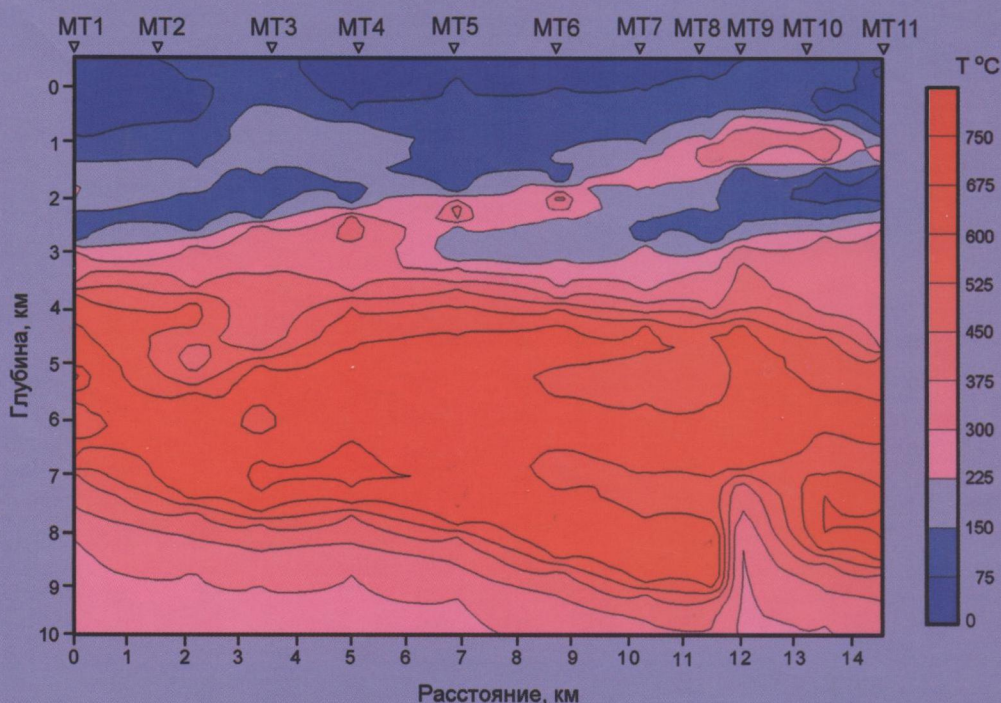


В.В. Спичак, О.К. Захарова

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ГЕОТЕРМОМЕТР



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт физики Земли
Центр геоэлектромагнитных исследований

В. В. Спичак, О. К. Захарова

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ГЕОТЕРМОМЕТР

МОСКВА
НАУЧНЫЙ МИР
2013

УДК 550.3

ББК 26.21

C72


C72 **Спичак В. В., Захарова О. К.** Электромагнитный геотермометр. — М.: Научный мир, 2013. — 172 с.

ISBN 978-5-91522-360-7

Монография посвящена новому методу косвенной оценки температуры земных недр — электромагнитному геотермометру. Рассмотрены методические аспекты его применения в режимах интерполяции температуры на межскважинное пространство и экстраполяции на глубины ниже забоя скважин, что позволяет вовлекать в практическое использование геотермальные резервуары, расположенные на глубинах 3–8 км, практически недоступных для разведочного бурения. Исследуются вопросы точности прогноза температуры в зависимости от количества и типа калибровочных термограмм, влияния точности модели удельного сопротивления, используемой для прогноза температуры, а также геологических и гидрогеологических характеристик среды. Большое место в книге занимает построение двумерных и трехмерных моделей температуры известных геотермальных областей Травале (Италия), Сульц-су-Форе (Франция) и Хенгидль (Исландия). На этих примерах показано, что на основании построенных моделей температуры можно судить о доминирующих механизмах переноса тепла, локализации его источников, а также сужать область неопределенности при выборе мест для бурения новых скважин. Для специалистов в области разведочной геофизики, прикладного электромагнетизма и геотермики.

Илл.: 55. Библиогр.: 183 названия.

Рецензент д. г.-м. н. проф. М. Д. Хуторской

 Публикуется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №13-05-07036. Издание РФФИ не подлежит продаже.

The monograph is devoted to a new technique of the indirect temperature estimation in the Earth's interior named «an electromagnetic geothermometer». The methodological issues of its application are considered with respect to the temperature interpolation in the interwell space and its extrapolation beneath the boreholes, which enables to involve into practical employment the heat reservoirs located at depths 3–8 km practically unreachable by exploration drilling. The accuracy of the temperature forecasting is studied depending on the number of boreholes available for calibration, the accuracy of the resistivity model as well as the prior knowledge on geological and hydro-geological conditions. Much attention is given to building of 2D and 3D temperature models of geothermal areas Travale (Italy), Soultz-sous-Forêts (France) and Hengill (Iceland). By means of these case studies it is shown that basing on the temperature models it is possible to draw conclusions about the dominating heat transfer mechanisms, location of its sources and to constrain the locations for drilling of the new boreholes. For experts in the exploration geophysics, applied electromagnetics and geothermics.

