

ТЕКТОНОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

В. Л. Ильченко

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

На основе данных геофизического исследования скважин (ГИС) по 8 скважинам, пройденным на шельфе Баренцева моря (Южно-Баренцевская впадина), проведена проверка механизма тектонического расслоения земной коры в динамическом режиме затухающей колебательной системы, регулярно возбуждаемой лунным приливом. Механизм тектонического расслоения использован для вычисления мощности земной коры по длине конечной моды расслоения (M_k), измеренной на графиках ГИС (кавернометрии и др.). Результаты вычисления глубины залегания границы Мохо (в точках заложения скважин) согласуются с результатами глубинного сейсмологического исследования Южно-Баренцевской впадины, что подтверждает универсальность механизма тектонического расслоения и открывает новые возможности для аналитических исследований с построением моделей тектонического расслоения корово-мантийной оболочки Земли по результатам каротажных работ, проведенных в морских и континентальных скважинах.

Ключевые слова:

механизм тектонического расслоения, геофизическое исследование скважин (ГИС), земная кора, граница Мохо, сейсмические разрезы.

TECTONIC AND STRATIGRAPHIC MODELING OF THE EARTH CRUST BY GEOPHYSICAL EXPLORATION DATA FROM BOREHOLES ON THE BARENTS SEA SHELF

Vadim L. Il'chenko

Geological Institute of the KSC of the RAS

Abstract

Based on the geophysical exploration data from the 8 boreholes traversed on the Barents Sea shelf (South Barents depression), the mechanism of tectonic layering of the Earth's crust as a damping oscillation system, regularly excited by the lunar tide, was verified. The mechanism of tectonic layering is used to calculate the thickness of the earth's crust by the length of the final mode of layering (M_k), measured on the caliper survey graphs. The results of the Moho depths calculatings (at the borehole locations) are consistent with the results of a deep seismic survey of the South Barents depression, which confirms the universality of the mechanism. This universality opens new opportunities for analytical studies with the construction of tectonic layering models of the crust-mantle shell of the Earth from the results of logging studies obtained both from continental and offshore boreholes.

Keywords:

mechanism of tectonic layering, well logging, the Earth crust, Moho boundary, seismic cross-sections.



Введение

Для изучения глубинного строения Земли используются дорогостоящие и трудоемкие методы: проходка параметрических (в том числе сверхглубоких) скважин [1] и сейсмологическое профилирование на суше [2] и морском шельфе (МОГТ, ГСЗ и т. п. [3, 4]). К настоящему времени в мире пройдено совсем не много сверхдлинных профилей глубинного сейсмозондирования, равно как и сверхглубоких скважин, при этом количество рядовых — неглубоких — скважин вряд ли поддается учету и почти любая из них доступна

для проведения комплекса каротажных работ — геофизического исследования скважин (ГИС), причем во многих скважинах такие работы уже проведены. Большинство методов ГИС, так или иначе, отражает динамическое — напряженно-деформированное — состояние в породах околоскважинного пространства, то есть графики ГИС могут служить индикаторами геодинамических условий во вмещающую скважину фрагменте земной коры. Результаты ранее проведенных в этом направлении исследований позволяют с высокой вероятностью делать прогноз динамических условий в породах земной коры на глубину, многократно превышающую глубину забоя исследуемой скважины.

Модель тектонического расслоения земной коры Печенгского блока

Механизм тектонического расслоения земной коры как твердой колебательной системы был предложен в ходе изучения физических свойств керна Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) при попытке создать тектоностратиграфическую модель земной коры Печенгского блока (Балтийский щит) [5, 6]. Предложенный механизм расслоения основан на предположении, что лунный прилив регулярно превращает оболочку Земли в колебательную систему, затухающую в динамических условиях, которые напоминают условия затухания стоячей волны. В данной ситуации «стоячая волна» затухает в шаговом ритме с установлением на ней множества неподвижных узловых точек: первый узел (кроме пары неподвижных узлов на концах струны — в точках ее крепления) появляется в середине струны (длина струны L равна длине волны λ), разделяя струну пополам, а волну — на две полуволны ($\lambda/2$); затем в середине каждой из этих полуволн возникают новые узлы и т. д. [7], то есть все происходит по закону:

$$\lambda_n = \lambda_0/2^n, \quad (1)$$

где n — номер моды: 0, 1, 2..., все целые числа; λ_n — длина n -й моды (расстояние между соседними узлами); λ_0 — длина струны.

Такой характер затухания аналогичен затуханию стоячей волны в земной коре, где оно также сопровождается развитием системы неподвижных узлов, куда «отжимается» часть напряжений из пород колеблющихся зон пучностей стоячей волны; таким образом, все узлы постепенно превращаются в концентраторы избыточно высоких напряжений [8]. В скважине, в районе этих узлов, наблюдается увеличение диаметра ствола — следствие породных вывалов. В общем система узлов обуславливает развитие тектонических границ. Модельные параметры расслоения земной коры Печенгского блока рассчитаны по формуле

$$M_n = M_0/2^n, \quad (2)$$

где n — номер моды; M_n — длина n -й моды расслоения; $M_0 = 42 \pm 2$ км — мощность земной коры Печенгского блока [9] (см., например, табл. 1). Результаты моделирования вместе с большим количеством подробной сопутствующей информации представлены в работах [5, 6] (и ссылки там).

