

УДК 553.078.2

Электропроводность зон разгрузки парогидротерм Больше-Банного и Паужетского геотермальных месторождений

Д.К. Денисов, И.А. Нурдаев, С.О. Феофилактов

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: fitzlikefitz@gmail.com

Проведены электроразведочные работы методом ВЭЗ на Больше-Банном и Паужетском геотермальных месторождениях. Использованы архивные данные электроразведочных работ 1961-1970 гг. Определена электропроводность зон разгрузки месторождений. Проведена интерпретация архивных данных с использованием современного программного комплекса.

Введение

Вопрос изучения геотермальных районов актуален во многих странах мира. В России наиболее перспективные и интересные месторождения находятся на полуострове Камчатка и Курильских островах. В работе рассматриваются Больше-Банное и Паужетское геотермальные месторождения, как одни из перспективных. Исходя из недавних исследований, Больше-Банное геотермальное месторождение имеет глубинный источник питания, но остаётся открытым вопрос строения зоны разгрузки парогидротерм, интересный как для фундаментальной науки, так и для практического использования месторождения. Паужетское геотермальное месторождение является эксплуатируемым и обеспечивает электроэнергией два поселения и производства, однако в последние годы мощность Паужетской ГеоЭС снизилась. Изучение структуры зоны разгрузки может помочь понять причины снижения параметров месторождения.

Больше-Банное геотермальное месторождение термальных вод расположено в южной части полуострова Камчатка, входит в состав Ягоднинско-Банной гидротермально-магматической системы [1, 2]. Система приурочена к купольно-кольцевой вулканотектонической структуре диаметром около 30км [8]. В южной части системы выделяется магматический центр вследствие образования крупных монофазных интрузивно-субвулканических и экструзивно-субвулканических комплексов, имеющих состав от сиенодиоритов до трахириолитов и базальтов. Термальные источники Большие и Малые Банные расположены в грабене долины р. Банной и приурочены к крупному субвулканическому телу среднего состава. Предполагается, что их тепловое питание связано с массивом сопки Горячей, вероятно, объединяющим в единую вулcano-плутоническую структуру разновозрастные (от миоцена по голоцен) интрузивно-субвулканические комплексы. Источники характеризуются температурой от 57 °С до 100 °С в котлах. Температура перегретых вод на глубине достигает 170 °С. Тип циркуляции вод преимущественно трещинно-жильный. Водоносные горизонты, по данным бурения, отмечаются в интервале глубин 300-600 до 800-1000 м. Балансовая площадь Больше-Банного месторождения составляет 45.8 км²[12]. По газовому составу воды являются углекисло-азотными. Месторождение было детально изучено Камчатским геологическим управлением с привлечением большого количества исследователей отраслевых НИИ и Академии наук СССР с 1961 по 1970 гг. Проведён комплекс геофизических работ, в том числе электроразведочные работы по площади месторождения с шагом 100 м, однако не все полученные данные были интерпретированы. Осмысление этого материала, с использованием современных программных средств и способов визуализации позволит получить информацию о детальном строении зоны разгрузки по электропроводности.

Паужетское геотермальное месторождение расположено в юго-западной части полуострова Камчатка и входит в Паужетско-Камбально-Кошелевский геотермальный (рудный) район. В 1966 г. на месторождении была построена первая в СССР геотермальная электростанция, работающая по сей день. Месторождение активно

изучалось в 1960-80-х гг., но полученные ранее данные не отвечают на вопросы о строении зоны разгрузки парогидротерм. В последние годы район месторождения на современном уровне изучается сотрудниками ИВиС ДВО РАН, включая коллектив авторов доклада [3]. В данном докладе предлагается рассмотреть электропроводность зон разгрузки парогидротерм на примере двух перспективных геотермальных месторождений.

