

В.А. Голубев

**КОНДУКТИВНЫЙ
И КОНВЕКТИВНЫЙ
ВЫНОС ТЕПЛА
в Байкальской рифтовой зоне**

В.А. ГОЛУБЕВ

**КОНДУКТИВНЫЙ И КОНВЕКТИВНЫЙ ВЫНОС
ТЕПЛА В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ**

Научный редактор
д-р геол.-мин. наук *И.С. Ломоносов*

Новосибирск
Академическое издательство "Гео"
2007

УДК 556.555.4(282.256.341)

ББК 26.0

Г621

Голубев, В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне / В.А. Голубев ; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т земной коры. – Новосибирск : Академическое изд-во “Гео”, 2007. – 222 с. – ISBN 978-5-9747-0110-8 (в пер.).

Приведен новый фактический материал о тепловых потоках через дно озер Байкал и Хубсугул. По геотермическим данным построена прогнозная карта глубин нижней границы рассеянных в байкальских осадках газогидратов и дан прогноз их запасов. Исследованы тепловые, химические и фильтрационные характеристики гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны. По гидрохимическим геотермометрам рассчитаны температуры и глубины формирования вод термальных источников, выявленных на территории этой зоны; эти параметры определены и для скрытой части гидротермального стока. Разработаны геотермические модели земной коры Байкальской рифтовой зоны, учитывающие тепломассоперенос метеогенными водами и сквозьлитосферный тепломассоперенос эндогенными флюидами. Показано, что полученные в этих моделях глубинные температуры намного лучше согласуются с имеющимися по этому региону геолого-геофизическими данными, чем температуры, следующие из ранее построенных интрузивных (“дайковых”) моделей.

Для геофизиков, гидрогеологов, гидрофизиков.

The monograph presents new facts on heat flows passing through the bottoms of the Baikal and Khubsugul lakes. Geothermal data were used for construction of forecast map of the depths of lower boundaries of gas-hydrates disseminated in Baikal sediments, prognosis of their reserves is presented. Heat, chemical and filtration characteristics of Baikal rift zone geothermal systems were investigated. Based geochemical geothermometers there were calculated temperatures and depths of waters of thermal sources identified in the territory of this zone; these parameters were also calculated for hidden part of hydrothermal outlet. There were constructed geothermal models of the Baikal rift zone earth crust, which take into account heat-mass transfer by meteorogenic waters and through-litosphere heat-mass transfer by endogenous fluids. It was shown that depth temperatures acquired within these models much better agree with the geological-geophysical data available for the region than temperatures estimated on the basis of earlier constructed intrusive (“dyke”) models.

The monograph is intended for geophysicists, hydrogeologists, hydrophysicists.

Рецензенты:

д-р геол.-мин. наук *В.С. Имаев*,

д-р геол.-мин. наук *В.С. Зубков*,

д-р геол.-мин. наук *А.И. Киселев*



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 07-05-07069*

ISBN 978-5-9747-0110-8

© Голубев В.А., 2007

© Институт земной коры СО РАН, 2007

© Оформление. Академическое изд-во
“Гео”, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ГЛАВА 1. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ОЦЕНКА БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА	7
1.1. Многодатчиковый кабельный термозонд	–
1.2. Влияние на тепловой поток близповерхностных искажающих факторов	15
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ КОНДУКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ	22
2.1. Байкальская впадина и ее горное обрамление	–
2.2. Озеро Хубсугул и его горное обрамление	55
2.3. Другие (сухопутные) впадины Байкальской рифтовой зоны и их горное обрамление	62
ГЛАВА 3. ТЕПЛОЕ ПОЛЕ ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ оз. БАЙКАЛ СОГЛАСНО НАБЛЮДЕНИЯМ В СКВАЖИНАХ НА ЕГО ДНЕ И ДАННЫМ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАЗОГИДРАТОВ	74
3.1. Результаты и интерпретация геотермических наблюдений в скважи- нах на дне Байкала	–
3.2. Тепловое поле и газогидраты осадков Байкальской впадины	83
ГЛАВА 4. СКРЫТАЯ ЧАСТЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СТОКА	94
4.1. Происхождение гидротерм	–
4.2. Тепловые и химические характеристики гидротермальных систем ..	98
4.3. Распределение открытого гидротермального стока по глубинам его формирования	108
4.4. Скрытая часть гидротермального стока	111
4.5. Подтверждения экспоненциального спада модуля подземного стока с глубиной	112
4.6. Вынос тепла скрытой разгрузкой термальных вод	115
ГЛАВА 5. ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ	117
5.1. Типы гидротермальных систем	–
5.2. Соотношение вертикальной и горизонтальной составляющих проницаемости	118
5.3. Модель регионального гидротермального стока	120
5.4. Количественные оценки проницаемости верхней части земной коры Байкальской рифтовой зоны	123

