

ГРАВИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМОФОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Впервые такая модель была предложена при изучении литосферы комплексом геолого-геофизических методов вдоль V геотраверса (г. Фокшаны (Румыния) – г. Джанкой (Украина)), результаты опубликованы в многочисленных публикациях (Литосфера..., 1989; 1994). В пределах профиля изучалась сейсмофокальная область Вранча, расположенная в зоне сочленения Трансильванской впадины, Восточных Карпат и Предкарпатского прогиба, где фиксируется изменение мощности земной коры от 30 до 55 км, а землетрясения регистрируются в пределах земной коры и литосферы до глубин 170 км (Рис. 1).

При расчете гравитационных аномалий от известных границ земной коры и их сопоставления с наблюдаемым гравитационным полем, была определена для этой области отрицательная остаточная аномалия – $80-10^{-5} \text{ м/с}^2$ (Шляховский и др., 1988). Объяснить ее происхождение с помощью известных плотностных границ литосферы не представляется возможным, так как это требует изменение глубин залегания, к примеру, границы Мохоровичича до десятка километров, что исключено, так как граница уверенно выделена по данным ГСЗ и сейсмологии. Существует ряд гипотез и моделей строения этой области (остаток океанической плиты в пределах астеносферного слоя и т.п.), но ни один гравитационный эффект от этих моделей не может вызвать требуемый эффект.

Была выдвинута гипотеза об изменении плотности (ρ) с глубиной в пределах выделяемых здесь зон разломов Γ' (граница Карпат и Трансильванской впадины) и Γ'' (область Вранча) (Тимошенко и др., 1984). Для ее подтверждения был создан специальный алгоритм, реализованный с помощью системы аналитических вычислений (Булах, Тимошенко, 1982; Булах и др., 1987), который позволяет подобрать под исходную гравитационную аномалию гравитационный эффект от непрерывного изменения плотности с глубиной (аппроксимированного полиномом произвольной степени) в пределах замкнутого объема. Анализ данных и расчеты позволили определить геометрические размеры разломов Γ' и Γ'' (ширина первого – 45 км, второго – 25, глубина, соответственно, 150 и 180 км). Необходимый гравитационный эффект был получен при аппроксимации изменения плотности с глубиной полиномом 1 и 2 порядка (Рис. 1). Для выбора закона изменения ρ с глубиной привлечены также данные других геофизических методов.

Вычисленные скорости в гипоцентрах землетрясений области Вранча и скорости, определенные на румынских сейсмологических станциях, показывают, что их изменение с глубиной имеет нелинейный характер (Тимошенко и др., 1984; Oncescu, 1982). Такой же закон изменения выбран и для плотности в пределах разлома Γ'' . С глубиной в пределах разлома Γ'' хорошо коррелируются зоны: пониженных (60 – 120 км) и повышенных (130 – 180 км) значений скоростей и плотностей (Рис. 1). Следует отметить, что к зоне пониженных значений примыкает с востока область волновода. Глубокофокусные землетрясения отмечаются в пределах области повышенных значений, такое же соответ-

ствие наблюдается для землетрясений и области повышенных значений плотности в пределах разломов земной коры.

При исследовании теплового потока были выявлено резкое повышение температур в зоне Γ' (Соллогуб и др., 1982). В работе (Demetrescu, 1982) приведены данные о существовании астеносферы в этой области до глубины 70 – 80 км. Сопоставляя эти данные с результатами расчета гравитационных эффектов (обширная зона; при линейном законе изменения ρ с глубиной – дефицит плотности увеличивается с глубиной), можно предположить, что в действительности разлом Γ' – это ослабленная зона в верхней мантии, вдоль которой происходит прогрев литосферы за счет астеносферного вещества. Для этой зоны выбран линейный закон, учитывая и тот факт, что при квадратичном законе должны проявляться землетрясения в пределах области повышенных значений плотности, что не наблюдается.

Таким образом, было определено, что в зоне сочленения Трансильванской впадины, Карпат и области Вранча существует зона глубинных разломов Γ' и Γ'' , которые являются границей между двумя литосферными блоками различной мощности. На западе находится прогретый блок за счет присутствия астеносферы на глубине до 70 км, восточнее – холодный блок, где кровля астеносферы расположена на глубинах около 200 км. При этом образуется пара разломов, один из которых служит «подводящим» каналом для астеносферного вещества (Γ'), а второй образован вследствие процессов, вызванных резкой разницей глубины залегания астеносферного слоя (Γ''). Было предположено (Тимошенко и др., 1984), что изменения физических свойств в этом разломе связаны с процессом «зонной плавки» (Виноградов, Ярошевский, 1965).

Известно, что существуют области глубокофокусных землетрясений, отмечаемые при сочленении континентальной и океанической коры в пределах островных дуг и океанских желобов. Для составления глубинной плотностной модели воспользуемся опубликованными данными по геотраверсу Северо-Китайская равнина – Филиппинское море – Марианский желоб (Родников и др., 1991).

