

Реконструкция тепловой эволюции литосферы бассейнов и оценка степени преобразования органического вещества и генерации углеводородов породами бассейна

Ю.И.Галушкин

Материалы к научно-образовательному курсу лекций
«Бассейновое моделирование при поисках месторождений нефти и газа»

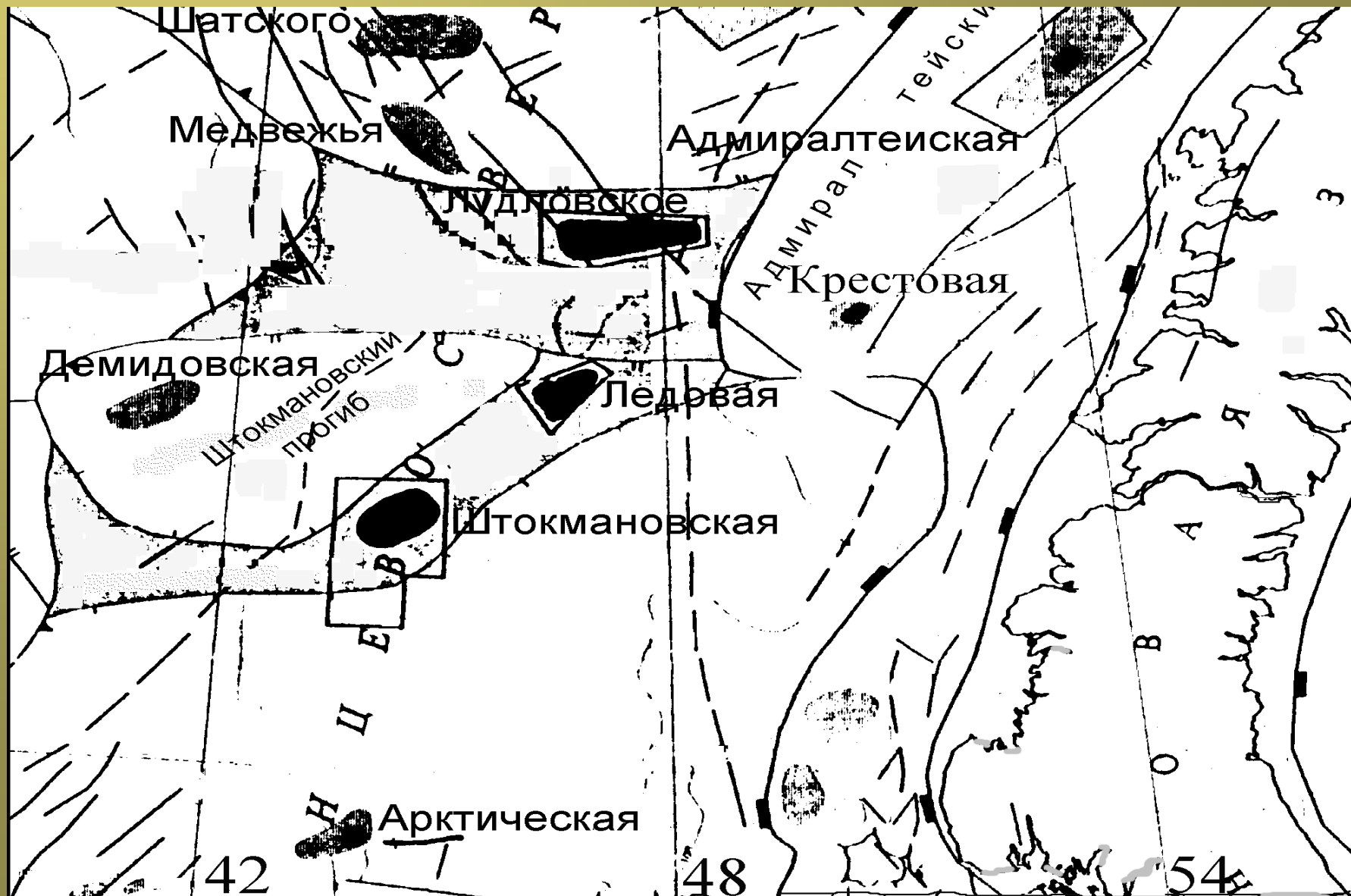
по теме «Численное моделирование нефтегазоносных бассейнов Арктики и Антарктики»

*История погружения и эволюция
термического режима осадочной толщи и
подстилающего фундамента бассейна
Восточно-Баренцевоморского шельфа*

*Численный анализ в рамках системы
« Моделирование Бассейнов »*

*Моделирование проводится на примере
Адмиралтейской и Арктической площадей –
- прогретой и относительно холодной
областей Восточно-Баренцевоморского
бассейна Арктического региона*

Положение изучаемых площадей и характерные структуры Восточно-Баренцевоморского региона

