

Л.В. Подгорных, М.Д. Хуторской, В.А. Поселов, А.Д. Павленкин

ВНИИОкеангеология

ОБЪЕМНАЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИТОСФЕРЫ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО РЕГИОНА

Баренцевоморский регион, рассмотренный в этой работе с точки зрения выполнения в нем трехмерного моделирования, как нельзя лучше подходит для этой цели, т.к. именно в нем сосредоточено достаточное количество геотраверсов с необходимой геолого-геофизической информацией.

Для проведения геотермического моделирования были использованы материалы по глубинному строению изучаемого региона, его особенностям эволюционного геологического развития, сейсмические данные и данные измерения температур и теплового потока в акватории и скважинах. Именно эти данные, как будет показано ниже, являются основополагающими для построения 2D-3D геотермической модели. Наиболее полная информация по эволюционному геологическому развитию Баренцевоморского региона, составленная на основе имеющихся геологических данных, изложена М.Л. Вербой [1985].

Основой для проведения геотермического моделирования служат также материалы по сейсмическому профилированию, дающие положение геологических слоев и глубину границ между ними. От плотности сейсмических профилей и глубинности полученных разрезов, имеющихся в исследуемом регионе, во многом зависит точность и глубина выполненного геотермического моделирования. На основе совместной интерпретации сейсмических материалов с геологическими данными сейсмические разрезы затем наполняются геологическим содержанием.

По данным о физических свойствах пород при определенной температуре и давлении определяются теплофизические свойства: коэффициент теплопроводности и коэффициент температуропроводности, используемые в дальнейшем для расчетов глубинных температур в геотермическом моделировании.

Для выполнения объемного геотермического моделирования в Баренцевоморском регионе были выбраны 13 сейсмогеологических профилей, расположение которых на площади Баренцева моря показаны на рис. 1. Обработка выбранных сейсмических профилей приведена в работе А.Д. Павленкина и др. [1998].

При проведении геотермического моделирования важную роль играет наличие в исследуемом районе данных об измерениях температур в скважинах и плотности теплового потока. Эти данные необходимы как на стадии моделирования, так и при анализе полученной модели как контрольные, подтверждающие наиболее вероятное распределение температур в модели в сравнении с реальными естественными условиями региона.

На рассматриваемой площади Баренцевоморского региона (см. рис. 1) имеется достаточное количество измерений плотности теплового потока, а также измерений температур в скважинах на островах и в акватории Баренцева моря [Подгорных Хуторской, 1997]. Основная информация по измерениям плотности теплового потока сосредоточена на Баренцевском геотраверсе, юго-западный участок которого начинается у Кольского п-ова, а северо-восточный заканчивается у Земли Франца-Иосифа. В юго-западной части профиля отмечены наибольшие для Арктики значения теплового потока (600 мВт/м² и более), а в северо-восточной - весьма низкие (26 мВт/м²).

Говоря о геотермических исследованиях, проведенных в Баренцевом море, следует подчеркнуть значительную сложность выполнения измерений в этом регионе по целому ряду причин, которые в значительной степени актуальны и для других шельфовых акваторий Северного Ледовитого океана: значительные сезонные колебания температур, наличие сильных подводных течений, в том числе Гольфстрима, искажающих температурное поле, отсутствие данных о гидрологической обстановке, наличие мерзлоты в районе исследования и др. Указанные обстоятельства весьма затрудняют выявление эндогенной составляющей теплового потока, аномалии которой могут быть связаны с влиянием нефтегазоносных залежей.

