14. Столбов Н.М., Устинов Н.М., Голубкова Е.Ю. Какого возраста отложения складчатого фундамента архипелага Земля Франца-Иосифа? // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб, ВНИИОкеангеология, 2006. Вып. 6. С. 145-148.

15. Шипилькевич Ю.В., Кораго Е.А., Устинов Н.В. Мезозойские трапповые интрузии на Восточно-Баренцевском шельфе и их место в истории геологического развития региона // 25 лет на Арктическом шельфе России. СПб., ВНИИОкеангеология, 1999, с. 50-56.

16. Evdokimov, A.N. & Stolbov, N.M. Basic Rocks of Franz Josef Land: Chemical Character and Tectonic Setting // Proceedings of the Fourth International Conference on Arctic Margins – ICAM IV, Dartmouth, Nova Scotia, Canada, September 30-October 3, 2003. Edited by: Scott, R.A., Thurston, D.K. OCS Study, MMS 2006-003. Anchorage Alaska, 2006. P. 233-236.

17. Hofmann, A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature, 1997. V. 385. P. 219-229.

О СВЯЗИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ С ВЕЩЕСТВЕННЫМ СОСТАВОМ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ ЗЕМНОЙ КОРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Суворов В.Д., Мельник Е.А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, SuvorovVD@ipgg.nsc.ru

Профильные наблюдения ГСЗ обеспечивают получение достаточно надежных данных о двумерном распределении скорости продольных и поперечных волн в земной коре. На это указывают результаты прямого численного моделирования кинематики и динамики волнового поля, показывающее удовлетворительное соответствие наблюдаемых и расчетных характеристик опорных волн. Комплекс сейсмических и гравитационных наблюдений дает возможность построения обоснованных двумерных сейсмоплотностных моделей коры.

По совокупности таких данных можно сделать следующий шаг по изучению состава и состояния вещества на глубине. Он заключается в использовании параметра петрофизической (химической [1-3]) неоднородности, рассматривавшегося ранее для глубоких оболочек Земли

$$\eta = dK/dp - (1/g) d\Phi/dz, \quad (1)$$

где K – модуль сжатия, $p = \rho g z$ – литостатическое давление, g – ускорение силы тяжести, $\Phi = K/\rho = Vp^2 - (4/3)Vs^2$, ρ – плотность, z – глубина, Vp, Vs – скорости продольных и поперечных волн. Теоретически величина η равна единице для однородных областей и отличается от нее при отклонениях от неоднородности и при фазовых переходах. Как видно, этот параметр связан с изменениями модуля сжатия и плотности с давлением и соответственно с глубиной. В свою очередь эти величины связаны с вариациями скорости продольных и поперечных волн.

По данным о распределении скорости продольных, поперечных волн и плотности определено изменение η в земной коре сейсмоактивной Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и стабильной части Сибирской платформы – Якутской кимберлитовой провинции (ЯКП) [4-6]. В Байкальской рифтовой зоне величина η уменьшается в верхней части коры от 40-50 до 1-3 на глубине 10-20 км и стабилизируется на этом уровне в нижней коре. Коэффициент Пуассона при этом возрастает от 0.22 до 0.28 [6] (рис. 1). В ЯКП показатель η и коэффициент Пуассона в земной коре практически не изменяются и равны 2-3 и 0.25 соответственно. Существенно, что область стабилизации петрофизической неоднородности соответствует в БРЗ сейсмоактивному слою, характеризующемуся наибольшей частотой землетрясений.

Сопоставление этих данных с аналогичными определениями показателя η и коэффициента Пуассона по измерениям на образцах различных типов горных пород под всесторонним сжатием [7] и по теоретическому моделированию сухих магматических пород [8] показывает, что такие изменения не могут быть обусловлены вещественным составом. Предполагается его связь с состоянием вещества, которое может находить отражение в реологических характеристиках коры. С этой целью рассматриваются результаты численного двумерно-го моделирования напряженно-деформированного состояния предварительно недеформированной, но напряженной под действием силы тяжести литосферы в упруго-хрупкопластическом приближении [9]. Использованы согласованные сейсмические и плотностные разрезы литосферы до глубины 80 км по профилям ГСЗ вкрест Байкальской рифтовой зоны (п. Усть-Уда – п. Оймур – п. Хилок) [11] и вдоль ее северо-восточного фланга (п. Усть-Кут – г. Нижнеангарск – п. Чара) [4, 5]. Источником гравитационной неустойчивости является область аномальной мантии с пониженной скоростью продольных волн и плотностью и глубокая (до 10-12 км) впадина Байкальского рифта, заполненная осадочными породами с пониженными упругими модулями и плотностью.