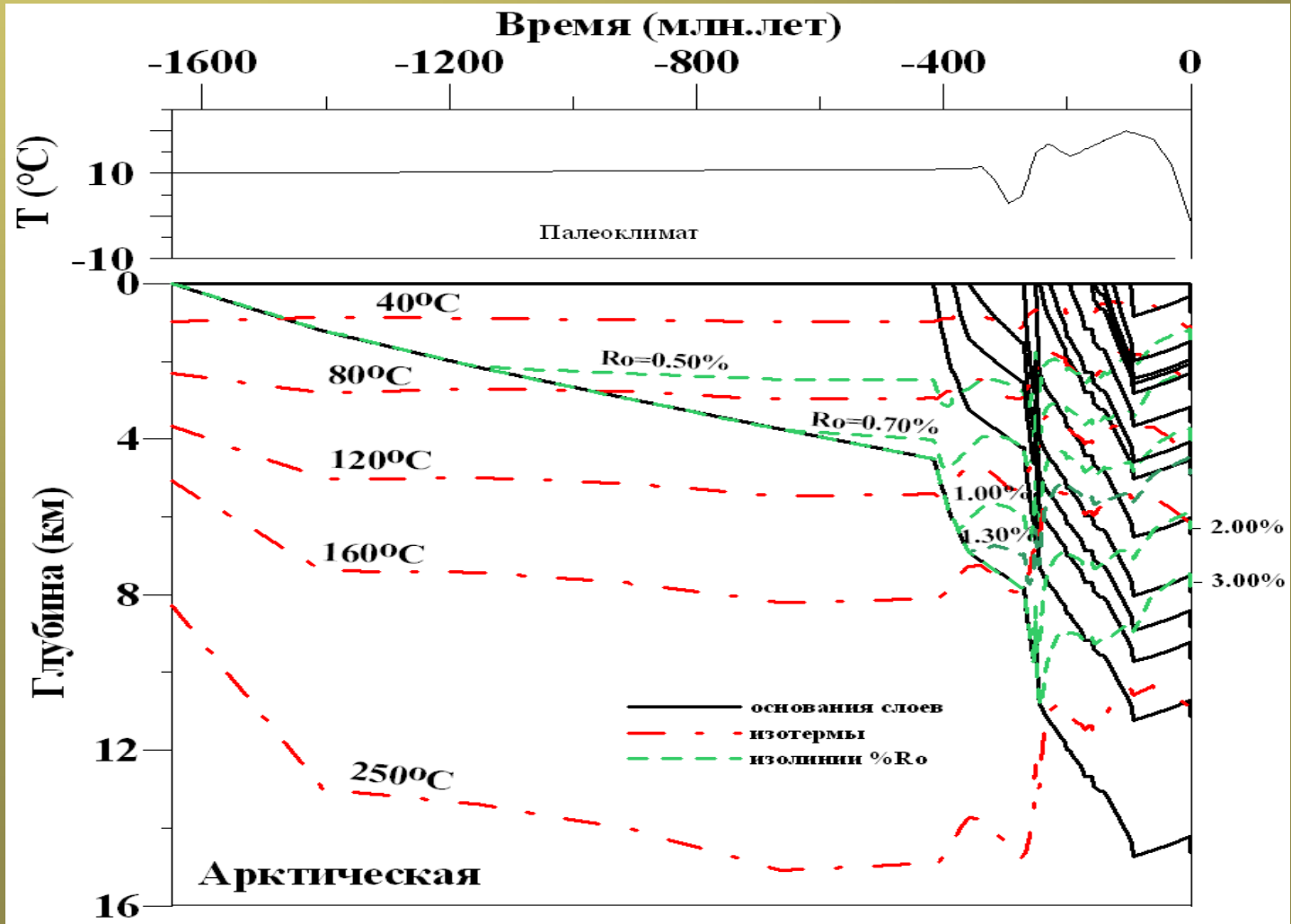


*Аппарат численного моделирования
осадочных бассейнов ГАЛО
позволяет восстановить историю
погружения различных формаций ,
проследить за эволюцией
термического режима их пород и
оценить степень зрелости их
органического вещества*