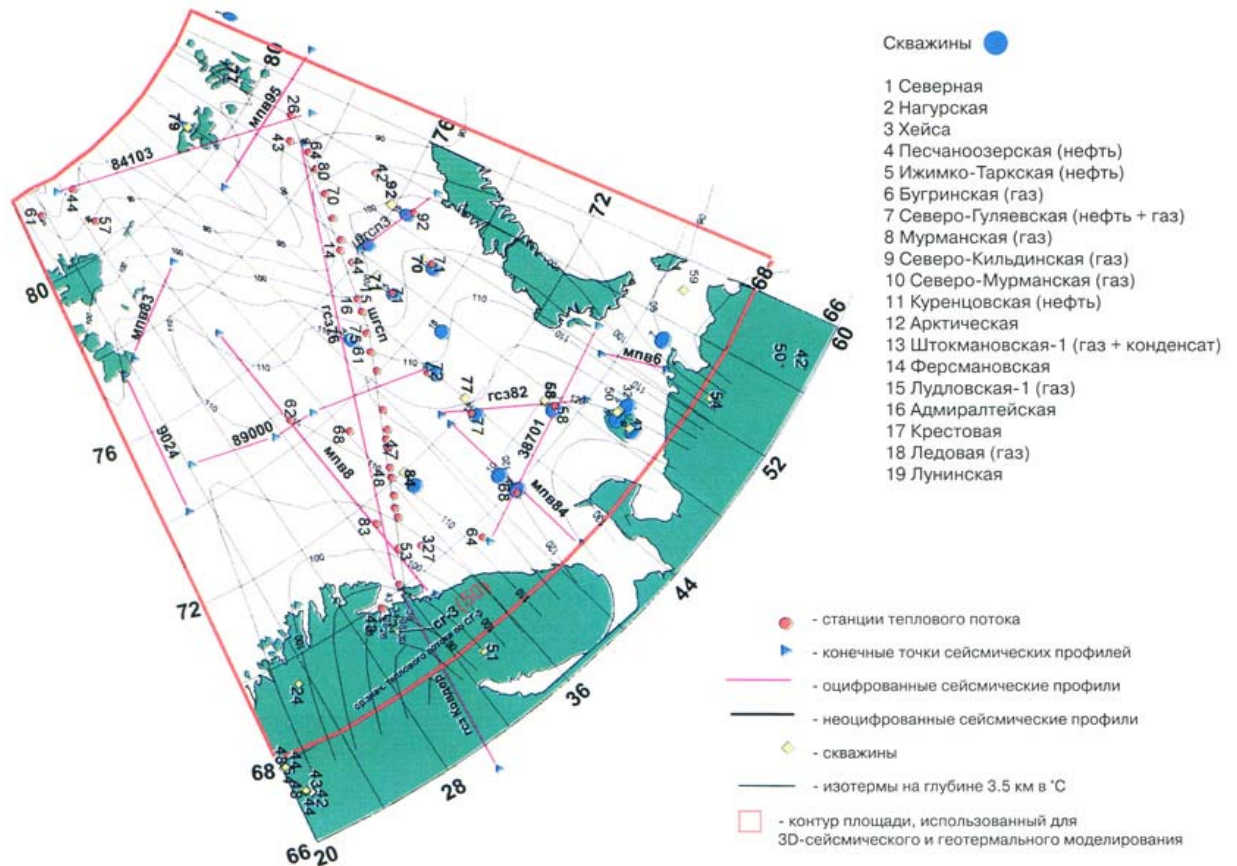


Рис. 1. Сейсмическая и геотермическая изученность Баренцевоморского региона

Имеется некоторое количество скважинных измерений плотности теплового потока, совпадающих с данными, выполненными зондовым методом в донных осадках акватории. Эти измерения являются реперными, контролирующими правильность проведенного 3D - моделирования. Двенадцать температурных измерений, выполненных в скважинах, были использованы нами при разработке объемной геотермической модели Баренцевоморского региона.

Как было отмечено, сейсмогеологическое моделирование является исходным для следующей стадии 2D-3D - геотермического моделирования и разделяется на два этапа: первый этап - сейсмотомографическое 2D - моделирование по основным экспериментальным профилям ГСЗ, МПВ и 3D - моделирование по обозначенному исследователем объему и площади.

На основе ряда модельных экспериментов и опыта томографической обработки разнообразной полевой сейсмической информации была разработана методика создания согласованных с экспериментальными годографами сейсмотомографических моделей [Дитмар и Рослов, 1993].

Модели среды рассчитывались с помощью пакета программ сейсмической лучевой томографии FIRSTOMO. Особенность сейсмотомографической обработки состоит в решении прямой и обратной задач сейсморазведки. На первом этапе задается начальная модель исследуемого разреза в виде скоростной модели, либо в виде градиентной скоростной среды с указанием верхнего и нижнего предела значений скорости. Для заданной модели рассчитываются траектории и времена пробега волн, образующих первые вступления. При решении обратной задачи вычисляются невязки между теоретическими и наблюдаемыми временами пробега, которые затем используются для расчета поправок к начальной скоростной модели.

Таким образом, томографический метод решения обратной задачи позволяет по системе годографов рефрагированных волн восстановить дискретное распределение скоростей в некоторой пересеченной сейсмическими лучами области. По результатам томографического решения вычисляются интерполяционные грид-файлы, которые визуализируются в виде поля скоростных контуров, либо в виде скоростных пластов, границы между которыми соответствуют

определенным изолиниями. Обычно в поле скоростей легко выделяются зоны смены градиентов, их максимумы и минимумы и другие особенности, позволяющие уточнить положение границ отдельных пластов.

В настоящее время сейсмическая информация в основном получается в виде разрезов 2D, что соответствует методике наблюдений и обработки. Получение объемного изображения геоструктур, являющихся трехмерными объектами, обычно достигается построением серии структурных карт, по определенным правилам восполняющих недостающую информацию между профилями. Эти построения на самом деле являются новой информацией, позволяющей представить структуру объекта целиком, в том числе по любым сечениям (которые можно тем или иным способом построить по сумме карт, но только в виде границ раздела, соответствующих картам). Карты, представленные в цифровом виде, можно сгладить, вычислить региональные и локальные аномалии и сделать другие трансформации, облегчающие понимание закономерностей, т.е. являющиеся новой информацией, непосредственно не вытекающей из исходных данных.

Все это непосредственно относится и к моделям 3D, обладающим еще одним важным преимуществом: на этих моделях информация по оси Z непрерывна, т.е. слои между горизонтами описаны скоростями, что позволяет установить внутреннюю структуру слоев, латеральную изменчивость скоростей, фациальные и другие особенности скоростного разреза, ускользающие от внимания при других способах отображения экспериментального материала. Это показывает, что сейсмические модели 3D как источник новой геологической информации необходимо строить.

Первые попытки проведения 2D - геотермического моделирования по геотраверсу ГСЗ-76 были сделаны еще в 1998 г. [*Подгорных и Хуторской, 1998*]. По результатам выполненных работ были сделаны следующие выводы.

Глубинный тепловой поток вдоль трансбаренцевского геотраверса в настоящее время является стационарным, а измеренный в условиях мелкого моря - искажен экзогенными и приповерхностными факторами.

Среднее значение рассчитанного глубинного теплового потока составляет 54 мВт/м², что хорошо согласуется с результатами геотермических измерений по Кольской сверхглубокой скважине СГ-3, скважинам-спутникам и скважинам на о-ве Колгуев. Вариации теплового потока вдоль профиля связаны с влиянием структурно-теплофизических неоднородностей.

