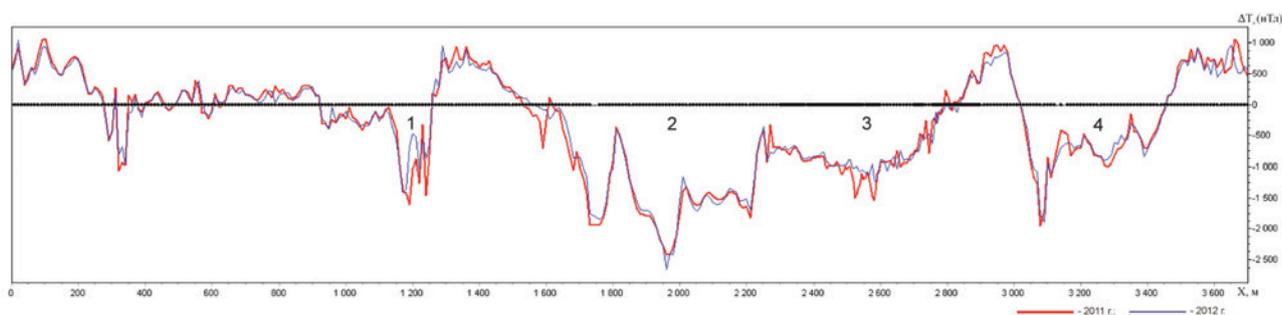


Рис. 6. Графики распределения ΔT_a по секущему профилю. Жирная линия – съемка 2011 г., тонкая линия – 2012 г.; Цифры 1-4 – области отрицательных магнитных аномалий.

тонической зоной, в пределах которой низкое содержание магнитных минералов в породах, по-видимому, обусловлено палеогидротермальной деятельностью. Центральная аномалия распространяется в области современной геотермальной структуры, где происходит активное выщелачивание многих компонентов пород, в том числе ферромагнитных минералов. Северная область отрицательных значений ΔT_a , возможно, связана с зоной разрывного тектонического разлома Верхний Сдвинутый, а также с геотермальной структурой на глубине, и может быть перспективной для поиска перегретого пара или гидротерм. Области с положительными значениями ΔT_a приурочены к слабоизмененным и неизменным, высокомагнитным вулканогенным породам Кошелевского вулканического массива.

Авторы глубоко признательны И.Ф. Абкадырову, А.А. Нуждаеву, Ю.Ю. Букатову, Е.С. Рылову, Н.В. Зайцеву, В.Р. Тишкину и другим сотрудникам Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН за непосредственную помощь в проведении магнитометрической съемки и интерпретации материала.

Особую благодарность авторы выражают своему научному руководителю зав. лаб. геотермии ИВиС ДВО РАН д.г.-м.н. С.Н. Рычагову.

Работы выполнены при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН (проект № 13-III-B-08-183) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-05-31210-мол_а).

Список литературы

- 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.
- Белоусов В.И.* Геология геотермальных полей в современных вулканических областях. М.: Наука, 1978. 178 с.
- Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В.* Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 58-84.
- Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки / Отв. ред. Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1980. 172 с.
- Калачева Е.Г.* К вопросу о формировании химического состава Кошелевских парогидротерм // Тезисы докладов региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта - 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 40.
- Магнитометр пешеходный протонный ММП-203: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Москва, 1987. 33 с.
- Нуждаев А.А.* Новые результаты изучения Верхне- и Нижне-Кошелевской 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.
- Писарева М.В.* Зона природного пара Нижне-Кошелевского геотермального месторождения // Вулканология и сейсмология. 1987. № 2. С. 52-63.
- Поздеев А.И., Нажалова И.Н.* Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 32-45.
- Руководство по эксплуатации GSM-19 v7.0. <http://www.gemsys.ca> 2007. 137 с.
- Рычагов С.Н.* Исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН в Паужетско-Камбально-Кошелевском геотермальном районе на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008 № 2. Вып. № 12. С. 203-206.
- Рычагов С.Н.* Гидротермальная система вулкана Баранского, о-в Итуруп: модель геологической структуры // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 59-74.
- Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В.* Гидротермальные глины и пирит геотермальных полей: значение в геохимии современных эндогенных процессов (Южная Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 2. С. 39-56.
- Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 г. / Отв. ред. А.П. Соколин. Владивосток: Дальнаука, 2001. 112 с.
- Структура гидротермальной системы / Отв. ред. В.И. Белоусов и И.С. Ломоносов. М.: Наука, 1993. 298 с.
- Супруненко О.Н., Декин Г.П.* Об особенностях гравитационного поля Южной Камчатки // ДАН. 1968. Т. 181. № 4. С. 956-959.
- Тихонов В.И., Ривош Л.А.* Новые данные о тектоническом строении Южной Камчатки (по результатам геологических и аэромагнитных работ) // Известия АН СССР. Сер. геол. 1961. № 6. С. 59-68.
- Феофилактов С.О., Нуждаев И.А.* Новые данные о распределении температур грунтов в районе Верхне-Кошелевских паровых струй // Материалы VII региональной молодежной

- научной конференции 25 ноября 2009 г. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. С. 101-108.
- Bellani S., Brogi A., Lazzarotto A. et al.* Heat flow, deep temperatures and extensional structures in the Larderello Geothermal Field (Italy): constraints on geothermal fluid flow // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2004. V. 132. № 1. P. 15-29.
- Bertani R.* Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report // *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Bali, Indonesia, 25-30 April 2010. 41 p.
- Bernabini M., Bertini G., Cameli G.M. et al.* Gravity interpretation of Mt. Amiata geothermal area (Central Italy) // *Proc. World Geothermal Congress*, Florence, 18-31 May 1995. Florence, 1995. V. 2. P. 859-862.
- Fujimoto K., Takahashi M., Doi N., Kato O.* High permeabilities of Quaternary granites in Japan and its implications for mass and heat transfer in a magmatic-hydrothermal system // *Water-Rock Interaction*. Japan, 1998. V. 9. P. 227-230.
- Hanano M., Sakagawa Y.* Lateral steam flow revealed by a pressure build-up test at the Matsukawa vapor-dominated geothermal field, Japan // *Geothermics*. 1990. V. 19. № 1. P. 29-42.
- Rejeki S., Rohrs D., Nordquist G., Fitriyanto A.* Geologic Conceptual Model Update of the Darajat Geothermal Field, Indonesia // *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Bali, Indonesia, 25-30 April 2010. 12 p.
- Shigeno H.* Evolution history of the Kakkonda magma-hydrothermal system, Japan, estimated through simplified-model numerical simulations // *Proc. 25th Workshop on geothermal reservoir engineering 2000*. USA: Stanford University, 2000. P. 135-142.

CURRENT LEVEL OF KNOWLEDGE ON STRUCTURE OF THE MIDDLE PART OF NIZHNE-KOSHELEVSKY GEOTHERMAL DEPOSIT, THE SOUTHERN KAMCHATKA, AND RESULTS FROM MAGNETIC SURVEY

I.A. Nuzhdayev, S.O. Feofilaktov

The Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

The paper presents a geological characteristics of the Koshelevsky volcanic massif, which is a host for the Nizhne-Koshelevsky geothermal deposit, the largest in Kamchatka with dominating steam component, along with Nizhne-Koshelevsky thermal anomaly. The authors plotted a map of magnetic anomalies ΔT_a , which covers a territory of 1.5 km².

Keywords: geothermal deposit with dominating steam component, magnetic survey, map, graphical chart, anomaly.