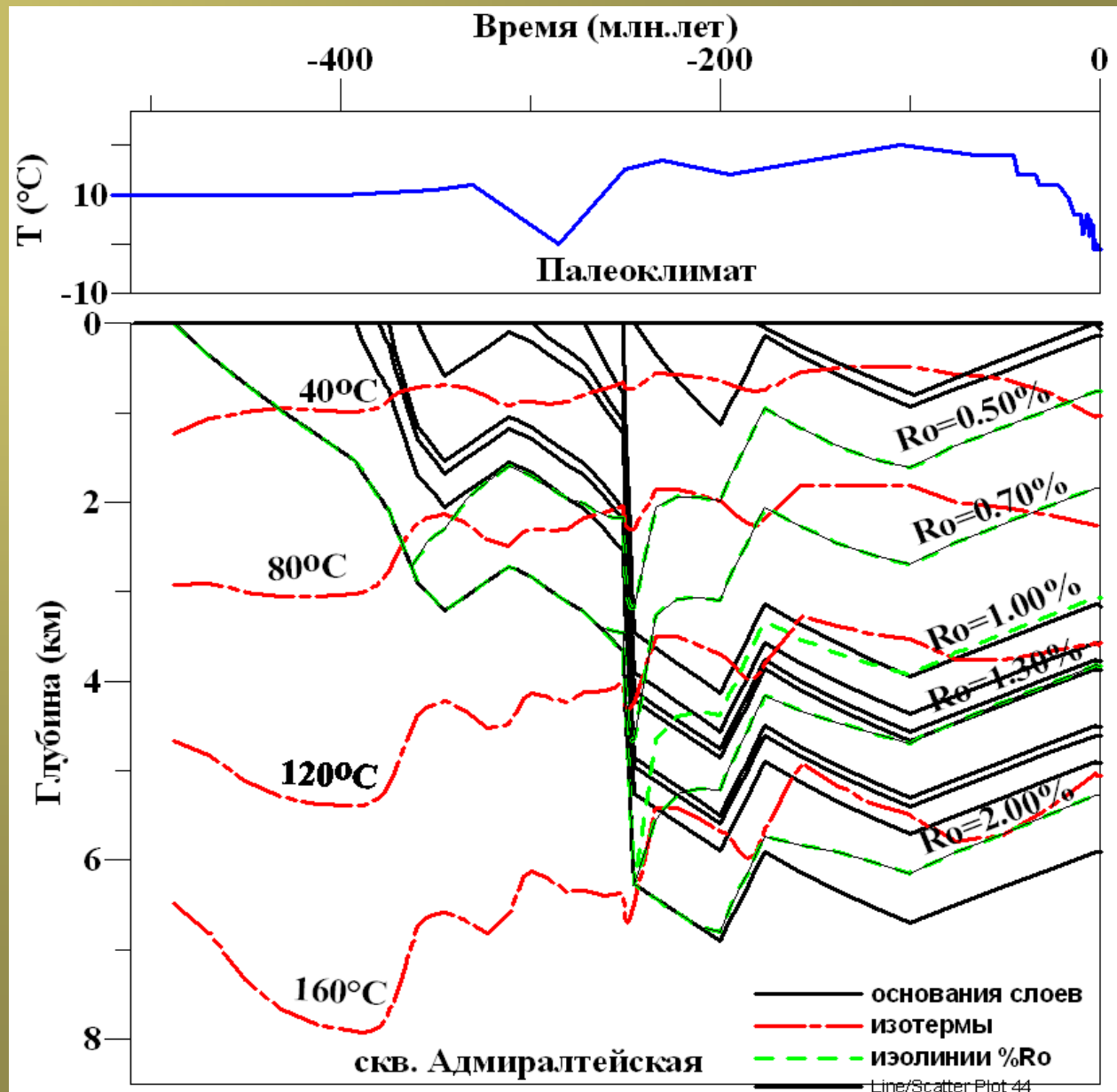
История погружения бассейна на Арктической площади начинается в раннем рифее. В триасе бассейн испытал мощное погружение, которое продолжилось в юре и отчасти в нижнем мелу. В верхнем мелу погружение сменилось умеренной эрозией.

В результате мощность осадочного чехла к насоящему времени достигла 14.6 км.

История погружения и температурная эволюция осадочного чехла Восточно-Баренцевоморского бассейна на Арктической площади, численно восстановленные с применением системы моделирования бассейнов ГАЛО.



История погружения бассейна на Адмиралтейской площади начинается с ордовика, включает этап быстрого погружения в нижнем и среднем триасе и продолжительную эрозию в верхнем мелу. К настоящему времени мощность осадочного покрова составляет около 6 км.



Фундамент Восточно-Баренцевоморского бассейна до его растяжения в девоне и триасе был представлен “стандартной” континентальной литосферой с характеристиками

Слой	Гранитный		“Базальтовый”	Мантия
Глубина основания, км	5,0	15,0	35,0	> 35
Плотность, г/см ³	2,75	2,75	2,90	3,30
Теплопроводность, Вт/мК	2,72	2,72	1,88	$K = f(T)^*$
Генерация тепла мкВт/м ³	1,26	0,71	0,21	0,004