Интервал возможных нефтегенерации и нефтенакопления находится на глубине от 3,5 до 4,5 км, где существуют необходимые термодинамические условия для сохранения углеводородов. Температура во время формирования нефти на этих глубинах составляла 110-140°C и осталась почти без изменений до настоящего времени.

Эти выводы стали базовыми при разработке 3D - модели Баренцевоморского региона. По 13 сейсмогеологическим профилям ГСЗ, МПВ, ШГСП были рассчитаны глубинные температуры в интервале глубин от поверхности дна до 60 км. Температуры вычислялись путём решения уравнения теплопроводности:

$$k \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) + A(x, z) = c\rho \frac{dT}{d\tau},$$

где k , c , ρ - соответственно теплопроводность, теплоемкость и плотность слоев литосферы, $A(x, z)$ - плотность источников тепла в слое, τ - время, рассчитанное методом конечных элементов для сетки прямоугольных ячеек с квадратичной аппроксимацией функции температуры между узлами сетки. Этот метод программно реализован в пакете TERMGRAF и неоднократно применялся нами для нестационарного термического моделирования в различных геодинамических обстановках [*Подгорных и Хуторской, 1998*].

Параметры модели для разреза коры представлены в таблице, из которой видно, что принятые теплофизические величины традиционны для термических моделей литосферы, за исключением допущения, что теплогенерация в древних метаморфических осадках такая же, как и в нижней части гранитного слоя.

Структурно-теплофизические неоднородности разреза приписывались сейсмогеологическим слоям, выделенным по данным ГСЗ, МПВ и ШГСП. Критерием для идентификации теплофизических свойств являлись рассчитанные скорости сейсмических волн и литологическое описание разрезов.

Построение трехмерной геотермической модели Баренцевоморской плиты 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, как это было показано выше) в координатах: широта, долгота, глубина.

Свита Параметр	Температуро- проводность $a \cdot 10^{-7}$, м ² /с	Теплопроводность к, Вт/м·К	Теплогенерация [норм.], $F_i \cdot 10^{-13}$ К/с
Неконсолидированные осадки	3,0	1,3	-
Консолидированные мезозойско-кайнозойские терригенные осадки	3,5	1,5	-
Карбонатные палеозойские осадки	3,8	1,9	1,5
Граниты			
Верх. часть	5,0	2,5	5,52
Нижн. часть	5,0	2,5	3,5
Базальты, породы коро-мантийной смеси	7,0	2,9	-
Коровые ультрабазиты	8,0	3,0	-
Мантийные ультрабазиты	10,0	3,2	-

Характер изменения теплового поля во времени мы рассматривали на примере термической эволюции литосферы вдоль трансбаренцевского геотраверса (профиль ГСЗ-76, см. рис. 1), который пересекает большинство из выделенных по сейсмическим данным структур земной коры в пределах Баренцево-морской плиты и поэтому представляется наиболее информативным. Термическое поле рассчитывалось для интервала геологического времени от 300 млн. лет назад до наших дней. При решении поставленной задачи учитывалось влияние всех установленных тектонических событий на термический режим в недрах [*Подгорных и Хуторской, 1998*].

Произведенная оценка искажений глубинного теплового потока, отмеченная по результатам моделирования, позволила связать их со структурно-теплофизическими неоднородностями разреза. Влияние рельефа морского дна как фактора, вызывающего искривление изотерм и искажение глубинного теплового потока, для данного профиля пренебрежимо мало по сравнению с вышеописанным эффектом.

Здесь уместно прокомментировать расхождение между наблюдаемым (в среднем 65-75 мВт/м²) и рассчитанным (модельным) тепловыми потоками. Измерения теплового потока вдоль трансбаренцевского геотраверса проводились в условиях шельфа или мелких абиссалий. Как показывает опыт таких измерений, экзогенные искажения глубинного теплового потока проявляются до глубин моря 1-1,2 км, а при наличии придонных течений - и глубже. Косвенно о влиянии экзогенного фактора можно судить по наличию очень высокой дисперсии наблюдаемых значений теплового потока - от 0 до 594 мВт/м². Такой разброс данных не может быть вызван глубинными тепловыми источниками и остается предположить наличие экзогенных искажающих факторов, выражающихся во влиянии сезонных колебаний температуры морского дна, изменений гидрологической обстановки (нестационарные придонные течения), вековых температурных колебаний (палеоклиматическое влияние). Обо всех этих искажающих факторах мы можем судить лишь качественно, анализируя колоссальную дисперсию измеренных тепловых потоков, а для получения их количественных оценок необходимо иметь результаты режимных температурных наблюдений, информацию о дебите и температуре придонных течений и гидрогеологические материалы о динамике подземных вод. В мелководных условиях единственным способом получения достоверной эмпирической информации о глубинном тепловом потоке является его измерение в глубоких скважинах, где амплитуда влияния экзогенной температурной волны становится меньше погрешности измерений температуры.