К., 2013

ISBN 978-5-91522-360-7

Оглавление

Введение	7
Глава 1. Методы оценки температуры земных недр	9
1.1 Оценка температуры по скважинным измерениям и данным теплового потока	9
1.2 Косвенные оценки температуры по геологическим, геохимическим и геофизическим данным	10
1.2.1 Минеральные геотермометры	10
1.2.2 Гидрохимические геотермометры	11
1.2.3 Газовые геотермометры	12
1.2.4 Изотопные геотермометры	12
1.2.5 Геотермометры, основанные на пороге сейсмичности	13
Глава 2. Построение моделей температуры по магнитовариационным данным	14
2.1 Связь температуры с удельным сопротивлением	14
2.2 Аналитические модели глубинной температуры по данным глобального магнитовариационного зондирования	18
2.2.1 Анализ глубинных моделей температуры	19
2.2.2 Модифицированная формула для глубинной электропроводности	22
2.2.3 Разрешающая способность параметров модели электропроводности	23
2.2.4 Построение модели температуры	25
Глава 3. Нейросетевой подход к оценке температуры	29
3.1 Нейросеть с «учителем» (метод обратного распространения ошибок)	29
3.2 Аналитическая модель температуры в геотермальном резервуаре	33
3.3 Оценка влияния объема данных	34

3.4	Оценка влияния «географического» фактора	37	
3.5	Пример нейросетевого прогноза температуры в геотермальной зоне	40	
3.5.1	Данные	40	
3.5.2	Оценка влияния количества термограмм	41	
3.5.3	Оценка влияния типа термограмм	46	
Глава 4. Метод построения моделей температуры по данным электромагнитных зондирований («электромагнитный геотермометр»)			50
4.1	Принцип работы электромагнитного геотермометра	50	
4.2	ЭМ интерполяция температуры на межскважинное пространство	51	
4.2.1	Влияние объема данных	51	
4.2.2	Влияние стратегии калибровки	55	
4.2.3	Влияние локальных геологических и гидрогеологических условий	57	
4.3	ЭМ экстраполяция температуры на глубину	60	
4.3.1	Влияние соотношения глубин экстраполяции и скважины	60	
4.3.2	Оценка робастности ЭМ экстраполяции	64	
Глава 5. Оценка глубинного распределения температуры в Чуйской впадине (Северный Тянь-Шань)			67
5.1	Геологические особенности и режим подземных вод	67	
5.2	Температурные данные и тепловой поток	69	
5.3	Электромагнитные зондирования	70	
5.4	Оценка корреляции электропроводности и температуры	71	
5.5	Построение глубинного разреза температуры по МТ данным	77	
Глава 6. Построение глубинного разреза температуры в геотермальной области Травале (Италия)			81
6.1	Геологическое строение	83	
6.2	Модель удельного сопротивления	86	
6.2.1	Электромагнитные данные	86	
6.2.2	Разрез удельного сопротивления	86	

6.3	Модель температуры	88	
6.3.1	Температурные данные	88	
6.3.2	Калибровка и тестирование ЭМ геотермометра	88	
6.4	Совместный анализ моделей удельного сопротивления и температуры	89	
Глава 7. Распределение температуры в геотермальной области Сульц-су-Форе (Франция) по электромагнитным данным			93
7.1	Геологические условия	93	
7.2	Геотермические исследования	95	
7.3	Магнитотеллурические зондирования	96	
7.4	Тестирование ЭМ геотермометра	98	
7.4.1	Зависимость точности экстраполяции температуры от глубины	98	
7.4.2	Зависимость точности оценки температуры от точности данных по удельному сопротивлению	101	
7.5	Оценка доминирующего механизма теплопередачи на больших глубинах	106	
7.6	Температурный разрез вдоль профиля	108	
7.7	Рекомендации по месту бурения новой скважины	111	
Глава 8. Построение трехмерной модели температуры геотермальной области Хенгидль (Исландия) по наземным электромагнитным данным			114
8.1	Концептуальные модели исландской коры	114	
8.2	Априорная геолого-геофизическая информация	119	
8.2.1	Геология и вулканическая активность в регионе	119	
8.2.2	Электромагнитные зондирования	123	
8.2.3	Сейсмическая томография	124	
8.2.4	Сейсмичность	126	
8.3	Электромагнитные и температурные данные	127	
8.4	Создание электромагнитного геотермометра	130	
8.5	Тестирование ЭМ геотермометра	131	
8.6	Трехмерная модель удельного сопротивления	135	
8.7	Объемная модель температуры	139	
8.7.1	Общая характеристика температуры	139	

8.7.2	Локальные особенности распределения температуры	146
8.8	Комплексная интерпретация геофизических и геотермических данных	147
8.8.1	Температура, удельное сопротивление и гравитационные аномалии	148
8.8.2	Температура и сейсмичность	152
8.8.3	Температура и концептуальные модели коры	154
	Заключение	157
	Литература	159