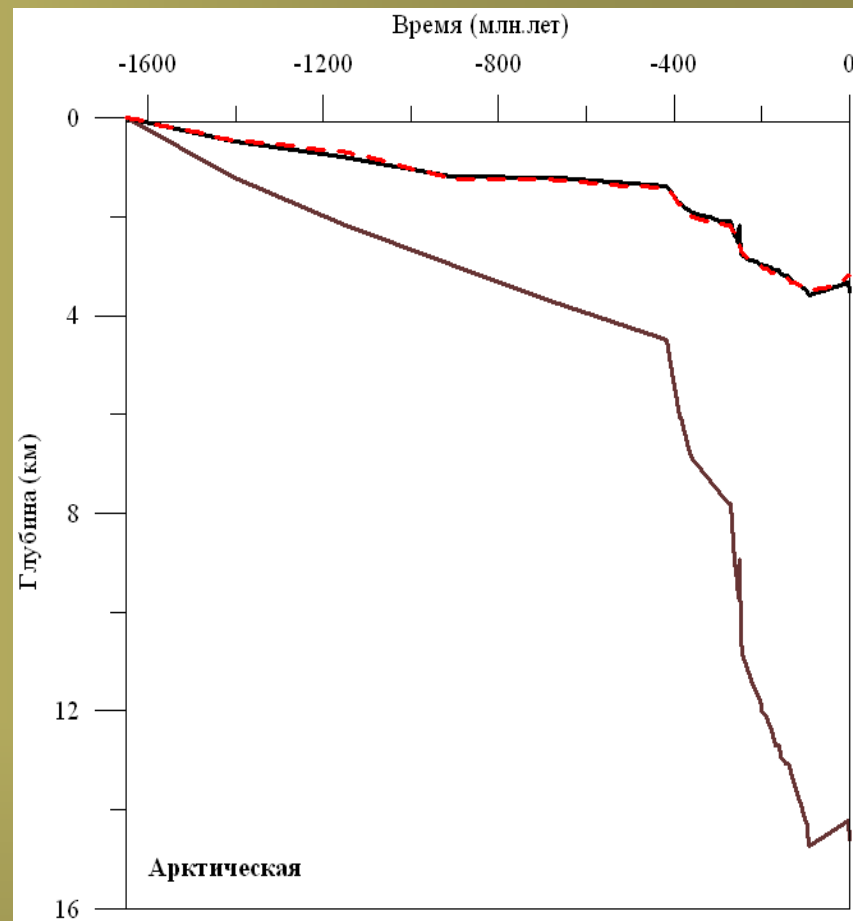
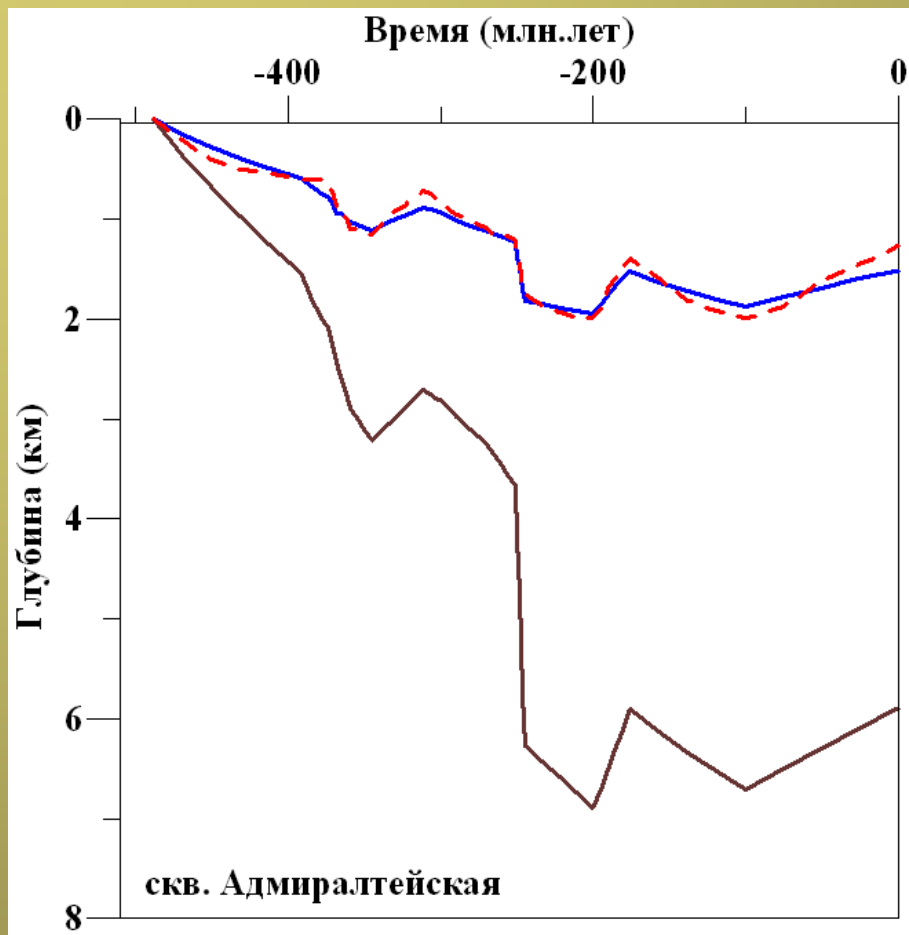
В исходной литосфере (т. е. до её растяжения в девоне и триасе) распад радиоактивных элементов в коре обеспечивал около 18 мВт/м² теплового потока через поверхность фундамента.

Амплитуда растяжения литосферы в районе Ледовой, Штокмановской и Арктической площадей, приуроченных к осевой зоне континентального рифта, составляла 2.0 – 2.1, тогда как на Адмиралтейской площади - около 1.35.

Анализ вариаций тектонического погружения фундамента в истории развития Восточно-Баренцевоморского бассейна используется для оценки интенсивности и продолжительности периодов тепловой и тектонической активизаций бассейна.

С этой целью тектонические вариации рассчитываются двумя способами: 1) - удалением нагрузки воды и осадков с поверхности фундамента (верхняя сплошная линия на графике) и 2) – тектоническое погружение, рассчитанное по вариациям в распределении плотности пород фундамента с глубиной в процессе развития бассейна (верхняя пунктирная кривая на графике).

Нижняя сплошная кривая – глубина поверхности фундамента, вычисленная с применением стандартной процедуры “back-stripping”.