Таблица 1
Table 1

Параметры модели расслоения земной коры Печенгского блока
Parameters of the model of the crustal stratification of the Pechenga block

Номер моды Mode №	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Длина моды, км Length of the mode, km	42 ± 2	21 ± 1	10,5 ± 0,5	5,25 ± 0,25	2,625 ± 0,125	1,312 ± 0,062	0,656 ± 0,031	0,328 ± 0,015	0,164 ± 0,007	0,082 ± 0,003	0,041 ± 0,0015

Сравнение модели тектонического расслоения земной коры Печенгского блока с кавернограммой Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) [5, 6] показало, что модельные границы совпадают в 74 % случаев с интервалами пород — концентраторов избыточно высоких напряжений (вывалы пород из стенок скважины) по стволу. Подобные условия типичны для тектонических границ и связаны, может быть, с формированием зон аномально высоких пластовых давлений (АВПД), где часто возникают аварийные ситуации (заклинивание бурового инструмента и др.). При анализе модели установлено, что реальные тектонические границы (концентраторы высоких напряжений) в СГ-3 тяготеют к границам «коротких» мод (М7–М9), расположенным, как правило, вблизи границ более «длинных» мод (М2–М5).

Механизм тектонического расслоения позволяет рассчитывать мощность земной коры (глубину залегания границы Мохо) и параметры расслоения от длины конечной моды (M_k) в обратном порядке, по формуле

$$M_0 = M_n \cdot 2^n, (M_n = M_k). \quad (3)$$

Длину M_k (в идеале) можно получить по кривым ГИС (профилеметрия и др.) измерением расстояния между двумя соседними переломными точками на кривой, отражающей динамическое состояние интервала однородных (по структуре и минеральному составу) пород (рис. 1).

Мощность земной коры (глубина залегания границы Мохо), например, вызывает интерес в связи с месторождениями углеводородов. Известно, что преимущественно нефтяные месторождения находятся в местах подъема границы Мохо, то есть с утоненной земной корой, а газовые месторождения преобладают в областях опускания этой границы (с утолщенной корой) [10].

Для выделения «конечных мод» тектонического расслоения с измерением их длины предлагается поэтапный порядок проведения анализа (рис. 1):

1) выбор структурно и литологически однородного участка с вывалами пород, отраженными на графике кавернометрии (КВ) скважины (рис. 1, а);

2) выделение на соответствующем отрезке кривой КВ серии породных вывалов, схожих по характеру убывания (возрастания) по разрезу (рис. 1, б);

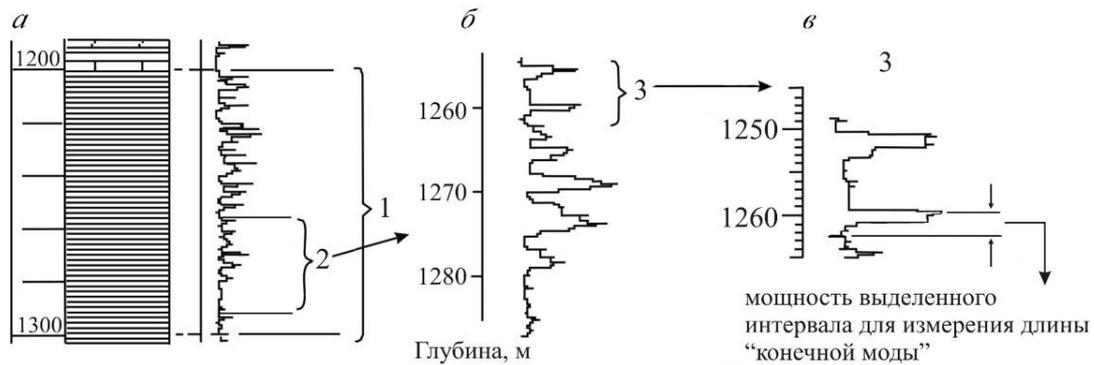
3) выбор в этой серии «минимального» ритма, позволяющего измерить длину «половины волны» — расстояние между парой соседних «переломных» точек на кривой КВ — от начала резкого уменьшения до начала резкого увеличения диаметра скважины. Это расстояние и определяет «минимальную» длину «конечной» моды M_k (рис. 1, в);

4) номер моды M_k определяется сравнением измеренной длины с модельными значениями, приведенными в колонках табл. 2 (например, длина $M_k = 9$ м соответствует моде М12);

5) получение мощности земной коры (значение M_0 в точке заложения скважины) умножением длины измеренной конечной моды M_k на 2^n , где n — ее номер: $M_0 = M_k \cdot 2^n$.