На трансбаренцевском геотраверсе репером для сравнения наблюдаемых и «модельных» значений теплового потока являются, как было отмечено ранее, результаты геотермических измерений по скважине СГ-3 в Печенгской мульде и по скважинам на островах Баренцева моря. Измерение в СГ-3 проведено высокоточной аппаратурой в условиях равновесных (выстоявшихся) температур в стволе скважины, неоднократно повторялось и сопровождалось измерениями в скважинах-спутниках. Детально изучен теплофизический разрез Кольской сверхглубокой скважины. Все это позволяет говорить о том, что полученное в этой скважине значение теплового потока может являться реперным и с ним следует сравнивать результаты «модельного» расчета геотермического поля на юго-западном конце профиля. Значение теплового потока, измеренное в верхних 7 км ствола скважины, составляет 38-40 мВт/м². Ниже 7 км наблюдается постепенное увеличение измеренного теплового потока до 50-55 мВт/м². Эти значения считаются адекватными глубинному фоновому тепловому потоку, а некоторое его понижение в верхней части разреза

интерпретаторы связывают с изменением гидродинамической обстановки в скважине. Таким образом, полученные нами «модельные» значения теплового потока вблизи поверхности хорошо согласуются с оценками фонового теплового потока в скважине СГ-3. Заметим, что подобные же величины потока характеризуют весь клин континентальной коры. Отсюда следует, что если нами использован правдоподобный структурный и теплофизический разрезы, то и значения глубинного теплового потока вдоль профиля близки к истинным. Совпадение полученных из моделирования значений теплового потока и измерений отмечается также для скважин на о-ве Колгуев, где в скв. Бугринская и Песчаноозерская-3 получены тепловые потоки 44-48 мВт/м², а в скв. Песчаноозерская-1 - 52 мВт/м² [Цыбуля и Левашкевич, 1992]. Хотя эти скважины лежат вне профиля наших исследований, полученные данные говорят о правильной оценке фонового теплового потока.

Таким образом, фоновый тепловой поток на акватории Баренцева моря выше, чем тепловой поток, характеризующий докембрийские структуры Балтийского щита. Это объясняется более молодыми (рифейско-палеозойскими) термическими источниками рифтогенной природы под акваторией по сравнению со смежными участками суши и, следовательно, более поздним прекращением активных тектонических и термических процессов.

Как было показано выше, геотермическое моделирование выполнено по сети сейсмотомографических разрезов региона Баренцева моря, включавших 13 геотраверсов (см. рис. 1). Описанные выше теплофизические свойства слоев и параметры моделирования были универсальны для всех профилей, что обуславливалось универсальностью сейсмических скоростей и сейсмотомографической интерпретации этих толщ.

Глубинное сейсмическое профилирование в двухсудовом варианте (ШГСП) позволило впервые получить достоверную информацию о строении земной коры Баренцевоморского региона на всю ее мощность. В отличие от ГСЗ, МПВ и глубокого параметрического бурения при ШГСП глубинные отражающие горизонты прослеживаются непрерывно, соответственно геометрия границ определяется более надежно. Наблюдения за отражающими горизонтами, а значит геометрией границ раздела сред, велись непрерывно. По данным 2D - сейсмического моделирования была построена объемная сейсмическая модель региона.

Помимо новой информации о строении Баренцевской шельфовой плиты глубинные сейсмические профили показали ее достоверность, т.е. адекватность реальной картине в природе. Сходимость результатов обработки профилей в месте их пересечения до деталей является доказательством достоверности представленных материалов.

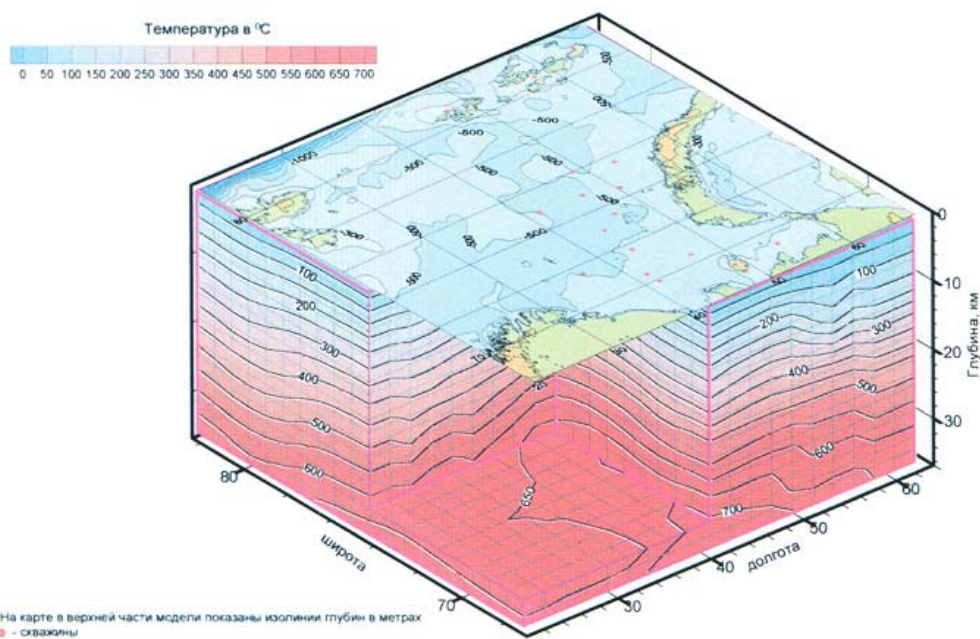


Рис. 2. Температурная 3D-модель Баренцевоморского региона

Наиболее полная информация о строении региона в целом наблюдается на профиле «Ковдор-ГСЗ-76», пересекающем весь регион с юго-запада на северо-восток, от Кольской суши до архипелага ЗФИ. Протяженность профиля превышает 1300 км.