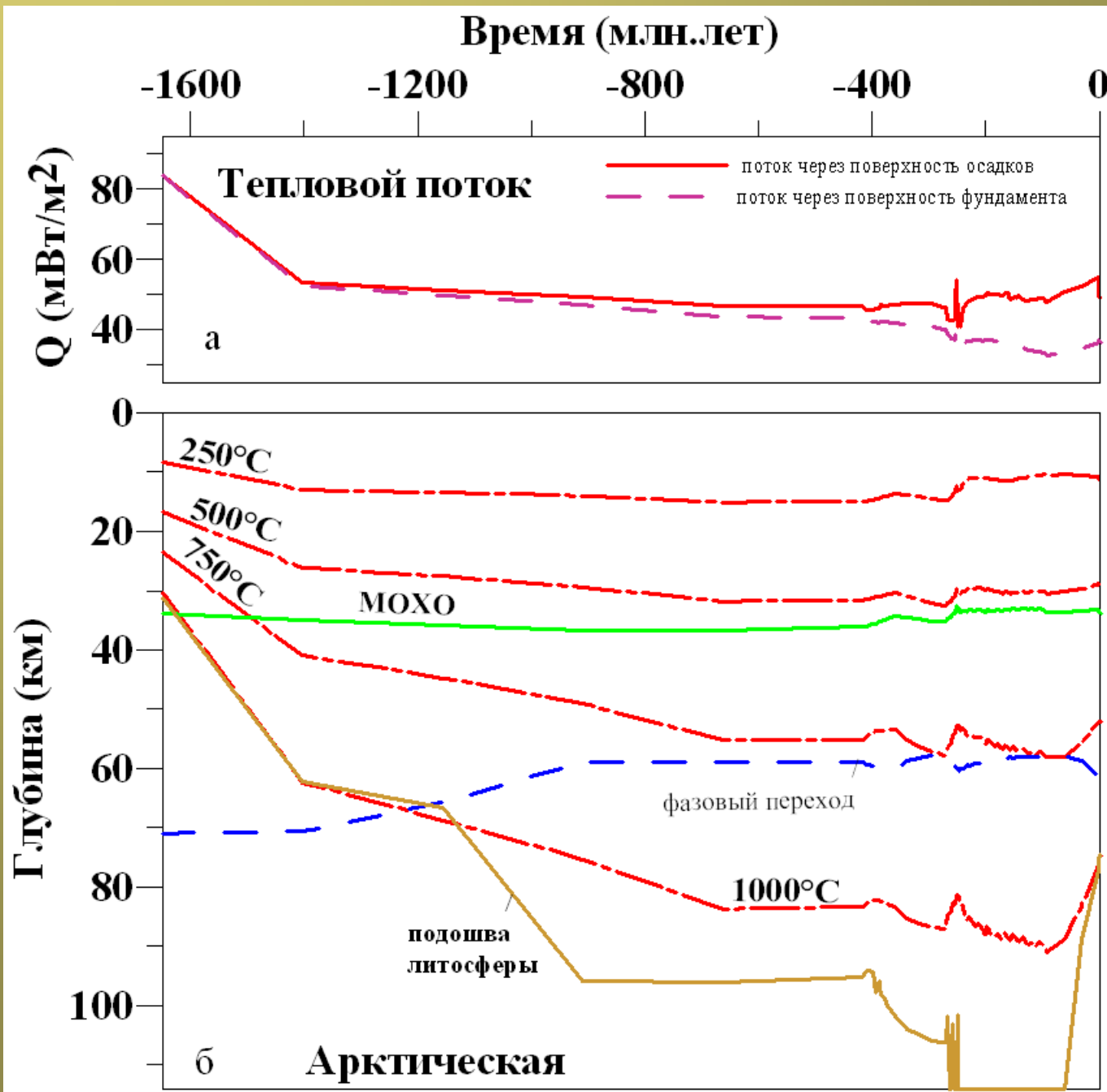
Вариации тектонического погружения поверхности фундамента в истории развития Восточно-Баренцевоморского бассейна в районе Адмиралтейской и Арктической площадей.

Арктическая площадь:

Два периода умеренной термической активизации литосферы объясняют периоды замедленного остывания литосферы в рифее и эрозию бассейна и верхнем мелу-кайнозое.

Три периода растяжения литосферы соответствуют этапам быстрого погружения бассейна в девоне и с перми по нижний мел, включительно. Суммарная амплитуда такого растяжения оценивается значением $\beta = 1.77$.

Такое растяжение приводит уменьшению толщины коры, несмотря на отложение почти 15 километрововой толщи осадков