Определяя длину «конечной» моды, следует помнить, что графическая информация (каротажные кривые и КВ в том числе) в оцифрованном виде (с расширением .bmp, .gif, .jpeg) может накапливать дефекты в процессе масштабирования и т. п., снижающие точность вычислений, поэтому в каждом глубинном интервале нужно уточнять масштаб (например, проверять число пикселей на 1 м).

Идеальные условия (как на рис. 1) для измерения M_k встречаются довольно редко, что обусловлено неизбежными искажениями во время вычерчивания графиков и непредсказуемостью пространственных вариаций физических свойств горных пород в земной оболочке. Поэтому гораздо проще представляется посчитать вывалы в более или менее однородном породном интервале стандартной длины (например, 100 м) и разделить эту длину на количество вывалов. Номер измеренной по результатам ГИС моды M_k , как уже говорилось, определяют сравнением ее длины с модельными значениями в столбцах табл. 2.



Масштаб интервала 1200-1300 м: 1 м=1.48 пикселей, длина конечной моды равна 4 пикселя = 2.703 м, что близко к значению элемента расслоения М14 = 2.75 в табл. 2

Рис. 1. Этапы выбора «конечной моды» (а, б) и измерения ее длины (в) — для идеального случая
Fig. 1. Stages of choosing the “final mode” (a, б) and measuring its length (в) — for the ideal case

Таблица 2
Table 2

Длины промежуточных мод тектонического расслоения земной коры М5–М14*
The lengths of intermediate modes of tectonic stratification of the earth's crust М5–М14*

М0, км	М5, м	М6, м	М7, м	М8, м	М9, м	М10, м	М11, м	М12, м	М13, м	М14, м
М0, km	М5, m	М6, m	М7, m	М8, m	М9, m	М10, m	М11, m	М12, m	М13, m	М14, m
32	1000	500	250	125	60,25	30,12	15,06	7,8	3,9	1,95
33	1030	515	257	128,5	64,2	32,19	16,1	8,04	4,02	2,01
34	1060	530	265	132,5	66,25	33,12	16,56	8,28	4,14	2,07
35	1093	546	273	136,6	68,3	34,15	17,08	8,54	4,27	2,13
36	1125	562	281	140,5	70,25	35,12	17,58	8,79	4,39	2,20
37	1156	578	289	144,5	72,25	36,12	18,06	9,03	4,51	2,26
38	1185	592	296	148	74,06	37,03	18,52	9,26	4,63	2,31
39	1219	609	305	152,5	76,19	38,09	19,05	9,52	4,76	2,38
40	1250	625	312	156	78,12	39,06	19,53	9,76	4,88	2,44
41	1281	640	320	160	80,06	40,03	20,01	10,01	5,00	2,50
42	1312	656	328	164	82	41	20,5	10,25	5,125	2,562
43	1344	672	336	168	84	42	21	10,5	5,25	2,62
44	1375	687,5	343,7	171,9	85,9	43	21,5	10,7	5,37	2,69

* Рассчитаны от целых значений М0 в интервале 32–44 км для определения номера (n) конечной моды Мк.

* Calculated from integer values of M0 in the range 32–44 km to determine the number (n) of the finite mode Мк.

Анализ данных профилометрии СГ-3 [9] доказывает возможность расчета в обратном порядке (рис. 2). Прямым подсчетом установлено, что интервал а содержит 12, а интервал б — 24 породных вывала.

Размер Мк получен делением мощности интервала (1 км) на количество вывалов:

- для интервала а Мк равен 83,33(3) м, что, согласно табл. 2, соответствует моде М9;
- для интервала б Мк равен 41,66(6) м, т. е. это мода М10 (табл. 2).

При подстановке этих значений в формулу $M = M_n \cdot 2^n$ получаем мощность $M_0 \approx 42,67$ км (глубина границы Мохо в устье СГ-3). Сравнение динамического разреза СГ-3 с моделью расслоения, рассчитанной от $M_0 \approx 42,67$ км, показало увеличение точности попадания границ модели в интервалы с динамическими проявлениями (вывалами пород) до 96,4 %.

