

ТРЕХМЕРНАЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАРСКОГО ШЕЛЬФА И ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

© 2001 г. Л.В. Подгорных, М.Д. Хуторской, И.С. Грамберг, Ю.Г. Леонов

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

Российский университет дружбы народов, Москва

Геологический институт Российской Академии наук, Москва

Поступило 10.05.2001 г.

Геолого-экономическое значение акваторий Западно-Арктических морей определяется существующими большими нефтегазовыми ресурсами шельфовых осадочных бассейнов и будет возрастать по мере освоения уже открытых и выявления новых месторождений.

В условиях ограниченности инвестиционных ресурсов для проведения дорогостоящих геологогеофизических исследований на шельфе приобретают практическое значение относительно недорогие методы косвенной оценки перспектив нефтегазоносности на базе уже имеющихся геолого-геофизических данных.

Один из таких методов - это термотомографическое отображение земной коры на основе трехмерного геотермического моделирования. Построение трехмерных (объемных) моделей распределения температур и тепловых потоков позволяет получить карты-срезы геотермического поля на любой глубине и таким образом определить уровень, на котором существуют условия для катагенетического преобразования углеводородов, т.е. позволяют прогнозировать глубину размещения месторождений.

Выполненное нами объемное моделирование по Баренцевоморскому шельфу [Хуторской и Подгорных, 2001] позволило обнаружить «термический купол» в юго-восточной части моря, происхождение которого обусловлено структурно-теплофизическими неоднородностями разреза коры. Именно к этому куполу пространственно приурочены все крупные месторождения нефти и газа в восточной части Баренцева моря. Таким образом, была показана перспективность объемного геотермического моделирования для локализации месторождений углеводородов.

В данной работе приведены результаты объемного геотермического моделирования для Карского региона, выполненные по той же методике, которая была разработана и применена для Баренцевоморского региона.

Для описания структуры коры были использованы 24 профиля, полученные как в результате глубинного сейсмического профилирования по длинным геотраверсам (10 профилей) (рис. 1), так и в результате обработки информации по коротким профилям МОВ (14 профилей) [Поселов и др., 1996]. Вдоль каждого из них выполнен расчет глубинных температур с

помощью программного пакета «TERMGRAF» [Хуторской, 1996]. Результаты моделирования по одному из профилей показаны на рис. 2. При расчете использовались значения теплофизических свойств слоев коры, адекватные установленным граничным скоростям (табл. 1).

Для решения задачи о распределении температур в разрезе используется численный метод конечных элементов с квадратичной аппроксимацией функции температуры между узлами прямоугольной сетки. В программе предусматривается сетка 41x41 узел (т.е. решается двумерная задача), линейные размеры которых по осям X и Z возможно изменять по требованию оператора. На боковых границах области моделирования задается отсутствие латерального потока, т.е. $dT/dx = 0$. В качестве верхнего граничного условия нами задавалась температура на границе дно-вода, которая известна по метеорологическим данным ($\sim 1^\circ\text{C}$), а на нижней границе - тепловой поток, измеренный в нескольких разведочных скважинах на акватории (73-76 мВт/м² - в западной части и 53 мВт/м² - в восточной части, западнее арх. Арктического Института), у западного побережья п-ова Ямал (54-58 мВт/м²) и на о. Белый (54-59 мВт/м²) (см. рис. 1). Эти значения принимались как фоновые для соответствующих профилей, вблизи которых лежат точки измерений. Внутри области моделирования задавались конфигурация контрастных сред и их теплофизические свойства: температуропроводность a (м²/с), теплопроводность k (Вт/м · К) и плотность тепловых источников $Q/(c \cdot \rho)$ (К/с). В расчетной части комплекса (программа «TERM») производится задание линейных размеров области моделирования (Lx и Lz , км), которые определяют линейные размеры узла ($Lx/41$ и $Lz/41$), а также временной интервал дискретизации решения (млн. лет). Временной шаг итерационного процесса автоматически назначается программой как $\tau = 10^{-7}(Z^2/4a)$, где Z - толщина области моделирования.