Аппаратура и методика

При проведении электроразведочных работ на Больше-Банном и Паужетском геотермальных месторождениях был использован комплекс аппаратуры, включающий в себя: измеритель МЭРИ24 (ООО «Северо-Запад»), электроразведочный генератор ВП-1000 (ООО «Элгео»), инверторный бензогенератор Yamaha EF2000iS, комплект штыревых электродов. Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) проводились симметричной расстановкой Шлюмберже. Для интерпретации архивных материалов 1961-1970 гг. альбом кривых оцифрован. Выполнено нормирование кривых по последней приёмной линии. Интерпретация всех полученных данных проводилась в программном пакете IPI2WIN (кафедра геофизики МГУ, А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин).

Больше-Банное геотермальное месторождение

На месторождении в 2015 г. сотрудниками лаборатории геотермии ИВиС ДВО РАН проведены геофизические исследования, в их числе вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) в 10 пунктах. Разносы питающей линии составили от 5 до 1040 м, приёмной линии от 1 до 25 м. Это позволяет изучить геоэлектрические свойства пород на глубину до 300 м. Вертикальные электрические зондирования выполнены в 10 точках с шагом от 50 до 100 м по направлению юг-север [5].

Согласно архивным данным ВЭЗ были выполнены в 121 пункте, разносы питающей линии составили от 3 до 2000 м, приёмной линии от 1 до 50 м, что позволяет изучить разрез на глубину от 500 до 1000 метров. ВЭЗ выполнены по 7 профилям, перекрывающим площадь месторождения с шагом 100 м как по профилю, так и между профилями (рис. 1).

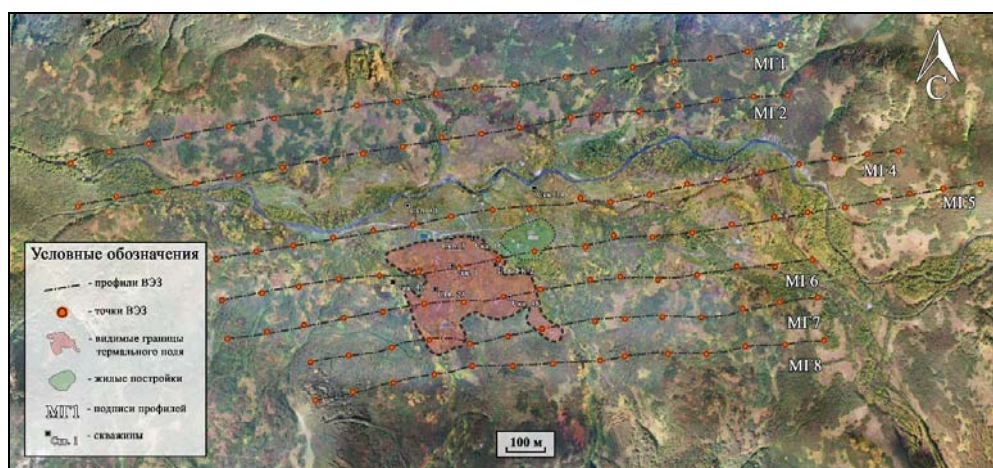


Рис. 1. Схема Больше-Банного геотермального месторождения.

Данные, полученные из архива [7], коррелируются с данными 2015 года, что позволяет учитывать их наряду с материалом, полученным при помощи современной измерительной аппаратуры. Построены геоэлектрический разрез [5] и разрез кажущихся сопротивлений (рис. 2). На разрезе кажущихся сопротивлений однозначно выделяется верхний высокоомный горизонт, мощность которого уменьшается в районе выхода гидротерм, проводящий низкоомный и подстилающий высокоомный

горизонты. На геоэлектрическом разрезе выделяется пять горизонтов пород по удельному электрическому сопротивлению. Первый обладает сопротивлениями от 1000 до 3000 Ом·м имеет мощность от 5 до 10 м, утонением до полного исчезновения в районе выхода парогидротерм на дневную поверхность, является верхним водоупором. Второй с сопротивлениями 3-5 Ом·м и мощностью от 1 до 5 м. Третий – с сопротивлением 100 Ом·м и мощностью от 10 до 50 м. Четвёртый с сопротивлениями 15-50 Ом·м наблюдается на глубинах от 150 до 500 м, является водоносным, в восточной части профилей МГ4 и МГ5 мощность увеличивается. Пятый обладает сопротивлением 4000 Ом·м, нижний водоупорный горизонт прослеживается с глубины от 100 до 500 м [5].