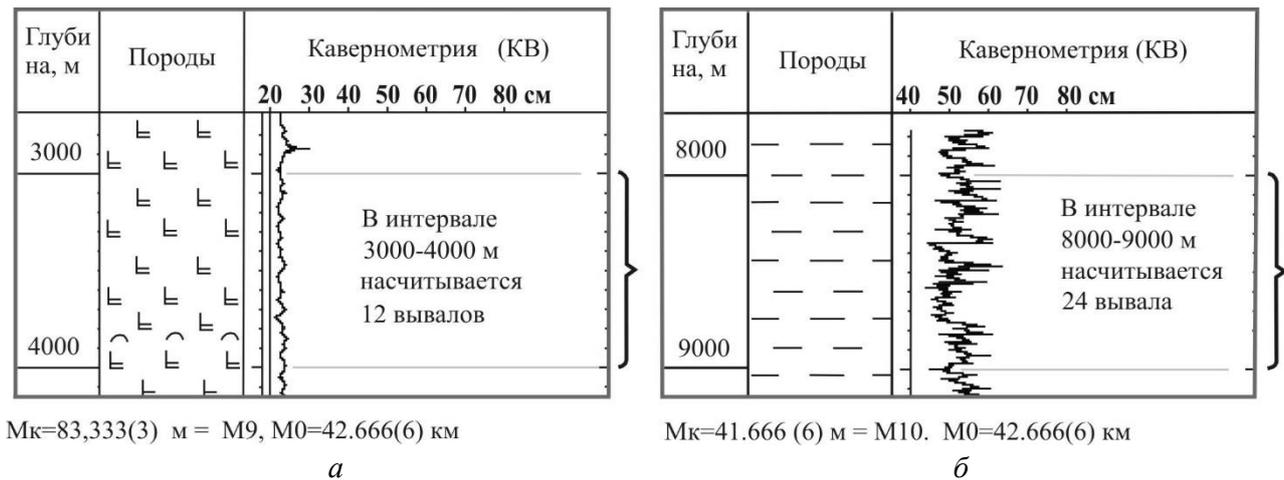


Рис. 2. Анализ фрагментов разреза СГ-3:
a — актинолитизированные диабазы, интервал глубин 3–4 км; *б* — биотит-плагиоклазовые гнейсы, интервал глубин 8–9 км (из [9])

Fig. 2. Analysis of fragments of the SG-3 section:
a — actinolitized diabases, depth interval 3–4 km; *б* — biotite-plagioclase gneisses, depth interval 8–9 km (from [9])

Проверка механизма тектонического расслоения на материалах ГИС Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4) с вычислением мощности земной коры в ее устье показала: $M_0 = 46,7$ км, что почти не отличается от положения границы Мохо в устье СГ-4, полученного сейсмологами: $M_0 \approx 47$ км [11].

Скважины СГ-3 и СГ-4 пройдены в толщах преимущественно древних (докембрийского возраста) метаморфических пород, разрезы которых отличаются ритмичным фрактально-слоистым строением с соответствующим типом тектонического расслоения. Схожая «фракталоподобность» [1] типична для строения осадочных породных толщ фанерозойского платформенного чехла, слоистое строение которых обусловлено самой динамикой процесса осадконакопления. Проверка способа расчета глубин залегания границы Мохо по длине M_k , проведенная на трех поисково-разведочных площадях Калининградской обл. (даже по сводным разрезам) дала вполне удовлетворительные результаты [5].

Строение земной коры Баренцево-Карского региона по результатам сейсмологических измерений и модельная мощность земной коры в Южно-Баренцевской впадине по данным ГИС

Современная изученность глубинного строения земной коры Баренцево-Карского региона (этой крупной потенциально нефтегазоносной провинции) основана, главным образом, на результатах сейсмологических исследований по профилям ГСЗ-82 и МОВ-ОГТ: 1-АР и 2-АР [3, 13, 14 и др.]. Профили 1-АР и 2-АР пройдены по периферии Южно-Баренцевской впадины, которую трассирует лишь профиль ГСЗ-82 (рис. 3).

Эти исследования принесли много новых сведений о строении земной коры данного региона, включая историю его формирования. В контексте настоящей статьи следует обратить внимание на сеймостратиграфию и вариации глубины залегания границы Мохо: ее глубина варьирует в пределах от 30 до 45 км, мощность земной коры сокращается в северном направлении (по профилю 1-АР) [3]. В грабенообразных структурах эта граница поднимается (до 30–37 км), а наименьшие ее глубины зафиксированы в Северо-Баренцевской впадине и наиболее погруженной части Южно-Карской синеклизы [3].

Сравнение с сейсмологическими разрезами (рис. 4) показывает, что вычисленное по длине M_k значение M_0 ближе к варианту *a*. При этом глубина границы Мохо в вариантах *a* и *б* на рис. 4 различается примерно на 2–3 км (решать этот вопрос оставим сейсмологам).

