

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Пушкарев П.Ю., Хмелевской В.К., Бойченко Д.А., Голубцова Н.С.

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Территории, на которых извлекаются геотермальные ресурсы, постоянно расширяются, и в перспективе возможна эксплуатация этих ресурсов в пределах древних платформ. Это предполагает бурение глубоких (до 10 км) скважин и создание искусственных резервуаров. На этапе регионального прогноза глубинных ресурсов перспективным представляется использование в комплексе геолого-геофизических данных информации о коровых аномалиях электропроводности. При детальном исследовании выбранных под бурение площадей возможно построение геоэлектрических моделей, характеризующих строение и состояние земной коры. Возможности электромагнитного мониторинга создания и эксплуатации резервуара с поверхности более ограничены. Однако применение электромагнитных зондирований на всех этих трёх этапах позволит снизить риски, связанные с чрезвычайно сложными процессами создания глубоких скважин и резервуаров.

Ключевые слова: геотермальные ресурсы, петротермальная энергия, электромагнитные зондирования, магнитотеллурика

Вследствие глобального роста потребностей в энергоресурсах и развития технологий их добычи, растут территории, на которых извлекается геотермальная энергия. Если ранее эти ресурсы в основном использовались в регионах с выраженной на поверхности геотермальной активностью, то в последнее время всё шире эксплуатируются геотермальные ресурсы в районах, где такой активности не наблюдается и, главное, глубинные температуры, в большинстве случаев, ниже. В перспективе возможно использование тепла недр Земли в любой точке её поверхности, в том числе в пределах древних платформ, характеризующихся небольшими значениями теплового потока. Правда, при этом для достижения температур 250 – 350 °С, необходимых для выработки электричества, глубина скважин должна быть порядка 10 км [1].

Геотермальные ресурсы можно разделить на гидротермальные и петротермальные. Первые стали разрабатываться раньше, они связаны с подземными термальными водами. По мере истощения некоторых их месторождений, началось использование гидродинамического подпора с помощью нагнетательных скважин. Для использования ресурсов платформенных областей предлагается использовать замкнутые петротермальные циркуляционные системы (ПЦС). В такой системе поверхностная вода закачивается в нагнетательную скважину, нагревается в созданном с помощью гидроразрыва резервуаре (коллекторе), и откачивается через эксплуатационную скважину (рис. 1).

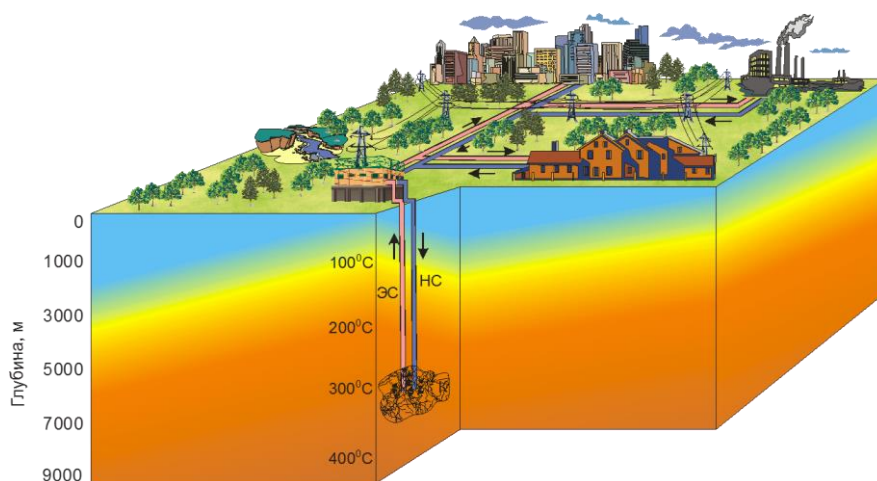


Рис. 1. Схема петротермальной циркуляционной системы.