По своей тектонической структуре Карский регион является типичной мозаичной областью, что не позволяет для него остановиться на методике двумерного геотермического моделирования, которое по сравнению с трехмерной моделью с теми же геотермическими параметрами и геометрией даст систематическую погрешность в 10%. В связи с этим мы не распространяли полученные результаты расчета глубинных температур за пределы створа

Таблица 1. Теплофизические параметры, принятые для моделирования геотермического поля в земной коре

Свита		Граничная сейсмическая скорость, км/с	Температуропроводность $a \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}$	Теплопроводность, $k, \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$	Теплогенерация (норм.), $Fi \cdot 10^{-13} \text{ К}/\text{с}$
Неконсолидированные осадки		<3.7	3.0	1.3	–
Консолидированные мезозойско-кайнозойские терригенные осадки			3.5	1.5	–
Карбонатные палеозойские осадки		4.7	3.8	1.9	1.5
Граниты	верхняя часть	6.0	5.0	2.5	5.52
	нижняя часть	6.5	5.0	2.5	3.5
Базальты, породы коро-мантийной смеси		>6.5	7.0	2.9	–
Коровые ультрабазиты		–	8.0	3.0	–
Мантийные ультрабазиты		–	10.0	3.2	–

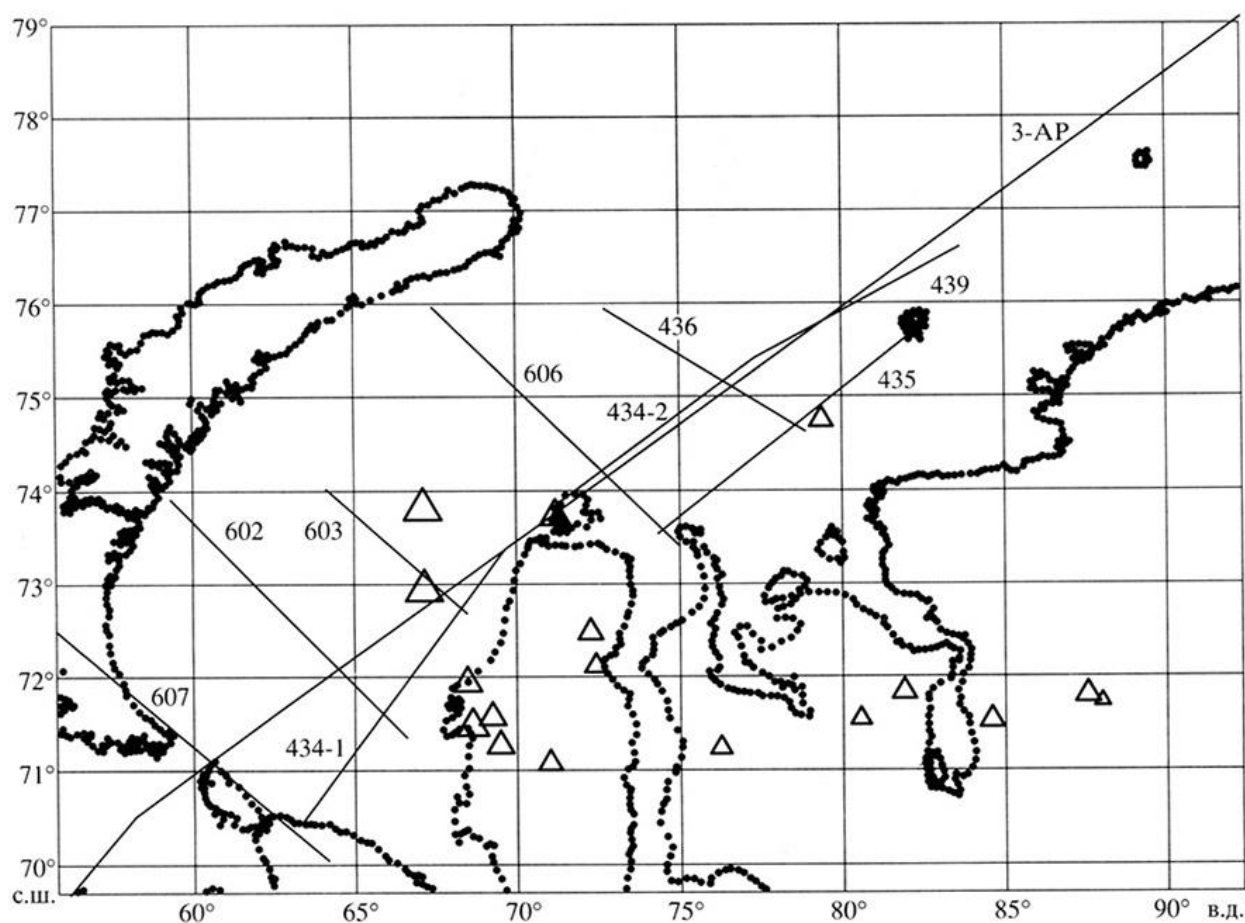


Рис. 1. Схема расположения профилей ГСП и их номера, а также точки измерений теплового потока в Карском регионе (размер треугольников пропорционален величине теплового потока, $\text{мВт}/\text{м}^2$).