На профиле вкрест Байкальского рифта показано, что только при значительном понижении в нижней коре (по сравнению с верхней) коэффициента внутреннего трения (в 10-50 раз) и сдвиговой прочности (в 2-3 раза) удается получить деформации соответствующие наблюдаемым приповерхностным геологическим и

структурно-тектоническим особенностям кайнозойского возраста (сводовое поднятие дневной поверхности, разломы, ограничивающие Байкальский рифт, горные хребты и ограничивающие их прогибы) и астеносферной линзе с пониженной плотностью [11]. Наиболее контрастными являются аномалии по горизонтальной компоненте напряжений достигающие 0.15 ГПа при интенсивности деформаций до10-15% (в том числе и вдоль Мохо), локализующиеся в зонах наибольших изменений плотности (рис. 3).



Рис. 1. Зависимости коэффициента Пуассона (А) и показателя петрофизической неоднородности (Б) от скорости продольных волн в земной коре и верхах мантии БРЗ и ЯКП [7]



Рис. 2. Модельные изменения коэффициента внутреннего трения в зависимости от скорости продольных волн в литосфере Байкальской рифтовой зоны [10]

МАТЕРИАЛЫ ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ



Рис. 3. Интенсивность деформации (в %) в литосфере Байкальской рифтовой зоны по профилю вкрест оз. Байкал [10]. Обозначены приповерхностные геологические структуры

На северо-восточном фланге рифтовой зоны при тех же реологических параметрах ситуация существенно иная. Максимальная деформация наблюдается лишь в нижней части земной коры в области наибольшего изменения мощности аномального слоя верхней мантии. В верхнюю кору узкая зона повышенной деформации протягивается под углом около 40° в область сочленения Северо-Муйского хребта и Муйской впадины. Других зон локализации деформаций в верхней коре не наблюдается. Можно предполагать, что мощность слоя аномальной мантии в 20 км при малой глубине фундамента в суходольных рифтовых впадинах оказывается недостаточной (или нужно допустить другую реологию в коре), чтобы обеспечить формирование зон повышенной деформации, соответствующих приповерхностным рифтовым структурам.

Как видно, между изменениями показателя петрофизической неоднородности η и коэффициентом внутреннего трения в земной коре существует тесная корреляция (рис. 1, 2). При этом область стабилизации η соответствует положению сейсмоактивного слоя в земной коре БРЗ. В свою очередь изменения η не зависят от вещественного состава пород и, следовательно, могут быть обусловлены состоянием вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bullen, K.E., An Earth model based on a compressibility-pressure hypothesis, Mon. Not. R. Astr. Soc., Geophys. Supple., 6, 50 (1950).

 Магницкий В.А. О физическом состоянии вещества в глубоких областях земного шара. М.: Изд. АН СССР, Тр. Геоф. Ин-та, 1955, № 26 (153). С. 61-85.

3. Буллен К.Е. Введение в теоретическую сейсмологию. Мир, М.:, 1966. 460 с.

4. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р и S-волнах. Отв. ред. Н.Н. Пузырев. ВО Наука, Новосибирск, 1993, 199 с.

5. Мишенькина З.Р., Мишенькин Б.П. Изучение зоны перехода от земной коры к мантии на северо-востоке Байкальской рифтовой зоны по данным рефрагированных и отраженных волн // Физика Земли, 2004, №5, с. 47-57.

6. Суворов В.Д., Мельник Е.А., Манаков А.В. Глубинное строение Далдыно-Алакитского кимберлитового района по данным ГСЗ и гравитационного моделирования (Западная Якутия) // Физика Земли, 2005, № 5, с. 35-47.

7. Суворов В.Д., Мельник Е.А. О петрофизической неоднородности земной коры и верхов мантии в двух районах Сибири по сейсмогравитационным данным и измерениям на образцах горных пород // Физическая мезомеханика, 2008, т. 11, Nº 1, c. 101-108.

8. Sobolev S.V., Babeyko A. Yu. Modeling of mineralogical composition, density and elastic wave velocities in anhydrous magmatic rocks // Surveys in Geophysics, 1994, 15: p. 515-544.

9. Стефанов Ю.П. Некоторые особенности численного моделирования поведения упруго-хрупкопластичных материалов // Физическая мезомеханика, 2005, № 3.С. 129-142.

10. Гольдин С.В., Суворов В.Д., Макаров П.В., Стефанов Ю.П. Структура и напряженно-деформированное состояние литосферы Байкальской рифтовой зоны в модели гравитационной неустойчивости // Геология и геофизика, т. 47, № 10, 2006. c. 1094-1105.

11. Сонг Юнгшен, Крылов С.В., Яанг Баоджин и др. Глубинное сейсмическое зондирование литосферы на международном трансекте Байкал-Северный Китай // Геология и геофизика, 1996, т.37, № 2, с. 1-15.