5.5. Гидрогеодинамические параметры транзитных зон гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны	125
5.6. Проницаемость – ключевой параметр в оценках гидротермального теплопереноса	137
ГЛАВА 6. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ТЕПЛОПТЕРИ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И АНАЛИЗ ПРИЧИН ИХ НЕДООЦЕНКИ ТРАДИЦИОННЫМИ ГЕОТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	139
6.1. Статистические оценки региональных средних тепловых потоков	–
6.2. Анализ причин недооценки традиционными геотермическими методами региональных теплопотерь земной коры Байкальской рифтовой зоны	148
6.3. Конвективный тепловынос и результаты новейших геотермических исследований на Байкале	164
6.4. Перераспределение глубинного тепла метеогенными водами в районе Северо-Муйского тоннеля БАМа	165
ГЛАВА 7. ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ	172
7.1. О слабой обоснованности кондуктивных моделей нестационарного геотермического поля Байкальского региона	–
7.2. Геотермическая модель земной коры Байкальской рифтовой зоны, учитывающая теплоперенос метеогенными водами	177
7.3. Геотермическая модель литосферы Байкальской рифтовой зоны, учитывающая адвекцию эндогенных флюидов	183
7.4. Сравнение результатов кондуктивных и кондуктивно-конвективных оценок теплового состояния литосферы Байкальского региона	187
7.5. О возобновляемости тепловых ресурсов геотермических аномалий Байкальской рифтовой зоны	189
7.6. Сопоставление результатов различных подходов в оценках теплового состояния литосферы Байкальской рифтовой зоны с другими ее геолого-геофизическими данными	190
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	198
ЛИТЕРАТУРА	201

CONTENTS

PREFACE	5
CHAPTER 1. METHODS AND TECHNIQUES OF GEOTHERMAL MEASUREMENTS, EVALUATION OF NEAR-SURFACE DISTORTIONS OF HEAT FLOW	7
1.1. Multi-sensor cable thermo-probe	–
1.2. Near-surface distorting factors affecting heat flow	15
CHAPTER 2. MAIN REGULARITIES IN DISTRIBUTION OF CONDUCTIVE CONSTITUENT OF HEAT FLOW IN THE BAIKAL RIFT ZONE	22
2.1. Baikal valley and its mountain frame	–
2.2. The Khubsugul lake and its mountain frame	55
2.3. Other (land-based) valleys of Baikal Rift Zone and their mountain frame	62
CHAPTER 3. HEAT FIELD OF LAKE BAIKAL SEDIMENTS AS OBTAINED IN THE BOTTOM DRILLHOLES AND ACCORDING TO THE DATA ON GAS HYDRATES DISTRIBUTION	74
3.1. Results and interpretation of geothermal observations in the Baikal lake bottom drillholes	–
3.2. Heat field and gas hydrates in sediments of Baikal valley	83
CHAPTER 4. HIDDEN PART OF HYDROTHERMAL OUTLET	94
4.1. Origin of hydrotherms	–
4.2. Heat and chemical characteristics of hydrothermal systems	98
4.3. Distribution of open hydrothermal outlet through the depths of its formation	108
4.4. Hidden part of hydrothermal outlet	111
4.5. Confirmations of exponential fall of underground outlet with depth	112
4.6. Heat transfer through hidden discharge of thermal waters	115
CHAPTER 5. PERMEABILITY OF UPPER HORIZONS OF BAIKAL RIFT ZONE EARTH CRUST	117
5.1. Types of hydrothermal systems	–
5.2. Proportion of vertical and horizontal constituents of permeability	118
5.3. Model of regional hydrothermal outlet	120
5.4. Quantitative estimates of permeability of upper part of the earth crust of Baikal Rift Zone	123
5.5. Hydrogeodynamic parameters of transit zones of hydrothermal systems of Baikal Rift Zone	125
5.6. Permeability as a key parameter in estimation of hydrothermal heat transfer	137

CHAPTER 6. REGIONAL HEAT LOSSES OF THE BAIKAL RIFT ZONE EARTH CRUST AND ANALYSIS OF THE REASONS OF THEIR UNDERESTIMATION BY TRADITIONAL GEOTHERMAL METHODS . . .	139
6.1. Statistical estimates of regional average heat flows	–
6.2. Analysis of reasons of underestimation by traditional geothermal methods of regional heat losses of earth crust in the Baikal Rift Zone	148
6.3. Convective heat transfer and results of the latest geothermal investiga- tions at Lake Baikal	164
6.4. Re-distribution of deep heat by meteogenic waters in the vicinity of the Severo-Muisky tunnel of the Baikal-Amur Railway	165
CHAPTER 7. GEOTHERMAL MODEL OF EARTH CRUST AND LITHOSPHERE OF BAIKAL RIFT ZONE	172
7.1. On low validity of conductive models of non-stationary geothermal field of the Baikal Region	–
7.2. Geothermal model of Baikal Rift Zone earth crust taking into account heat transfer by meteogenic waters	177
7.3. Geothermal model of Baikal Rift Zone lithosphere taking into account advection of endogenous fluids	183
7.4. Comparison of results of conductive and conductive-convective evalua- tions of heat status of earth interiors of the Baikal Region	187
7.5. On renewability of heat resources of geothermal anomalies of the Baikal Rift Zone	189
7.6. Comparison of results of various approaches to evaluation of the heat state of Baikal Rift Zone lithosphere with other geological-geophysical data on this region	190
CONCLUSIONS	198
REFERENCES	201