профиля. Для того чтобы перейти к трехмерной модели, все профильные створы были помещены на единый трехмерный плот (рис. 3) в координатах широта-долгота-глубина.

Точность расчетов оценивалась по двум критериям; во-первых, по соотношению модельного и измеренного в скважинах теплового потока; во-вторых, по совпадению температур на пересечении профилей. Метод наименьших квадратов, примененный для оценки погрешности глубины нахождения изотерм в створе пересечения профилей, показал, что она составляет $\pm 150 \text{ м}$, что при средней

глубине расчета температур 15 км соответствует относительной погрешности 1.0%.

Построение трехмерной геотермической модели для Карского региона производилось с помощью пакета трехмерной графики «TECPLOT v. 7.0-demo» (Amtec Engineering Inc.), который позволяет провести объемную интерполяцию наблюдаемого поля (в нашем случае температуры, теплового потока, а также структурных сейсмотомографических границ). Данная программа предусматривает трехмерную интерполяцию по сетке любой конфигурации. В нашем случае использована неравномерная сетка, «привязанная» к

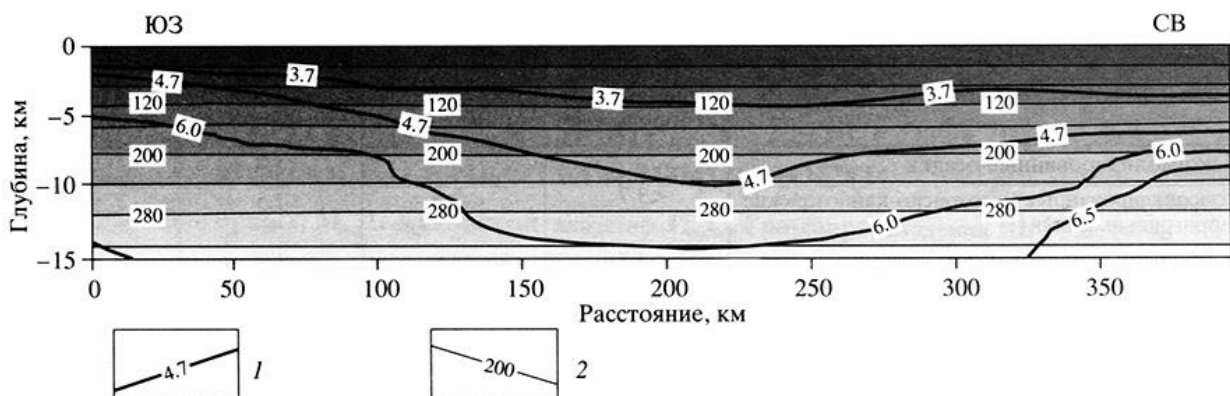


Рис. 2. Сейсмический и геотермический разрезы вдоль профиля 434-1 в Карском море. 1 – сейсмические границы и значения граничных скоростей, км/с; 2 – изотермы, °С.