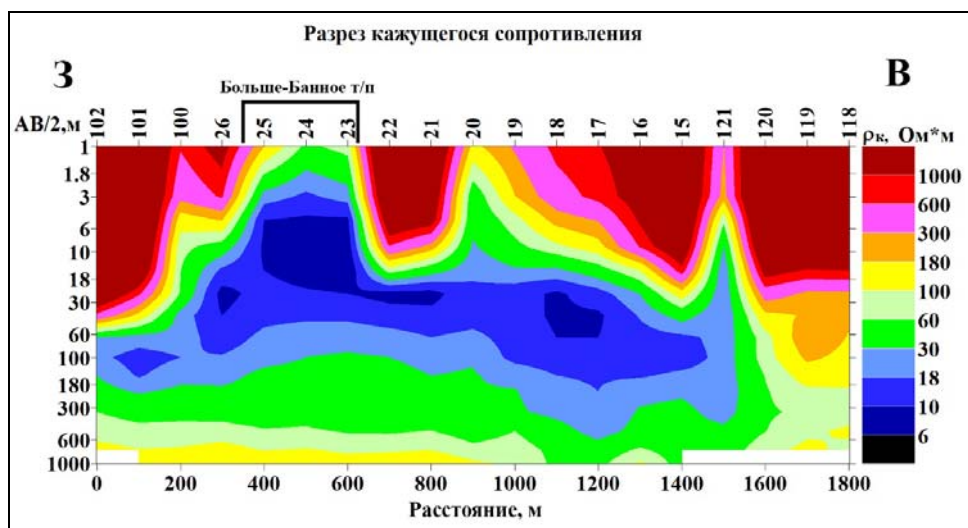


Рис. 2. Псевдоэлектрический разрез по профилю МГ4 без учета рельефа местности (построен по архивным данным [7]).

Паужетское геотермальное месторождение

В 2012 г. на месторождении проведены геофизические исследования методом ВЭЗ в 32 пунктах, по профилю, пересекающему Верхне-Паужетское термальное поле и проходящему в непосредственной близости от Восточно-Паужетского термального поля. Разносы питающей линии составили от 5 до 1040 м, приёмной линии от 1 до 25 м. Построены геоэлектрический разрез и разрез кажущегося сопротивления на глубину до 300 м, выделяется 4 горизонта пород по удельному электрическому сопротивлению. Первый горизонт - высокоомный горизонт пород с сопротивлениями 200–1200 Ом·м и мощностью от 0–20 м в С-З части профиля и до 60 м в Ю-В части. Второй горизонт - горизонт с сопротивлениями 30–60 Ом·м и мощностью от 5–40 м до 60 м в Ю-В части профиля, глубина залегания верхней кромки составляет 12–20 м. Третий горизонт - горизонт пород, выходящий на поверхность в районе Верхне-Паужетского термального поля и его верхняя кромка уходит на глубину до 90 м в Ю-В части профиля. Удельное сопротивление от 2–5 Ом·м, в верхней части - 5–15 Ом·м. Мощность этого горизонта варьирует от 45–50 м до 130 м. Четвертый горизонт с удельным сопротивлением 700–900 Ом·м, верхняя кромка которого расположена на глубине от 80 до 180 м [4].