ЭС – эксплуатационная скважина, НС – нагнетательная скважина, К – коллектор.

Важным критерием выбора мест размещения ПЭС является близость к потребителю электроэнергии и, особенно, горячей воды, если предполагается её использование для теплоснабжения. Однако эффективность выбора может повысить использование геофизической информации, в том числе результатов глубинных электромагнитных (ЭМ) зондирований. Вообще их применение возможно на трёх этапах:

- 1) региональных исследований, на котором выявляются зоны вероятного повышения глубинных температур, где требуемая глубина бурения может оказаться пониженной;
- 2) детальных изысканий, глубинных и малоглубинных, в выбранном для строительства ПЭС районе;
- 3) мониторинга, для картирования резервуара в процессе его создания и эксплуатации.

Интересующий нас диапазон глубин достигает 10 и более км, и большая его часть в пределах древних платформ отвечает кристаллическому фундаменту или, иными словами, консолидированной земной коре. В результате ЭМ зондирований, в первую очередь магнитотеллурических (МТ), накоплен большой объём информации о коровых аномалиях электропроводности, созданы карты коровых аномалий различных масштабов – от отдельных регионов до территории бывшего СССР (см. пример на рис. 2) и даже всего мира [2].

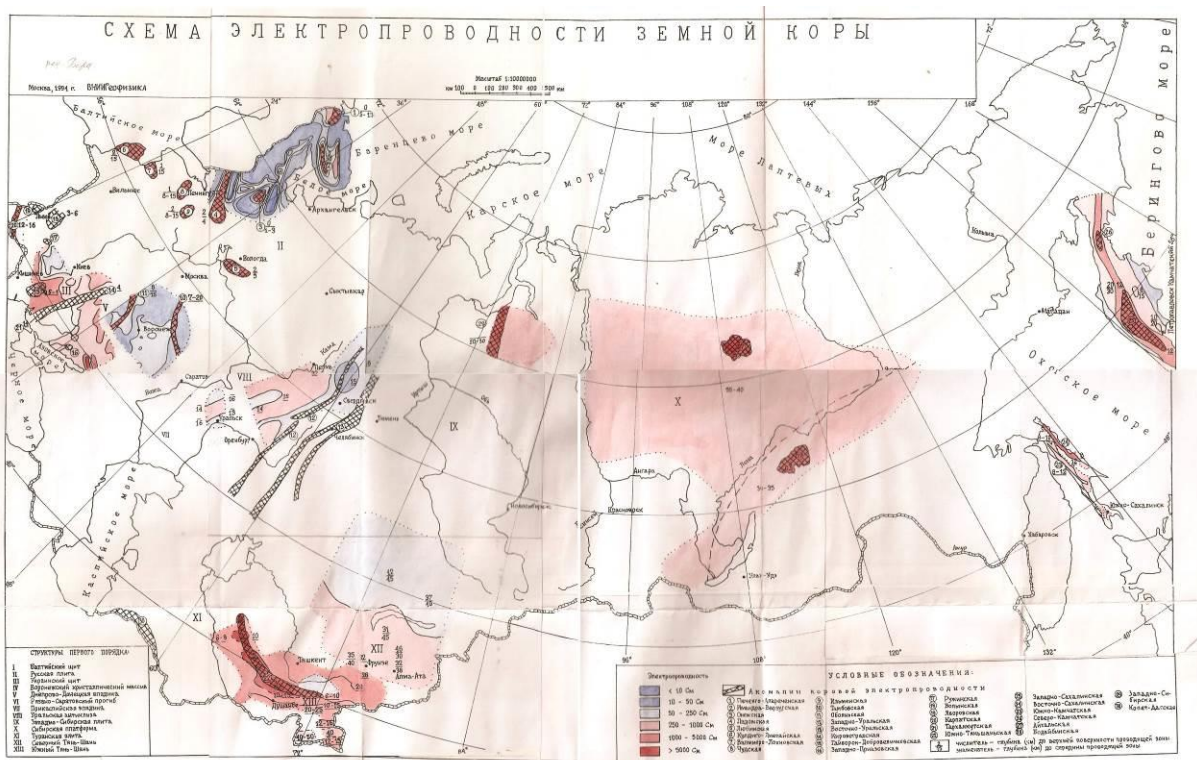


Рис. 2. Схема электропроводности земной коры бывшего СССР, построенная под редакцией М.Н. Бердичевского. Цветом показаны проводимости аномалий.