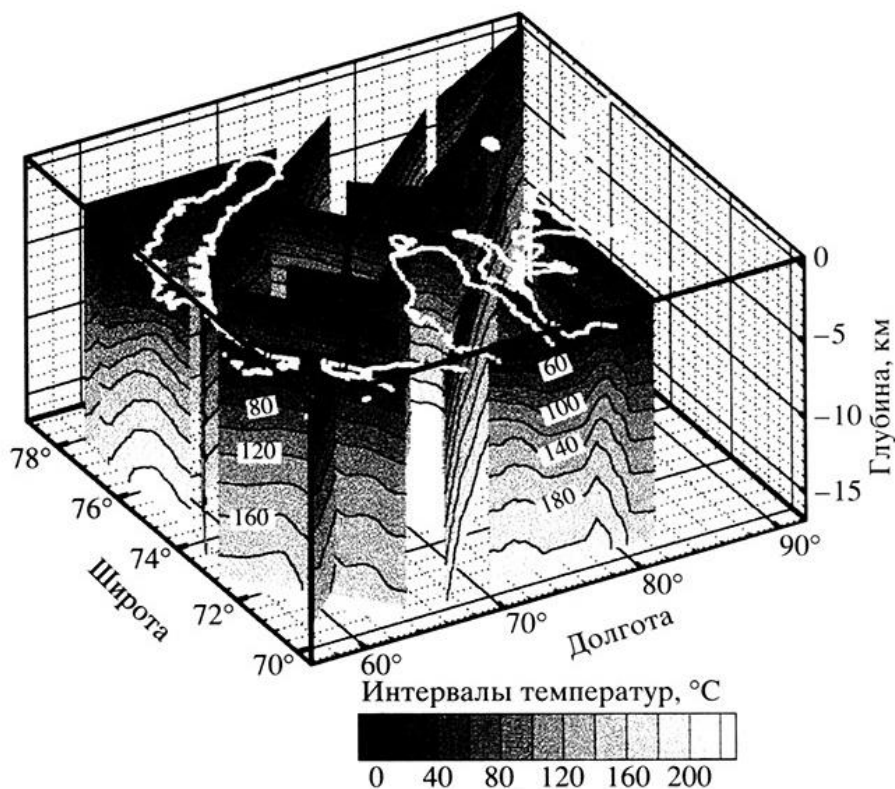


Рис. 3. Результаты 2-D термического моделирования, отображенные в трехмерном плоте.

простирацию сейсмических профилей, вдоль которых выполнялись двумерные расчеты глубинных температур.

Особенностью трехмерного моделирования является установление температур, а следовательно, и всех остальных геотермических параметров в геометрии широта-долгота-глубина для всего региона. С помощью объемной интерполяции программы «ТЕСПЛОТ» мы получили картину распределения температур на всю глубину исследования (до 15 км) и для всего региона (рис. 4). Аналогичная процедура была применена и для рисовки трехмерной картины распределения теплового потока. Программа позволяет построить глубинные срезы температур и тепловых потоков на любой глубине, а также изотермические поверхности.

Анализируя трехмерную температурную модель, можно видеть подъем изотерм на всем интервале глубин (до 15 км) в Южно-Карской впадине, что свидетельствует о существовании аномалии теплового потока, протягивающейся вдоль меридиана 66° в.д., от центра Байдарацкой губы на север. Это согласуется с измерениями повышенного по сравнению с фоновым теплового потока в скважинах на Русановском и Ленинградском месторождениях (73 и 76 мВт/м²) (см. рис. 1). По результатам моделирования температура на глубинных срезах 3, 4 и 5 км уменьшается от указанного меридиана в восточном направлении на относительную величину 10°С, и на меридиане 70° в.д. в районе Белоостровской впадины изотермы уже лежат горизонтально, что характеризует фоновый геотермический режим. Среднее значение теплового потока на Ямале составляет 53 мВт/м², что заметно