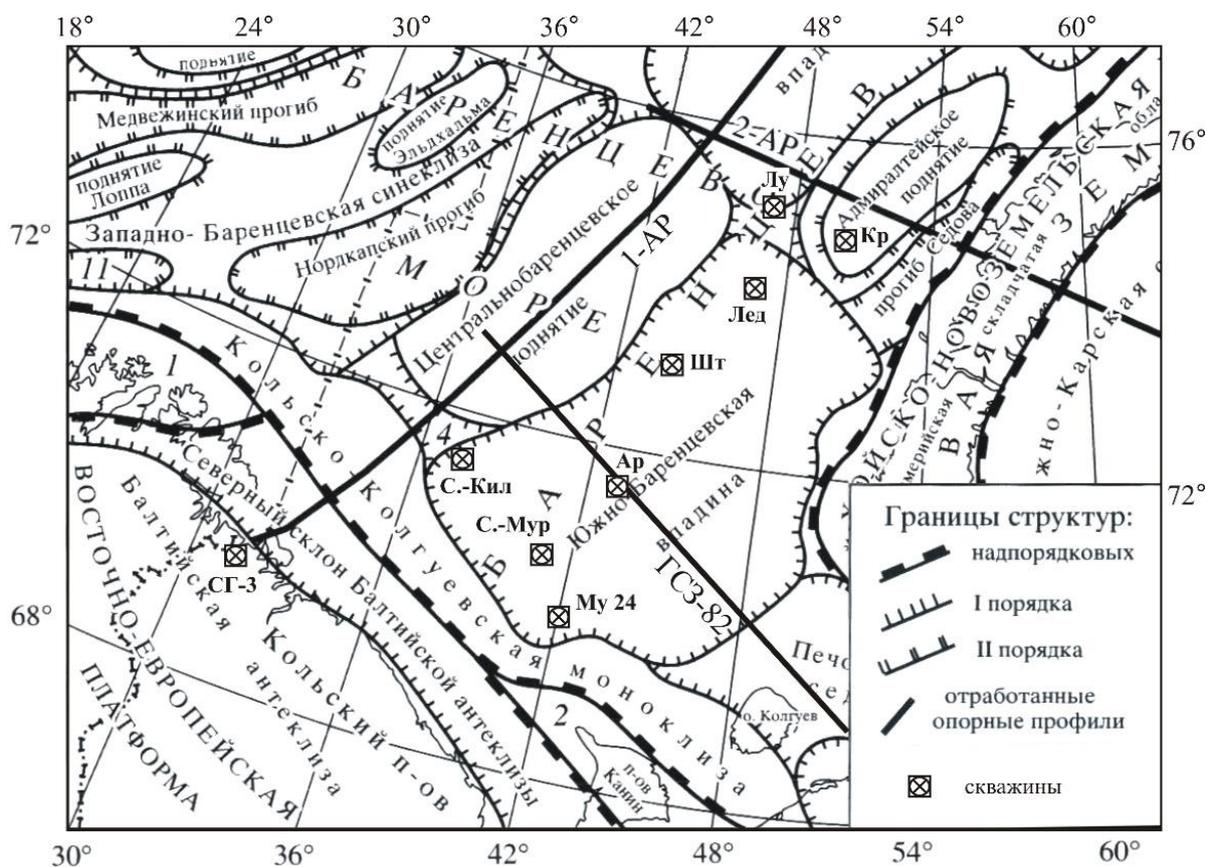


Рис. 3. Положение профилей ГСЗ-82 и МОВ-ОГТ 1-АР, 2-АР в Баренцевом море на тектонической схеме (из [9]) с нанесением мест заложения скважин:

СГ-3 — Кольская сверхглубокая; Ар — Арктическая-1; Кр — Крестовая-1; Лед — Ледовая; Лу — Лудловская-2; Му 24 — Мурманская-24; С.-Кил — Северо-Кильдинская-80; С.-Мур — Северо-Мурманская-1; Шт — Штокмановская-1. Места заложения скважин — из [4]

Fig. 3. The position of the DGS-82 and MOV-OGT 1-AR, 2-AP profiles in the Barents Sea in the tectonic scheme (from [9]) with application of well sites:

SG-3 — the Kola superdeep; Ar — Arctic-1; Kr — Cross-1; Ice — Ice; Lou-Ludlow-2; Mu 24 — Murmanskaya-24; S.-Kil — North-Kildin-80; S.-Moore — North-Murmansk-1; Sht — Shtokmanovskaya-1. The locations of wells are from [4]

Несмотря на низкое качество графиков ГИС по скважине Арктическая-1 (рис. 5), здесь удалось выделить четыре более или менее пригодных для анализа глубинных интервала, из них два интервала по 100 м: 350–450 м (ритмичное переслаивание аргиллитов и песчаников), 1650–1750 м (переслаивание алевролитов и аргиллитов с тонкими слоями известняков в нижней части интервала) и два интервала по 50 м: 1750–1800 м, 1850–1900 м (оба — породные аналоги интервала 1650–1750 м). Два верхних (100-метровых) интервала, несмотря на различие по глубине залегания и литологии, имеют одинаковые по числу вывалоопасных породных интервалов свойства: 23 «пика» на 100 м, что дает $M_k = 100/23 \approx 4,35$ м и соответствует моде расслоения M_{13} (табл. 2). При подстановке этих значений в формулу $M_0 = M_n \cdot 2^n$ получаем: $M_0 = M_{13} \cdot 2^{13} \approx 35,62$ км (глубина границы Мохо в точке заложения скважины Арктическая-1).