Достаточно подробно исследована связь коровой электропроводности с геотермическим режимом недр [3]. И, хотя природа ряда аномалий остаётся дискуссионной, на наш взгляд, есть хорошие перспективы использования информации о коровой электропроводности для прогноза петротермальных ресурсов [4]. Так, природа некоторых аномалий может быть связана с современной тектонической активизацией, сопровождающейся внедрением магмы и флюидов. Ряд аномалий связан с глубинными шовными зонами, флюидонасыщенными и/или графитизированными, которые могут обеспечивать повышенный тепломассоперенос. Таким образом, информацию о коровой электропроводности необходимо использовать в комплексе геолого-геофизических данных при прогнозе петротермальных ресурсов.

На этапе детальных изысканий на выбранном под строительство участке часто применяется лишь малоглубинная геофизика. Однако при проектировании ПЭС желательно знать строение и свойства недр до глубин порядка 10 км, которых могут достичь скважины и на которых будет создаваться резервуар. Соответствующая геоэлектрическая модель позволит оценить глубины залегания отдельных горизонтов, выявить возможные тектонические нарушения и другие аномальные зоны. Серьёзной проблемой, ограничивающей возможности ЭМ зондирований, будет

экранирование глубинных коровых аномалий из-за концентрации тока в проводящем осадочном чехле, подстилаемом высокоомным фундаментом. Ещё одной проблемой может быть высокий уровень промышленных ЭМ помех, поскольку ПЭС предполагается строить вблизи потребителей электроэнергии и горячей воды. Впрочем, в этом случае могут быть проведены ЭМ зондирования в поле мощного искусственного источника.

Мониторинг петротермальной системы представляется наиболее сложной задачей. Картирование резервуара с поверхности затрудняется маленьким соотношением его мощности и глубины залегания, а также упомянутым выше эффектом экранирования: возбуждение изометричного объекта, как гальваническое (за счёт перетекания тока из осадочного чехла), так и индукционное (за счёт ЭМ индукции в резервуаре), невелико. Нами было выполнено моделирование МТ поля над резервуарами с сопротивлением $5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, помещёнными в высокоомный фундамент, перекрытый тонким осадочным чехлом, и расположенными на разных глубинах, пример модели приведён на рис. 3 [4]. Мощность резервуаров составляла 100 м, а размеры в плане - $300 \times 200 \text{ м}^2$ и $3000 \times 2000 \text{ м}^2$. Оказалось, что аномалия кажущегося сопротивления не превышает 5 % уже при достижении глубин залегания 200-300 м для первого, и 1000-1500 м – для второго резервуара.