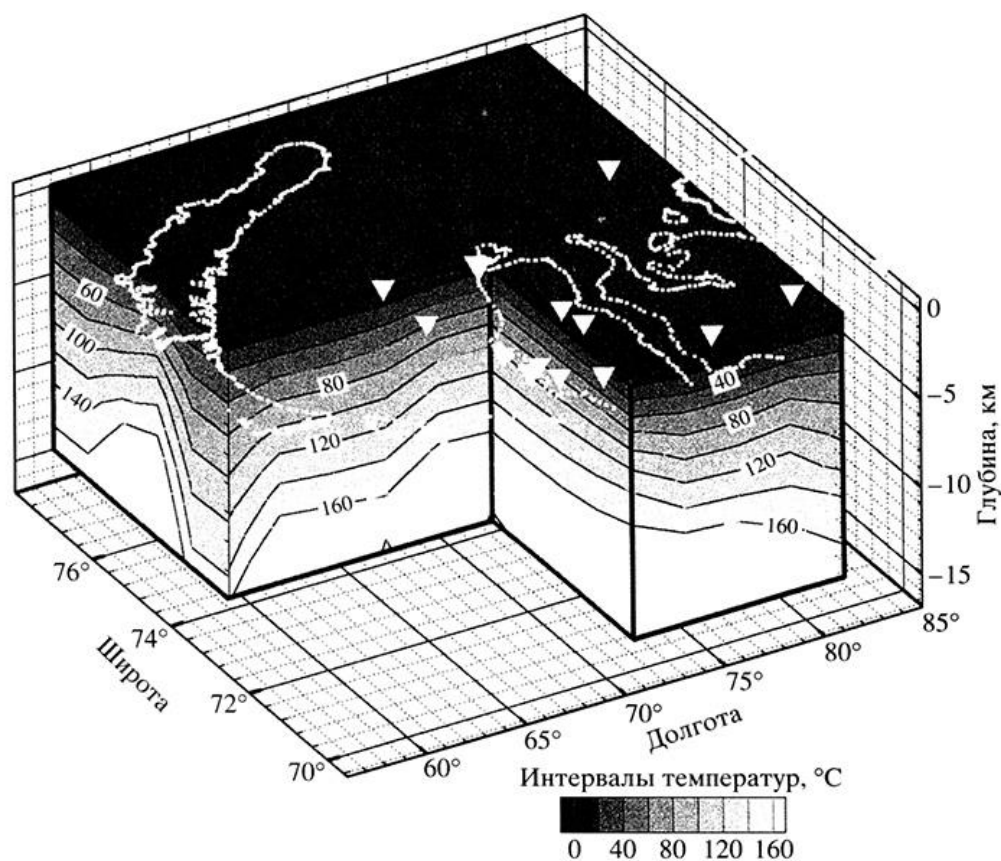


Рис. 4. 3-D температурное поле Карского региона и расположение пунктов измерений теплового потока.

ниже теплового потока на акватории Южно-Карской впадины.

Строение Южно-Карской впадины изучено сейсмическими работами МОВ и МПВ, а также гравимагнитными методами. Результаты этих работ показывают, что впадина представляет собой рифтогенный бассейн мезозойского возраста с заметно утонченной континентальной корой (до 26-30 км) и резко дифференцированной структурой поверхности фундамента. Крупнейшие разломы имеют явно выраженный листрический облик, а амплитуда смещений по ним достигает 3-6 км [Боголепов и др., 2000]. Основные тектонические элементы рифтовой системы сформированы в результате последовательного отрыва крупных клиновидных блоков и пластин консолидированной коры по зонам разломов, выхолаживающимся и затухающим в нижнекоровом слое. Растяжение земной коры в Южно-Карской впадине составляет около 20%, что близко к значениям растяжения в рифтогенных Восточно-Баренцевском прогибе и Североморской впадине. Геодинамический режим растяжения всегда сопровождается повышением температур и теплового потока. Именно такой характер геотермического поля наблюдается нами в Южно-Карской впадине.

Южно-Карский седиментационный бассейн, являющийся подводным замыканием Западно-Сибирского мегабассейна, по углеводородному потенциалу является крупнейшим на арктическом шельфе России. Все ресурсы углеводородов

приурочены к мезозойским отложениям и представлены в подавляющей своей части газом.

Ранее мы отмечали приуроченность месторождений нефти и газа в Баренцевом море к термическому куполу, который был выявлен по данным объемного моделирования в юго-восточной части моря [Хуторской и Подгорных, 2001]. По-видимому, сходная ситуация существует и в Карском море - термический купол Южно-Карской впадины пространственно совпадает с локализацией крупнейших месторождений углеводородов.

Таким образом, на шельфе Западно-Арктических морей выявляется единая тенденция приуроченности крупных месторождений углеводородов к зонам повышенного термического потенциала. Этот факт можно использовать как дополнительный признак при поисково-разведочных работах на арктическом шельфе.

Объемное геотермическое моделирование позволяет также прогнозировать глубину поверхностей, ограничивающих интервал главной фазы нефтегазогенерации, и этим оно отличается от двухмерного моделирования, которое не позволяет «заглянуть» за линию профиля. По расчетным данным, температура 140-150°C, характеризующая середину катагенетического интервала температур, в Южно-Карской впадине находится на глубине 5.5-6.0 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 99-05-64801).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В. Объемная модель геотермического поля Баренцевоморского региона // ДАН. 2001. Т. 377. № 1. С. 265-269.
2. Поселов В.А., Павленкин А.Д., Буценко В.В. Структура литосферы по геотраверсам ГСЗ в Арктике // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. В. 1. Ч. 2. С. 145-155.
3. Хуторской М.Д. Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. М.: Изд-во РУДН, 1996. 289 с.
4. Боголепов А.К., Мурзин Р.Р., Хачатрян С.С. В сб.: Материалы конгресса «300 лет российской геологической службе». СПб., 2000. Т. 3. С. 18-20.

Ссылка на статью:



Подгорных Л.В., Хуторской М.Д., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. Трехмерная геотермическая модель Карского шельфа и прогноз нефтегазоносности // Доклады РАН. 2001. Том 380. № 2. С. 228-232.