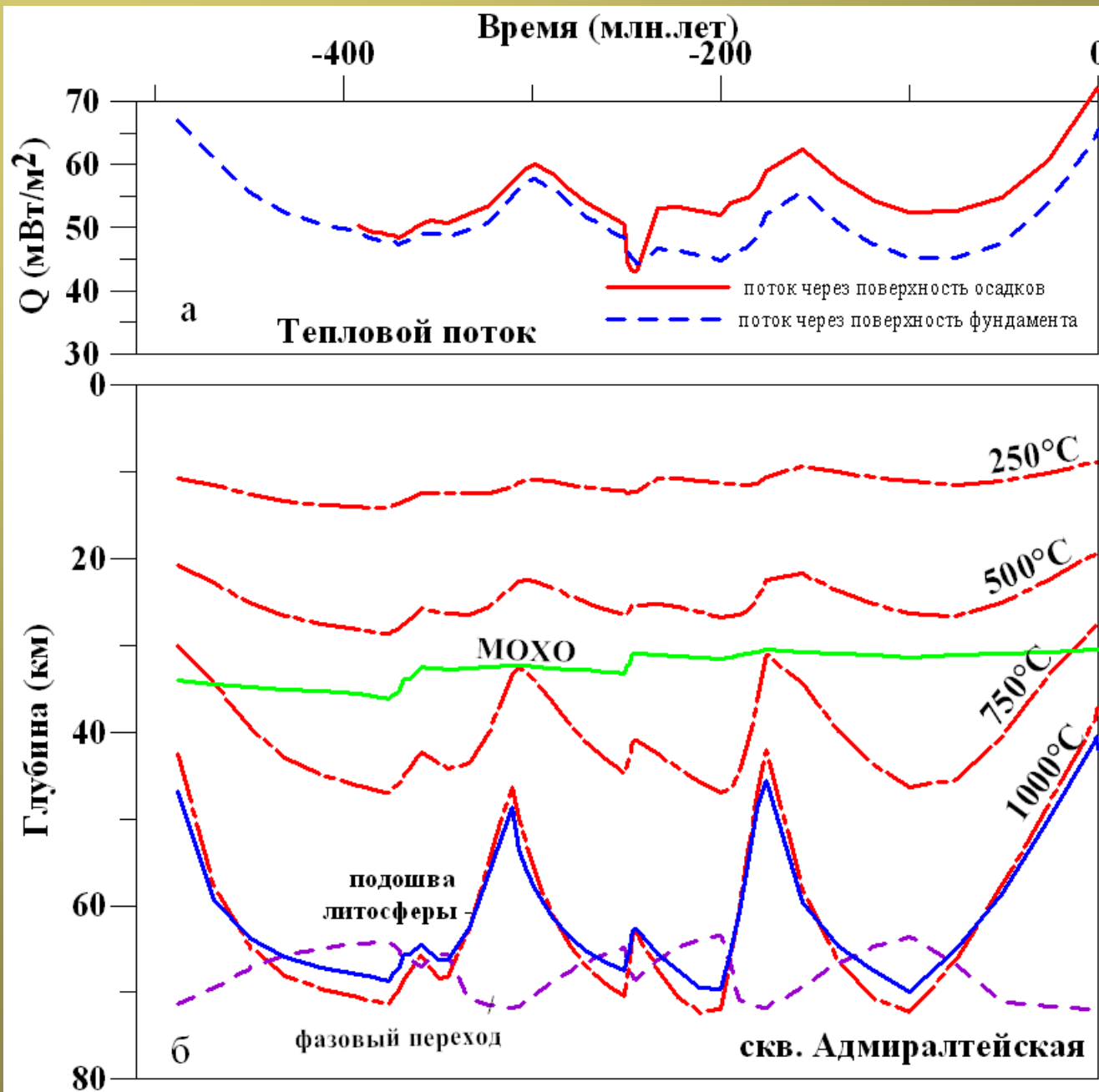


Термическая история литосферы Восточно-Баренцево-морского бассейна в районе Арктической площади (относительно низкий тепловой режим литосферы)

Адмиралтейская площадь:

Четыре периода заметной термической активизации литосферы. Первый из них объяснял замедленное остывание литосферы в силуре-девоне, остальные три отвечали периодам эрозии бассейна в карбоне, перми-триасе и верхнем мелу-кайнозое.

Два относительно коротких периода умеренного растяжения литосферы, с суммарной амплитудой β около 1.4. Они объясняли этапы быстрого погружения бассейна в верхнем девоне и нижнем триасе.



Термическая история литосферы Восточно-Баренцево-морского бассейна в районе Адмиралтейской площади (высокий тепловой режим литосферы)

Тепловой поток

Вклад в тепловой поток от тепла, выделяемого при распаде радиогенных элементов в осадочных породах (около 20 мВт/м² для Арктической и 8 мВт/м² для более тонкого осадочного покрова Адмиралтейской площади) определяет различие тепловых потоков через поверхность осадочного чехла (сплошные линии на рис.а) и поверхность фундамента (пунктирные линии на рис.а).

Вычисленный поток через поверхность фундамента равен 31 и 63 мВт/м² для Арктической и Адмиралтейской площадей, соответственно.

Тепловой поток

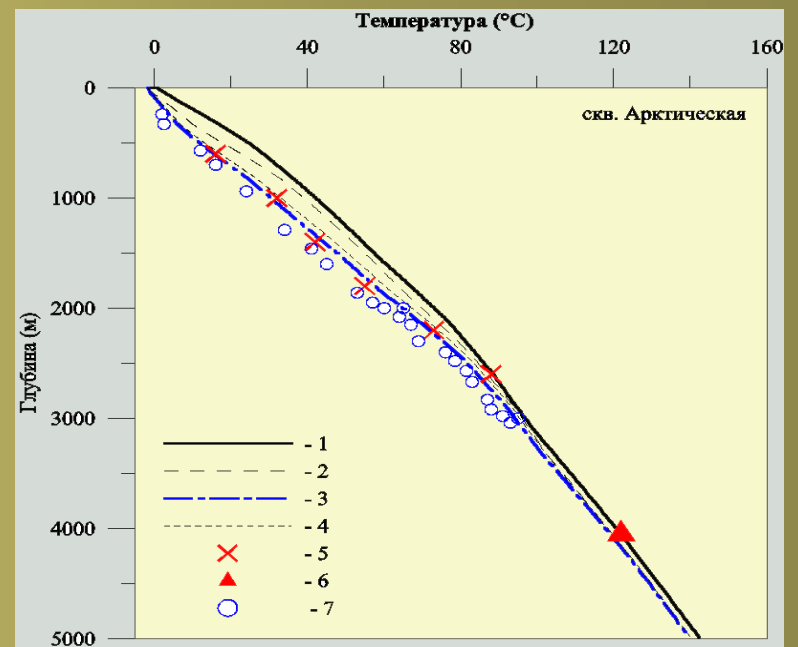
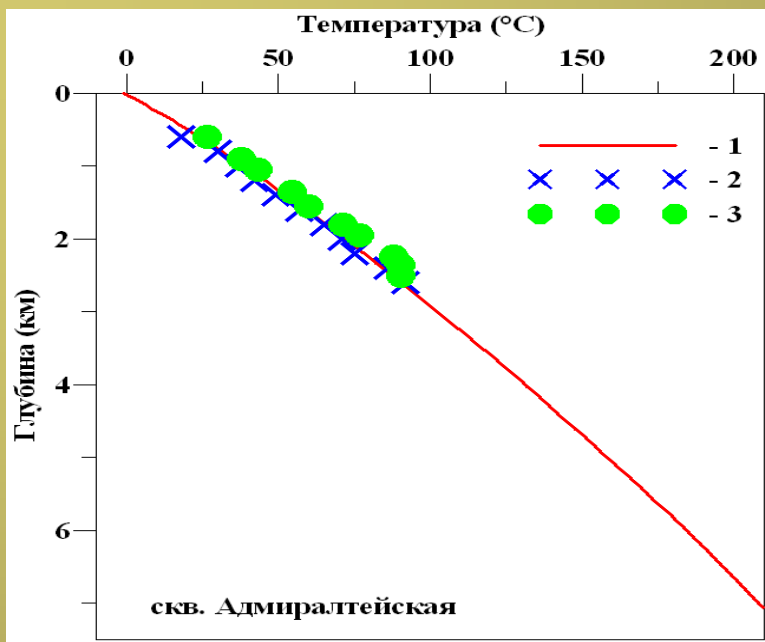
Радиогенный вклад современной (т.е. утонённой) консолидированной коры: в тепловой поток будет составлять около 12 мВт/м^2 на Арктической и 19 мВт/м^2 на Адмиралтейской площади, так как последняя характеризуется меньшей степенью растяжения литосферы (см. выше).