Точно такой же результат получен по интервалу 1850–1900 м, с тем отличием, что 23 вывалоопасных участка здесь оказались на вдвое более коротком (50 м) интервале (то есть частота их встречаемости возросла с глубиной в 2 раза по сравнению с двумя 100-метровыми интервалами выше). В интервале 1750–1800 м выявлено 11 вывалов (на 50 м), то есть $M_k = 50/11 \approx 4,54$ м, что также соответствует моде расслоения M_{13} (табл. 2). Подстановкой этих данных в формулу $M_0 = M_n \cdot 2^n$, получаем: $M_0 = 4,54 \cdot 2^{13} \approx 37,24$ км. Среднее арифметическое из полученных значений $M_0 \approx 3,02$ км.

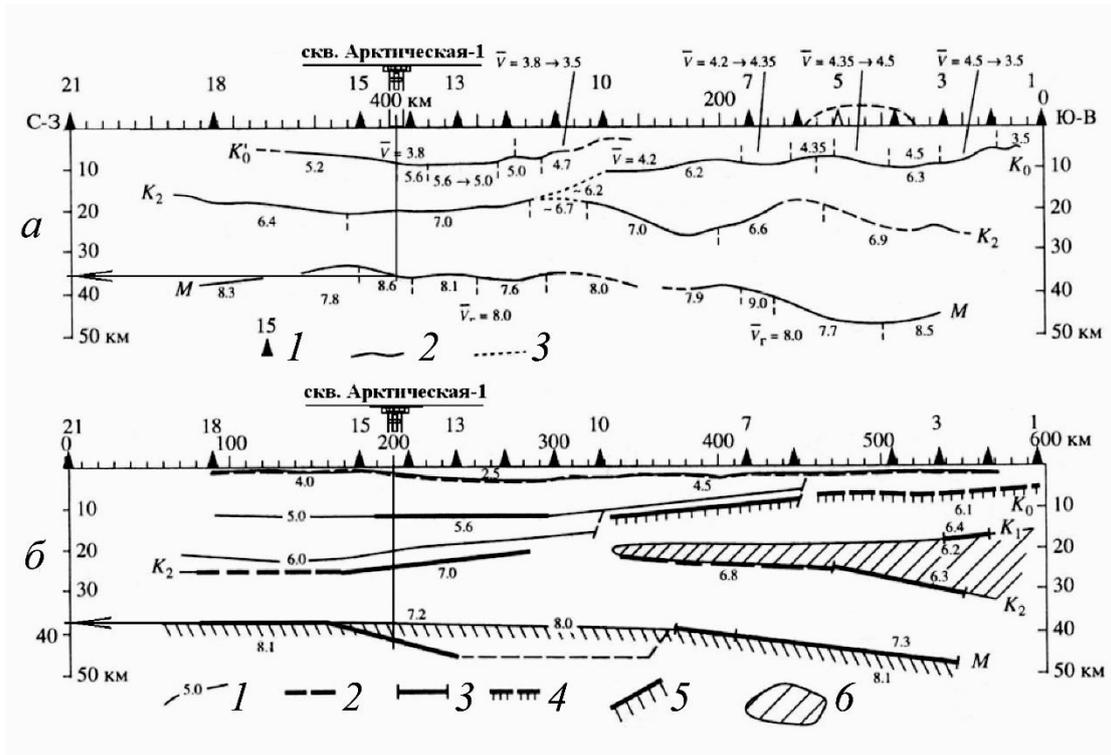


Рис. 4. Сейсмические разрезы земной коры из [7] по профилю ГСЗ-82 с нанесением скв. Арктическая-1: *а* — вариант Ю. В. Тулиной: 1 — донные станции, 2 — преломляющие границы, 3 — участки интерполяции; *б* — вариант авторов статьи [7]: 1 — изолинии скорости (км/с), 2–5 — разные сейсмические границы, в том числе 5 — Мохо, 6 — слой с пониженной скоростью. Стрелка — нормаль к продолжению скв. Арктическая-1 на левую шкалу, показывает расхождение глубины залегания границы Мохо (≈ 2 км) в вариантах *а* и *б*

Fig. 4. Seismic sections of the earth's crust from [7] along the DGS-82 profile with the application of the well Arctic-1: *a* — the version of Yu. V. Tulina: 1 — bottom stations, 2 — refractor boundaries, 3 — interpolation sections; *б* — the version of the authors of the article [7]: 1 — speed isolines (km/s), 2–5 — different seismic boundaries, including 5 — Moho, 6 — layer with reduced speed. The arrow is normal to the continuation of the well Arctic-1 on the left scale, shows the divergence of the depth of the Moho boundary (≈ 2 km) in variants *a* and *б*