На профиле отчетливо видно, что под дном Баренцева моря присутствует весь разрез фанерозоя, причем наибольший объем и полнота разреза отмечаются для системы глубоких Южно- и Северо-Баренцевских впадин вместе с разделяющей их Лудловско-Лунинской перемычкой. Максимальная мощность фанерозойского разреза наблюдается в Южно-Баренцевской впадине (до 22 км), несколько меньшая (до 18 км) - для перемычки и для Северо-Баренцевской впадины. На бортах Баренцевского мегапрогиба мощность чехла значительно сокращается. Для ЗФИ она уменьшается до 10-11 км. При этом следует учитывать, что основной объем осадочной толщи здесь приходится на мощнейшие пермско-триасовые морские сероцветы. К Кольской суше на южном конце профиля осадочный чехол сокращается до 3 и менее км.

Впервые ШГСП показало, что наибольшие мощности палеозойских толщ наблюдаются именно в Баренцевском мегапрогибе (до 10 км в будущей Южно-Баренцевской впадине). На бортах прогиба мощность палеозоя резко сокращается до 1-3 км. На отдельных участках профиля удается выделить до пяти сейсмофациальных комплексов в палеозойской части разреза. Профиль однозначно указывает на существование в палеозое обширного бассейна морского осадконакопления. Об этом же свидетельствует увеличение мористости отложений к центру бассейна, существование на его палеобортах в ранней перми рифов и отсутствие синхронных карбонатных пород в глубоководной центральной части. Практическое отсутствие вариаций суммарных мощностей палеозойских толщ в мегапрогибе указывает на его простую ретроспективную форму и огромные размеры по этому сечению профиля.

Тепловой поток, определенный с помощью моделирования, указывает также на относительную выдержанность палеозойских и нижележащих толщ вдоль этого профиля. Он в среднем не отличается от фоновых значений (выше было дано определение фонового значения для этого профиля - 54 мВт/м^2), изменяясь от 51 до 67 мВт/м^2 . Наибольшие значения вдоль профиля приурочены к зоне выклинивания терригенно-карбонатной толщи на краю континента, что объясняется структурным эффектом - рефракцией глубинного потока тепла относительно низкотеплопроводных пород. У нас нет оснований говорить о значительной роли конвективного теплопереноса ниже глубины сезонных колебаний температуры. Таким образом, тепловой поток здесь чисто кондуктивный, а его незначительные вариации можно связать со структурно-геологическим фактором.

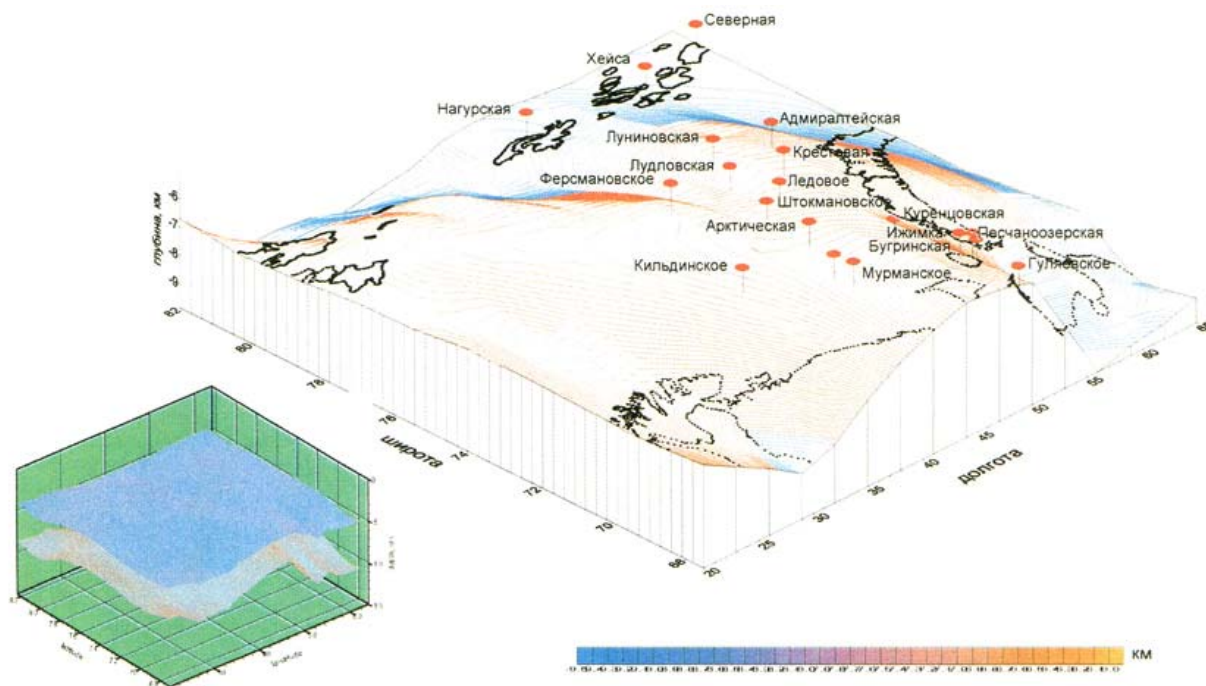


Рис. 3. Положение изотермической поверхности 180°C по данным геотермического 3D-моделирования и основные месторождения углеводородов в Баренцево-мурском регионе. Внизу слева показано положение изотермических поверхностей 100°C (верхняя) и 200°C (нижняя).

По всем сейсмическим профилям были построены 2D - геотермические модели Баренцевоморского региона (рис. 2) по методике, описанной в работе [Подгорных и Хуторской, 1998].