Вычисленный современный тепловой поток из мантии: составляет около 19 мВт/м^2 на холодной Арктической площади в осевой зоне девонского рифта и растёт до 44 мВт/м^2 к северу от неё в районе Адмиралтейской площади и продолжает расти с приближением к хребту Гаккеля.

Измеренный тепловой поток через дно моря составляет около 70 мВт/м² для скв. Арктическая и около 90 мВт/м² – для Адмиралтейской площади., тогда как вычисленный составлял соответственно 53.4 и 71 мВт/м². То есть на 15 - 20 мВт/м² меньше измеренных значений.

Такая ситуация типична для всех модельных оценок теплового потока в Восточно-Баренцевоморском бассейне (Хуторской, 2003; Вержбицкий, 2005) и объясняется влиянием термической релаксации верхних горизонтов осадочного чехла после Валдайского оледенения, а также тепловым влиянием морских трансгрессий.

Поэтому в моделировании бассейнов предпочитают использовать для контроля модели не измерения поверхностного теплового потока, а измерения температур пород на глубине, менее подверженных влиянию локальных по времени и месту факторов, чем тепловой поток.



Температуры, рассчитанные для глубин 0.5 – 2 км, будут близкими к измеренным значениям только при учёте детальных колебаний климата в последние 1 – 2 млн. лет.

На Арктической площади совпадение этих температур достигается в предположении промерзания моря с температурой на поверхности ледового покрова около -15°C в течение последних 80 тысяч лет.