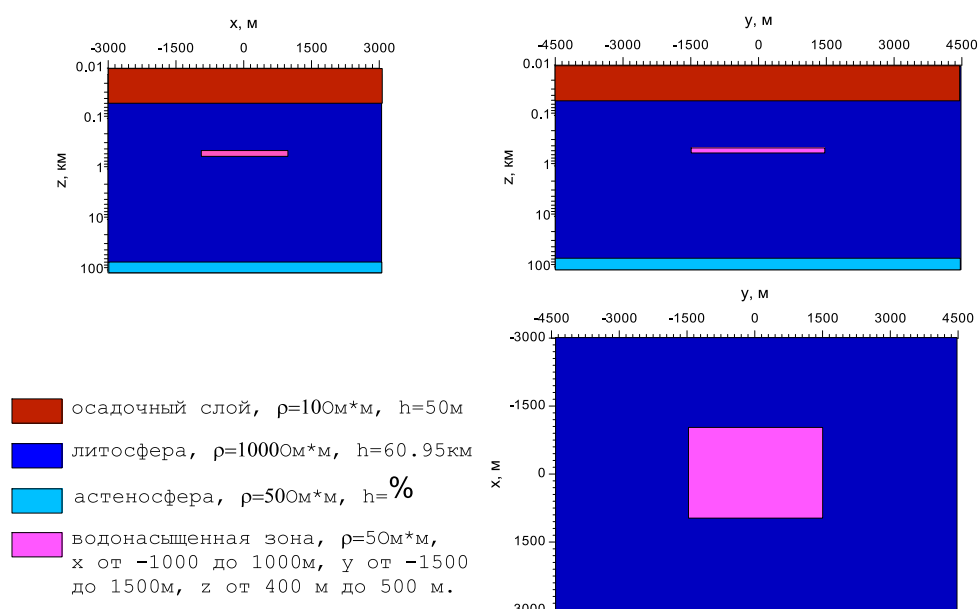


Рис. 3. Пример геоэлектрической модели резервуара. Срезы в плоскостях $y = 0$, $x = 0$ и $z = 450 \text{ м}$.

Более информативными могут быть скважинные или скважинно-наземные измерения полей искусственных источников, впрочем, это потребует решения ряда технических вопросов, поскольку речь идёт об очень больших глубинах, температурах и давлениях. Помимо картирования резервуара как проводящего объекта, существует подход, основанный на анализе сигналов, вызываемых растрескиванием горных пород при гидроразрыве, однако этот подход требует обоснования.

В заключение отметим, что создание ПЭС будет технически очень сложным и весьма дорогостоящим мероприятием. Применение геофизических методов, в том числе ЭМ зондирований, на всех трёх вышеупомянутых этапах, не приведёт к существенному удорожанию, но может снизить риски и заметно повысить эффективность создания ПЭС.

По мнению авторов, попытки использования петротермальных ресурсов платформенных областей могут быть сделаны уже в ближайшие годы, и построение соответствующего оптимального комплекса геофизических методов, включая выбор и развитие технологий ЭМ наблюдений и методики интерпретации ЭМ данных, является актуальной задачей. Необходимость её решения, в числе других, определило тематику работ Научно-образовательного центра (НОЦ) «Геофизика в геоэнергетике», открытого недавно на Геологическом факультете МГУ. В его рамках координируется работа сотрудников факультета и других организаций по обучению магистрантов и проведению исследований по трём направлениям: «нефтегазовая геофизика», «геотермальная геофизика» и «малоглубинная геофизика».

Данная публикация основана на результатах работ, выполненных при поддержке CRDF (грант RUG1-7026-MO-11) и РФФИ (гранты 11-05-92501-АФГИР-Э_а и 11-05-00496-а).

1. Гнатусь Н.А., Хуторской М.Д., Хмелевской В.К. Петротермальная геоэнергетика и геофизика // Вестник МГУ, Серия 4 (Геология), 2011, № 3. С. 3-9.
2. Жамалетдинов А.А., Кулик С.Н. Крупнейшие аномалии электропроводности мира // Геофизический журнал, 2012, № 4. С. 22-39.
3. Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Логвинов И.М. Тепловое поле и объекты высокой электропроводности в коре и верхней мантии Украины // Физика Земли, 2007, № 4. С. 28-34.
4. Пушкарев П.Ю., Хмелевской В.К., Голубцова Н.С., Иванова К.А., Бойченко Д.А. Развитие магнитотеллурических методов геофизики для поиска и разведки геотермальных ресурсов // Тезисы докладов научной конференции «Ломоносовские чтения» (секция Геология). М: МГУ, 2013.