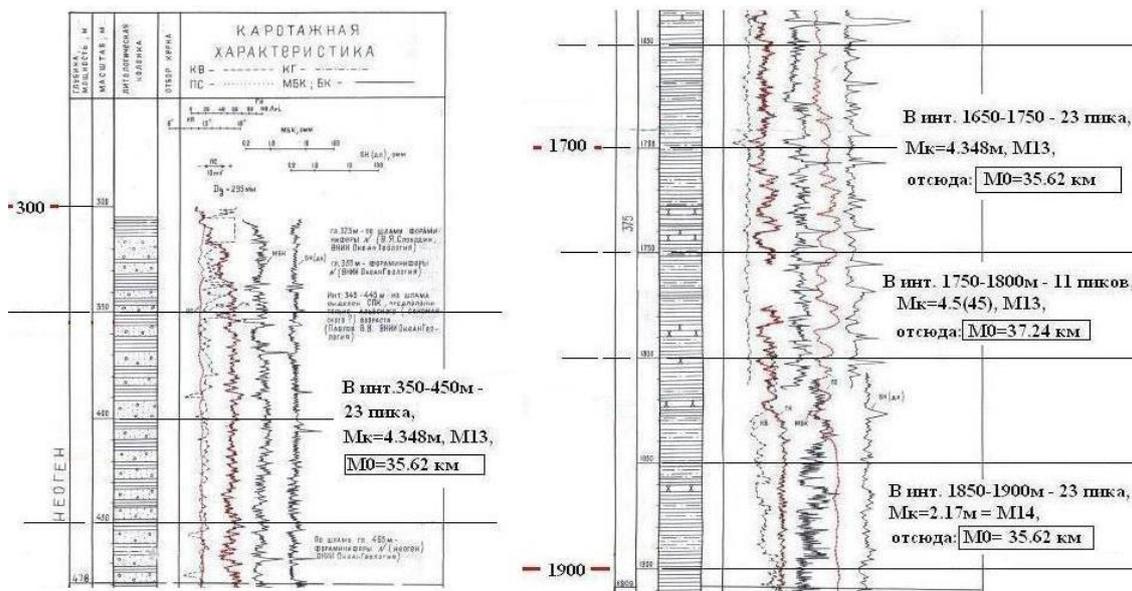


Рис. 5. Результаты ГИС по скважине Арктическая-1 с измерением длины M_k и вычислением глубины залегания границы Мохо (для каждого интервала). Среднее арифметическое $M_0 \approx 36,022$ км (табл. 3)

Fig. 5. GIS results for the well Arctic-1 with the measurement of the M_k length and calculation of the depth of the Moho boundary (for each interval). The arithmetic average of M_0 is about 36,022 km (table 3)

По итогам модельных вычислений (табл. 3) поверхность Мохо, подстилающая земную кору Южно-Баренцевской впадины, имеет волнообразный характер с вариациями амплитуд (глубин) 34–38 км. Вывод не противоречит сейсмологическим данным по профилям AP-1 и AP-2 [3].

Таблица 3
Table 3

Результаты анализа каротажных данных
Results of log analysis

Название скважины Well name	Изученные интервалы, м Intervals studied, m	Число вывалов на интервал The number of rock break-outs on the interval	Интервальная длина M_k , м Interval length M_k , m	Мощность земной коры, км Earth's crust thickness, km	Средняя арифметическая мощность земной коры, км Average arithmetic power of the Earth's crust, km
Арктическая-1 Arkticheskaya-1	350–450	23	4,35	35,62	36,02
	1650–1750	23	4,35	35,62	
	1750–1800	22	2,27	37,24	
	1850–1900	23	2,17	35,62	
Крестовая-1 Krestovaya-1	2000–2500	58	8,62	35,31	35,31
Лудловская-2 Ludlovskaya-2	300–450	18	8,33	34,13	34,87
	2500–2700	23	8,70	35,62	
Мурманская-24 Murmanskaya-24	1200–1300	23	4,35	35,62	35,62
	1600–1700	23	4,35	35,62	
Приразломная-1 (в Печорском море) Prirazlomnaya-1 (Pechora Sea)	2200–2400	24	8,33	34,12	34,12
	2600–2800	24	8,33	34,12	
Северо-Кильдинская-80 Severo-Kil'dinskaya-80	1500–1700	24	8,33	34,12	34,12
Северо-Мурманская-1 Severo-Murmanskaya-1	900–1000	23	4,35	35,62	37,96
	1000–1100	22	4,54	37,24	
	1200–1300	40	2,50	41,00	
	1300–1400	42	2,38	39,00	
	1400–1500	42	2,38	39,00	
	1500–1600	44	2,27	37,27	
	1600–1700	44	2,27	37,27	
1700–1800	44	2,27	37,27		
Штокмановская-1 Shtokmanovskaya-1	600–700	21	4,76	39,01	35,82
	800–900	22	4,54	37,24	
	1000–1100	21	4,76	39,01	
	1100–1200	26	3,85	31,51	
	1200–1300	25	4,00	32,77	
	1400–1500	23	4,35	35,62	
	1700–1800	23	4,35	35,62	

Предложенный способ вычисления мощности земной коры в устьях скважин по длине конечной моды M_k , определенной по каротажным кривым, дает вполне достоверные результаты и, при необходимости, может применяться на практике, то есть модельные средние значения мощности земной коры можно использовать для построения моделей тектонического расслоения как вполне реальные.