Особенностью трехмерного моделирования является установление температур, а следовательно, и всех остальных геотермических параметров в геометрии широта - долгота - глубина для всего региона. Температурные результаты двухмерного моделирования были вынесены в указанное трехмерное пространство с помощью программы TЕСPLOT v 7.0-DEMO (Amtec Engineering). С помощью объемной интерполяции и экстраполяции мы получили картину распределения температур на всю глубину исследования (до 35 км) и для всего региона (рис. 3). Аналогичная процедура была применена и для рисовки трехмерной картины распределения теплового потока. Программа позволила построить глубинные срезы температур и тепловых потоков на любой глубине, а также выделить и изучить изотермические поверхности 110-140°C с их характерными особенностями распределения температур в Баренцевоморском регионе.

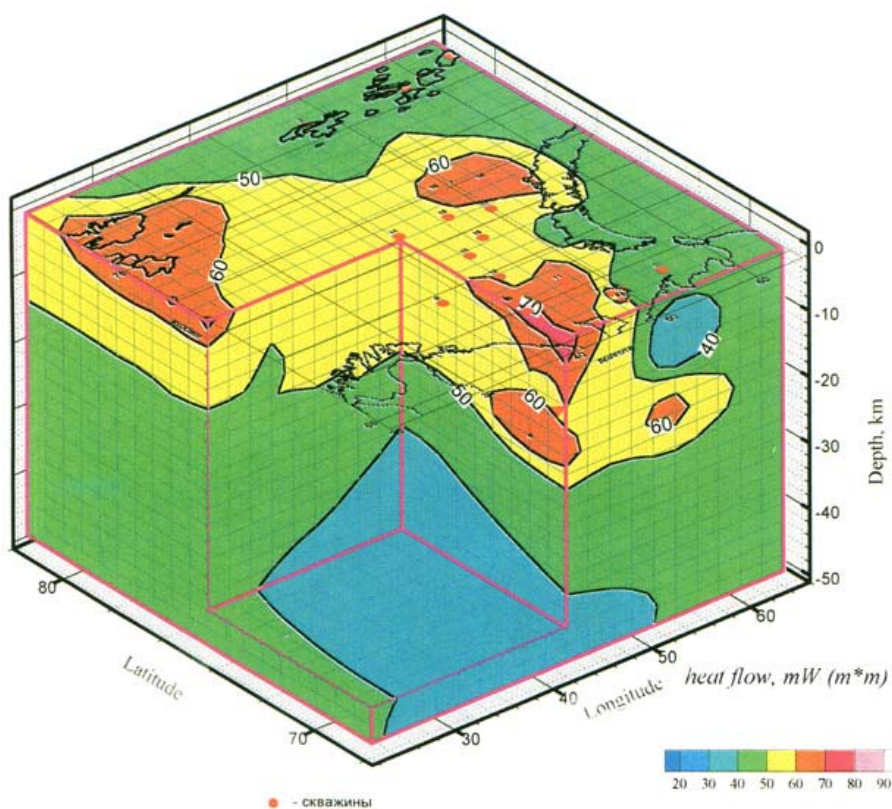


Рис. 4. Тепловой поток в проекции 3D в Баренцевоморском регионе: сверху модели черным контуром показана береговая линия

Проанализируем полученные результаты 3D - геотермического моделирования. Наибольшие значения геотермических градиентов наблюдаются в юго-восточной и восточной частях Баренцева моря, прилегающих к Канину п-ову, о-ву Колгуев и арх. Новая Земля (профили МПВ-84, ГСЗ-82, 38701, ШГСП-3, 38701) (рис. 4). Это естественно вызывает появление температурных аномалий на глубинных срезах. Величина аномалий температуры относительно фоновых значений изменяется от +20°C на глубине 3 км (при фоновых температурах 90-100°C) до +40°C на глубине 5 км (при фоновых температурах 125-140°C). Однако эти аномалии связаны не с высоким глубинным тепловым потоком в этом районе, а с относительно пониженной теплопроводностью разреза, т.к. в сторону континента увеличивается мощность сравнительно низкотеплопроводного гранитно-метаморфического слоя. Тем не менее, юго-восточная и восточная части Баренцева моря характеризуются подъемом изотермических поверхностей, в том числе и тех, которые контролируют температурный интервал катагенеза углеводородного вещества (140-190°C). С этим, по-видимому, связана приуроченность уже открытых нефтегазовых месторождений именно к «температурному куполу» на юго-востоке и востоке моря, что хорошо иллюстрируется на рис. 5.

Нами не исключается возможность нахождения месторождений в других частях Баренцева моря на большей глубине. Пользуясь теми же интерпретационными критериями о приуроченности месторождений к температурному интервалу катагенеза, можно предположить их нахождение на