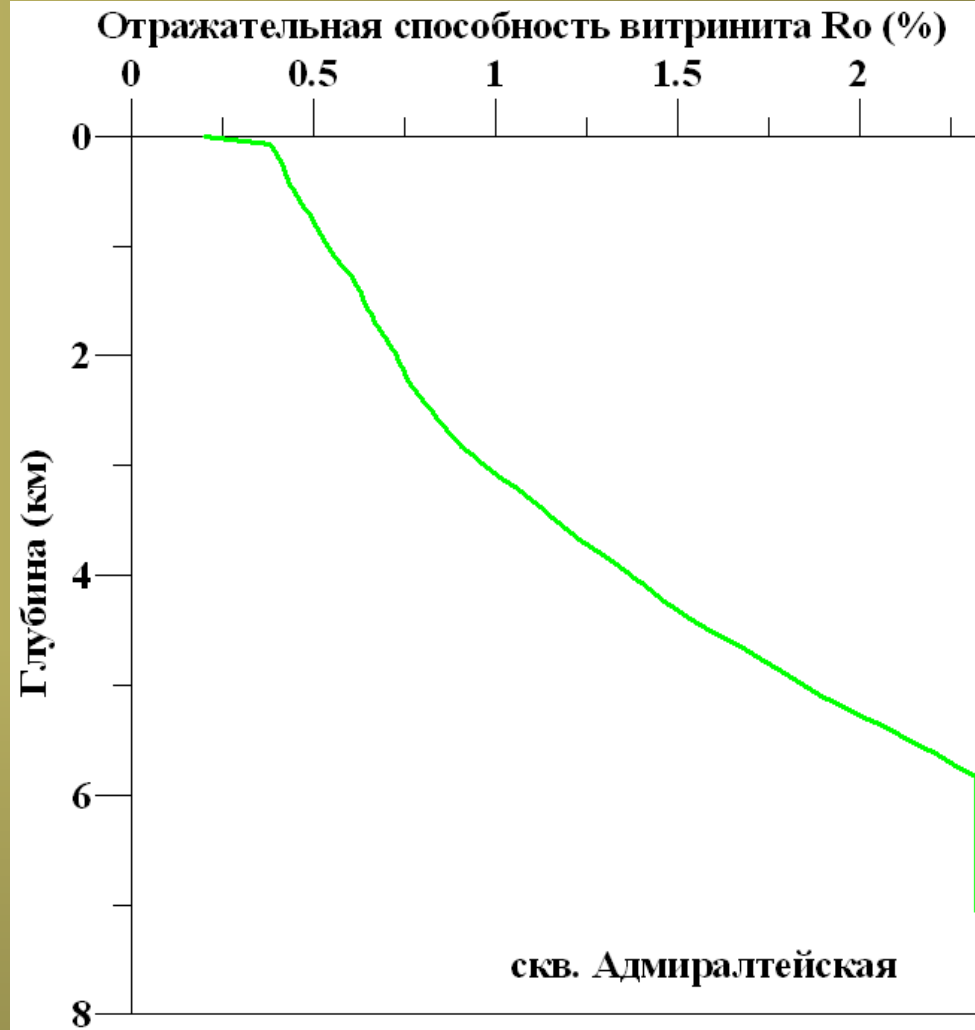
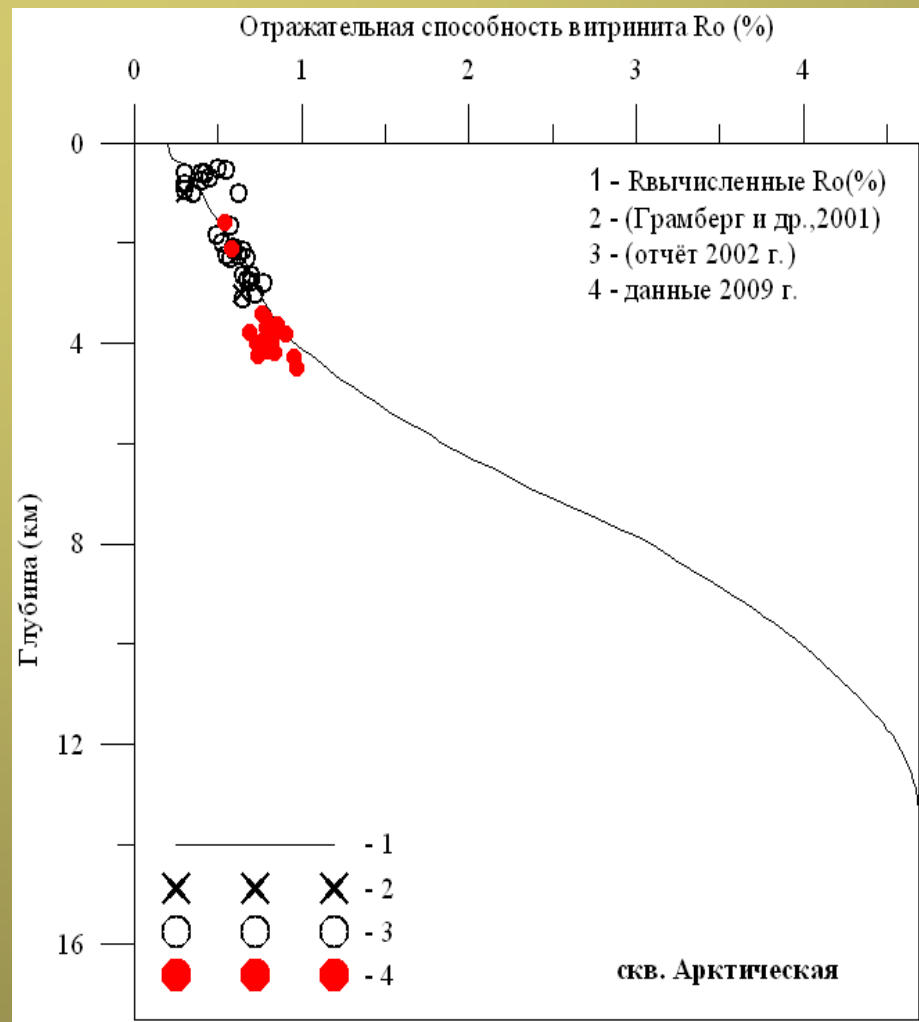
Температуры, вычисленные для глубин более 2.5 км, неплохо согласуются с измеренными, во всяком случае для скважин с надёжными измерениями температур, таких как Адмиралтейская и Арктическая.

Арктическая площадь :

Температура, измеренная на глубине 2600 м, составляла около 90°C при вычисленном значении $T=88^{\circ}\text{C}$

и температура, измеренная на глубине $z=4050$ м, составляла около 122°C при вычисленном значении 119°C.

Рассчитанные изменения температуры осадочных пород в процессе их погружения в бассейне использовались для вычисления степени созревания их органического вещества. Последняя определялась путём вычисления отражательной способности витринита ($R_o\%$) и характеризовала способность органического вещества генерировать нефть и газ в процессе погружения осадочной породы в бассейне. При вычислении $R_o\%$ использовались температурная история породы $T(t)$ и кинетический спектр созревания витринита.



Вычисленные и измеренные распределения $\%R_o(z)$ в современном разрезе Восточно-Баренцево-морского бассейна. Окно генерации нефти ($0.50 \leq R_o \leq 1.30\%$), конденсата ($1.30 \leq R_o \leq 2.20\%$) и окно генерации сухого газа ($R_o \geq 2.20\%$).

Заметим, что формальное использование высоких значений измеренного теплового потока $q=69$ мВт/м² (поток через поверхность фундамента тогда составляет 48.5 мВт/м²) для Арктической площади приводит к температуре $T = 159^{\circ}\text{C}$ и отражательной способности $R_0=2.02\%$ на глубине $z=4050$ м вместо измеренных 122°C и 0.90% , соответственно. Аналогично для $z=2600$ м получаем $T=115^{\circ}\text{C}$ вместо измеренной здесь $T=90^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, высокие значения измеренных тепловых потоков вступают в явное противоречие с измерениями глубинных температур и должны объясняться трудностями измерения теплового потока q в условиях шельфа и влиянием последних оледенений и трансгрессий моря.