По мере проведения эксперимента возникла проблема, связанная с вариациями длин конечных мод (M_k) из различных глубинных интервалов в пределах одной скважины. По-видимому, эти вариации связаны с отклонением скважин от вертикали во время их проходки, что случается довольно часто. Отклонение от вертикали «удлиняет» измеряемую моду: вместо $|M_k|$ получаем $|M_k''| > |M_k|$. Если в скважине велась инклинометрия, проблему можно легко решать «геометрически»: $|M_k| = |M_k''| \cdot \cos \alpha$ (где α — угол отклонения скважины от вертикали), но статистически более простым представляется выбрать минимальное значение M_k из результатов измерений в нескольких разноглубинных интервалах.

Кроме того, подобные вариации в составе «проблемных» интервалов могут быть как-то связаны с физическими свойствами (жесткость, пластичность, упругость) пород. Не исключено, что эту проблему можно будет решить путем введения «поправок» на петрофизические особенности осадочных разностей, которые обнаружатся в результате проведения серии петрофизических исследований с экспериментами на керновом материале из морских скважин (или его «сухопутных» аналогах) в будущем.

Заключение

Проверка механизма тектонического расслоения земной коры как колебательной системы, проведенная на материалах ГИС из 8 скважин, пройденных в породах осадочного чехла на шельфе Южно-Баренцевской впадины, закончилась вполне успешно. Полученные результаты подтверждают универсальность предложенного механизма и открывают новые возможности для построения базовых моделей тектонического расслоения внешней оболочки Земли по результатам каротажных исследований как в континентальных, так и в морских скважинах.

Благодарности

За помощь при выполнении этой работы автор сердечно признателен к. г.-м. н. А. А. Сусловой (кафедра горючих полезных ископаемых, Геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова В. В., Рахимов И. Р. Применение генетического алгоритма для поиска похожих участков на каротажных кривых // Рос. геофиз. журн. 2006. № 43–44. С. 124–128.
2. Результаты сейсмических исследований по опорным профилям АР-1 и АР-2 в Баренцевом и Карском морях / М. Л. Верба [и др.] // Разведка и охрана недр. 2001. № 10. С. 3–7.
3. Ильченко В. Л. Физическое моделирование напряжённого состояния и деформаций в нагружаемой твердой среде, находящейся под воздействием ультразвуковых стоячих волн // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: тр. всерос. совещ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 49–53.
4. Ильченко В. Л. Космические факторы (влияние Луны и Солнца) в геодинамике и возможность их применения в нефтегазовой отрасли (для некоторых видов прогноза) // Новые идеи в геологии нефти и газа-2015: сб. тр. (материалы междунар. науч.-практич. конф.) / отв. ред. А. В. Ступакова. Электрон. дан. М.: Изд-во МГУ, 2015. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 33–36.
5. Ильченко В. Л. Квантование лунной гравитации (энергии приливной волны) в земной оболочке и «квантовая» основа силы упругости // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 1 (9). С. 34–42.
6. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований. М.: Технонефтегаз, 1998. 260 с.
7. Морозова Е. А., Павленкова Н. И., Хербст Р. Сейсмическая модель земной коры юго-восточной части Баренцева моря и проблемы неоднозначности ее построения // Физика Земли. 1995. № 2. С. 73–83.
8. Пономарев Л. И. Под знаком кванта. 2-е изд., исп. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 368 с.
9. Сакулина Т. С., Рослов Ю. В., Иванова Н. М. Глубинные сейсмические исследования в Баренцевом и Карском морях // Физика Земли. 2003. № 6. С. 5–20.
10. Сальников А. С. Сейсмогеологическое строение земной коры платформенных и складчатых областей Сибири по данным региональных сейсмических исследований преломлёнными волнами: автореф. дис. ... д. г.-м. н. Новосибирск, 2008. 32 с.
11. Сверхглубокие скважины России и сопредельных регионов. СПб., 1995. 247 с.
12. Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2006. 736 с.
13. Строение литосферы российской части Баренц-региона / ред. Н. В. Шаров [и др.]. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 318 с.
14. Ступак В. М. Сейсмические изображения глубинного строения Земли. СПб.: Печатный элемент, 2017. 304 с.

Сведения об авторе

Ильченко Вадим Леонидович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: vadim@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Vadim L. Il'chenko — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: vadim@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Ильченко, В. Л. Тектоностратиграфическое моделирование земной коры по данным геофизического исследования скважин на шельфе Баренцева моря / *В. Л. Ильченко* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 2 (10). — С. 53–62.

Reference

Il'chenko Vadim L. Tectonic and Stratigraphic Modeling of the Earth Crust by Geophysical Exploration Data from Boreholes on the Barents Sea Shelf. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 2 (10), pp. 53–62 (In Russ.).