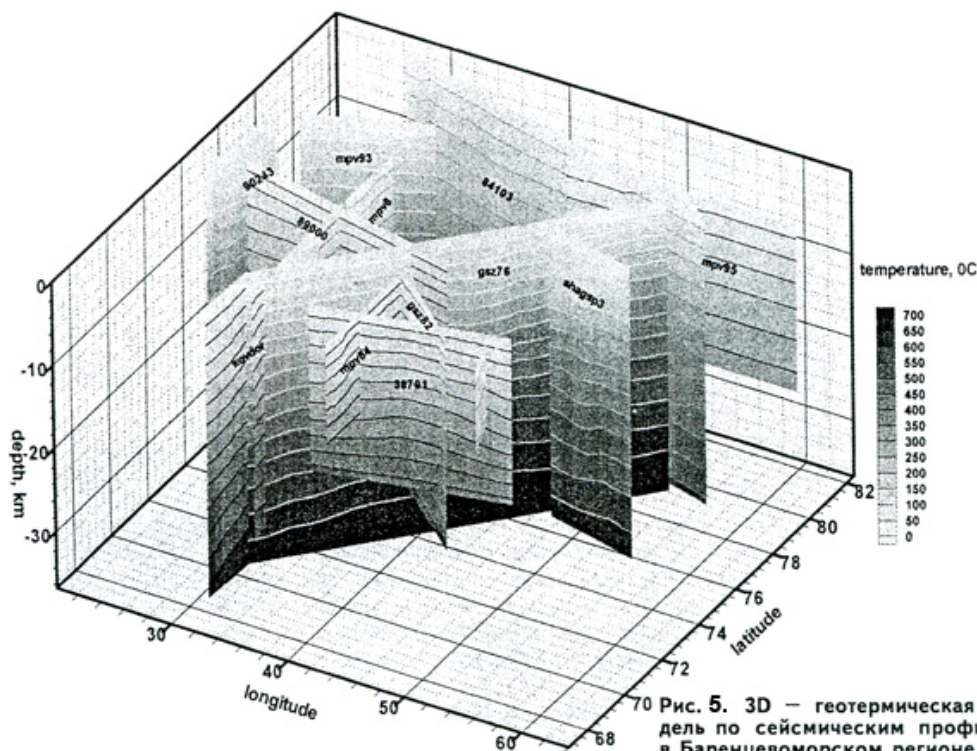


Рис. 5. 3D – геотермическая модель по сейсмическим профилям в Баренцевоморском регионе

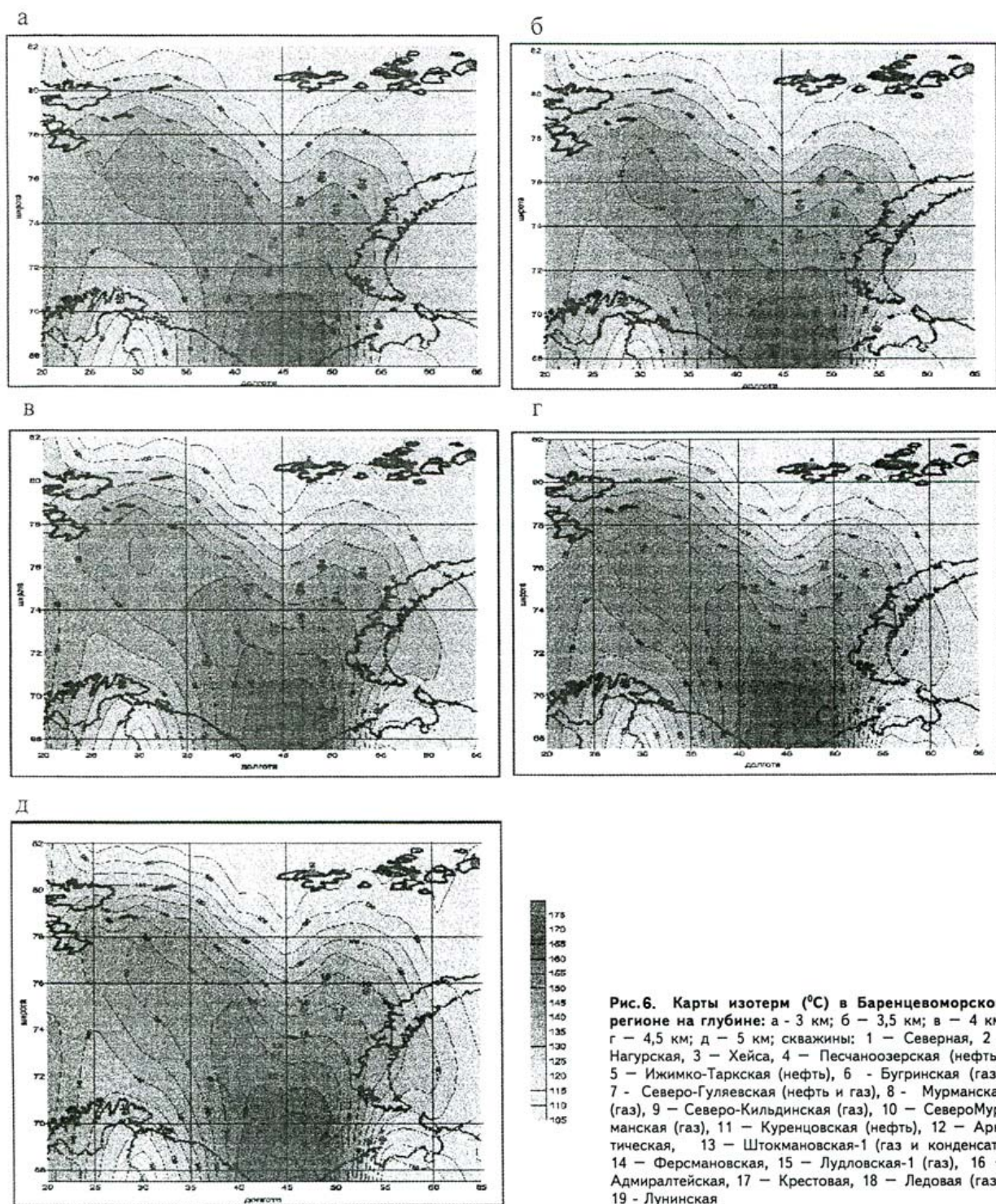
глубинах 6-8 км в юго-западной и западной частях моря (профили МПВ-8, ГСЗ-76, 89 000) и на глубинах 5,5-7,0 км - в северо-западной части (профили МПВ-83, 84 103, МПВ-95).