Обсуждение результатов

Определена электропроводность пород в районе Больше-Банного и Паужетского геотермальных месторождений. На Больше-Банном геотермальном месторождении выделяются 5 горизонтов пород, различных по удельному электрическому сопротивлению. В районе термальной разгрузки определяется чашеобразная область. В основном, проводящий горизонт утолщается в местах разгрузки термального раствора и утоняется на периферии. Водоносный горизонт представлен трещиноватыми

андезитами, туфами и туфолавами. По двум профилям отмечается резкое увеличение мощности проводящего горизонта в восточной части. Верхний водоупорный горизонт отсутствует в местах выхода термального раствора. Нижний водоупорный горизонт сложен андезитами. Минимальные значения сопротивлений на месторождении составляют 3-5 Ом·м.

Зоны разгрузки парогидротерм Паужетского геотермального месторождения характеризуются одним (общим) проводящим горизонтом. По профилю, пересекающему все основные геологические структуры месторождения [6], определены три чашеобразные области, предположительно связанные с тектоническими (тектоно-магматическими) блоками пород. В целом, проводящий горизонт подходит к поверхности в местах разгрузки гидротерм и погружается к периферии термальных полей [11].

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам Южнокамчатско-Курильской экспедиции за содействие в выполнении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-35-00138).

Список литературы

1. *Апрелков С.Е.* Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки // *Тектоника*. 1971. №2. С. 105-111.
2. *Белоусов В.И.* Геология геотермальных полей. М.: Наука, 1978. 176 с.
3. *Денисов Д.К., Нуждаев И.А., Феофилактов С.О. и др.* Геофизические исследования в районе Больше-Банного геотермального месторождения (Камчатка) // *Материалы девярых научных чтений памяти Ю.П. Булашевича*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2017. С. 164-167
4. *Денисов Д.К., Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.* Изучение геологического строения Паужетского и Нижне-Кошелёвского геотермальных месторождений методом ВЭЗ (Южная Камчатка) // *XI Региональная молодёжная научная конференция «Исследования в области наук о Земле»*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 77-96.
5. *Денисов Д.К., Нуждаев И.А., Феофилактов С.О.* Строение зоны разгрузки парогидротерм Больше-Банного и Паужетского геотермальных месторождений по геофизическим данным // *Инженерная и рудная геофизика 2018*. Алматы: КНИТУ им. К.И. Сатпаева, 2018.
6. *Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки*. М.: Наука, 1980. 172 с.
7. *Коваленко В.Я., Зальмарович И.И.* Промежуточный отчёт о результатах работ на Больше-Банном месторождении термальных вод в 1962г. Альбом ВЭЗ // *Северо-восточное геологическое управление, Камчатское РайГРУ*. Петропавловск-Камчатский, 1968. С. 50-59.
8. *Рычагов С.Н., Бойкова И.А., Сандимирова Е.И.* Ягоднинско-Банная гидротермально-магматическая система (Камчатка): контроль цеолитового, рудного и геотермального месторождений: *Материалы XII петрограф, совещ. «Петрография магматических и метаморфических горных пород»*. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2015. С. 534-539.
9. *Сугробов В.М.* Комплексные геофизические исследования геологического строения термальных вод Камчатки. М.: Наука, 1985. 110 с.
10. *Феофилактов С.О.* Электропроводность зон разгрузки парогидротерм Паужетского и Нижне-Кошелёвского геотермальных месторождений (Южная Камчатка) // *Вулканизм и связанные с ним процессы*. Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 219-222
11. *Феофилактов С.О., Рычагов С.Н., Букатов Ю.Ю. и др.* Новые данные о строении зоны разгрузки гидротерм в районе Восточно-Паужетского термального поля (Южная Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. 2017. № 5. С. 36-50.
12. *Чудаев О.В., Челноков Г.А., Брагин И.В. и др.* Геохимические особенности распределения основных редкоземельных элементов в Паратунской и Большебанной гидротермальных системах Камчатки // *Тихоокеанская геология*. 2016. Т. 35, № 6. С. 102-119.