Таким образом, трехмерное геотермическое моделирование позволяет прогнозировать глубину нахождения поверхностей, ограничивающих интервал возможного нахождения углеводородных залежей, и этим оно отличается от двухмерного моделирования, которое не позволяет «заглянуть» за линию профиля. Особенно сильные различия в результатах оценки перспектив нефтегазоносности по геотермическим данным могут быть в случае изометричных, а не линейных структур. При изометричности, которая характерна для Баренцевоморской плиты, оценки глубин нахождения катагенетических температур по двухмерной модели могут дать значения относительного расхождения с оценками по трехмерной модели на 10-15%. Этот факт не требует специальных доказательств, т.к. хорошо известен из классических работ по теории теплопроводности. Колебания в оценке расхождений в пределах 5% связаны со степенью изменения теплофизических свойств вдоль третьей пространственной оси.

Трехмерная модельная картина распределения тепловых потоков (рис. 6) была получена на основании соответствующей обработки температурных данных и затем сопоставлена с реальными оценками теплового потока по измерениям в скважинах. В тех районах, где имеется представительное количество эмпирических данных (юго-восточная, восточная и юго-западная части Баренцева моря), наблюдается почти полное совпадение наблюдаемых и модельных тепловых потоков на поверхности земной коры.

Так, в районе Канинско-Колгуевской структуры отмечаются повышенные тепловые потоки по измеренным данным (64-77 мВт/м²) и по данным моделирования (60-80 мВт/м²). Другой район повышенного теплового потока (70 и более мВт/м²) на западном фланге Новоземельской гряды южнее профиля ШГСП-3 также проявляется на трехмерной модели теплового потока. Следовательно, в неизученных в геотермическом отношении районах, в которых при моделировании отмечаются повышенные значения теплового потока, можно ожидать такие же величины потока. Одним из таких районов является Свальбардская антеклизия примерно от 75 до 80° с.ш.

Следует обратить внимание на изменение теплового потока по глубине в интервале глубин от 0 до 50 км. Минимальные встреченные значения его составляют <40 мВт/м² на глубинах 35-50 км в южной и юго-восточной части моря и на глубинах 10-25 км - в восточной части моря. Основной объем блок-диаграммы занимают значения теплового потока 40-60 мВт/м² - это согласуется с его измеренными значениями, поэтому их можно считать фоновыми, о чем мы уже упоминали выше. Локальные повышения теплового потока до значений выше 60 мВт/м²,



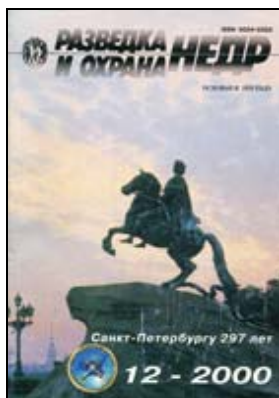
приуроченные к районам в юго-восточной, западной и восточной частях моря, связаны с пертурбацией глубинного потока в условиях структурно-геологических неоднородностей: в зонах с утоненной корой ее средняя теплопроводность оказывается выше, чем там, где кора толстая и насыщена гранитоидными и другими низкотеплопроводными комплексами. Именно в этих зонах происходит концентрация глубинного тепла и одновременная его рефракция в смежных участках [Хуторской, 1982]. Этим мы объясняем появление локальных аномалий теплового потока со значениями выше 60 мВт/м^2 . Повышение фоновых значений при приближении к поверхности Земли с 40 до 50 мВт/м^2 связано с появлением радиогенной компоненты поля, которая нами задавалась для верхней части коры (до глубин $10\text{-}15 \text{ км}$).

Таким образом, нельзя говорить о тенденциозном изменении теплового потока с глубиной, если исключить региональную радиотеплогенерирующую компоненту и локальный фактор - перераспределение теплового потока в условиях структурно-теплофизических неоднородностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верба М.Л.* Баренцево-Карский мегапрогиб и его роль в эволюции Западно-Арктического шельфа // Геологическое строение Баренцево-Карского шельфа. Л.: Севморгеология, 1985. С. 11-28.
2. *Дитмар П.Г., Рослов Ю.В.* Пакет программ для моделирования и интерпретации времен пробега сейсмических волн "DOGSTOMO" // Тез. докл. междунар. научной конфер. «Геофизика и современный мир». М., 1993. С. 227.
3. *Павленкин А.Д., Поселов В.А., Буценко В.В., Булаткин КИ.* Переходные зоны континент - океан пассивных окраин // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 2. СПб.: ВНИИОкеангеология. 1998. С. 79-88.
4. *Подгорных Л.В., Хуторской М.Д.* Планетарный тепловой поток / Карта масштаба 1: 30 000 000 и объяснительная записка к ней. М.-СПб.: Оргсервис ЛТД, 1997.
5. *Подгорных Л.В., Хуторской М.Д.* Термическая эволюция литосферы зоны сочленения Балтийского щита и Баренцевоморской плиты // Известия РАН. Физика Земли. 1998. №3. С. 56-65.
6. *Хуторской М.Д.* Тепловой поток в областях структурно-геологических неоднородностей. М.: Наука, 1982.
7. *Цыбуля Л.А., Левашкевич В.Г.* Тепловое поле Баренцевоморского региона,- Апатиты, 1992.

Ссылка на статью:



Подгорных Л.В., Хуторской М.Д., Поселов В.А., Павленкин А.Д. **Объемная геотермическая модель литосферы Баренцевоморского региона** // Разведка и охрана недр. 2000. № 12. С. 54-59.