Рассчитаем гравитационные эффекты от поверхности Мохоровичича вдоль всего геотраверса и от фундамента, зафиксированного в пределах континентальной литосферы. Вычтем их суммарный эффект из наблюдаемого поля и рассмотрим ту часть геотраверса, которая расположена в области океанической литосферы. Геофизические данные указывают, что в пределах Марианского трога отмечается подъем астеносферы до глубины 12 – 15 км, который сопровождается сложно построенной зоной глубокофокусных землетрясений, отмеченных до глубины 700 км.

Первый источник в этой части геотраверса определен в районе хребта Кюсю-Палау. Его глубина до 200 км с почти постоянным дефицитом ρ (около 0.025 г/см^3) по всей глубине. Можно предположить, что источник связан с астеносферой, тем более, если учесть, что его верхняя кромка совпадает с понижением скорости на границе Мохо с 8.2 до 8.0 км/с.

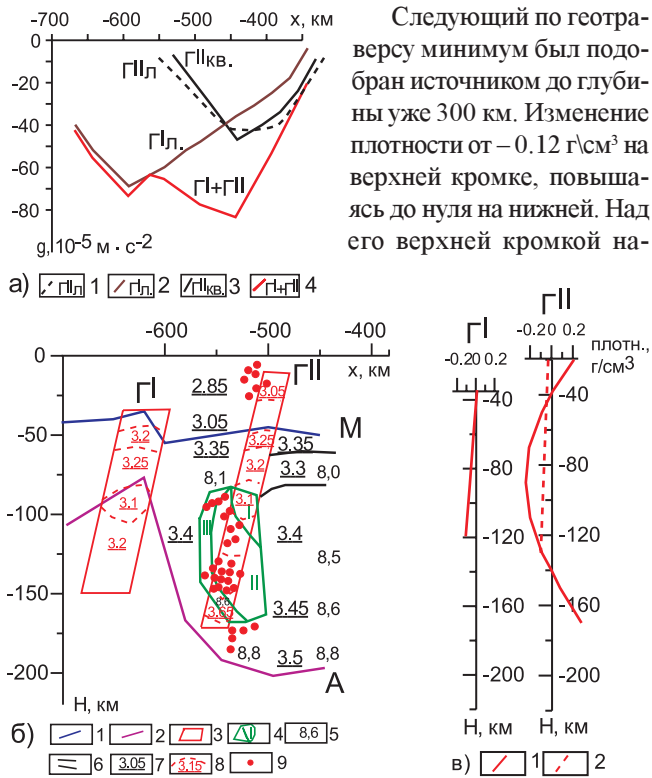


Рис. 1. Гравитационная модель сейсмофокальной области Вранча. а) Гравитационные эффекты: 1 – рассчитанный от линейного распределения плотности в разломе Г''; 2 – в разломе Г'; 3 – рассчитанный от квадратичного распределения плотности в разломе Г''; 4 – суммарный от выбранных распределений плотности в разломах Г' и Г''. б) Сейсмоплотностная модель, границы: 1 – Мохоровичича; 2 – астеносферы; 3 – разломов; 4 – областей с разными скоростями по данным определения скоростей в гипоцентрах землетрясений; 5 – значения скоростей по данным (Опсесси, 1982); 6 – граница “волновода”; 7 – значения плотности в слоях литосферы Г' (Булах, Тимошенко, 1982). в) Рассчитанные изменения плотности с глубиной в разломах: 1 – выбранный; 2 – исключенный.

блюдается провал по поверхности Мохоровичича и подъем по рельефу дна океана (143°).

Далее расположен обширный (145°–147°) минимум. Глубина его источника (VI) подобрана до 870 км. Его верхняя кромка расширена и простирается до 147,5° (Рис. 2).

Изменение плотности подобрано по закону второго или третьего порядка, но поведение кривой близко к параболической в любом варианте. Разуплотнения источника наблюдаются на его верхней и нижней кромках. Центральная часть (100–600 км) – уплотнена. В этой области, в основном, сосредоточены все очаги землетрясений. Частично, юго-восточнее, на границах верхней и нижней кромки источника также наблюдается ряд очагов. Этот источник по изменению плотности и соответствующей связи с очагами землетрясений идентичен разлому Г'' области Вранча.

Следующий минимум соответствует уже области Тихого океана. Этот источник (VII) также достигает глубины 870 км. Закон изменения плотности такой же, но область «повышенных» значений плотности не достигает положительных величин (Рис. 2). Характерно, что в районе его верхней кромки наблюдается понижение скорости на границе М до 7.9 км/с. Последние три источника не позволили полностью подобрать полученную остаточную кривую, в районе Марианского трога обозначился еще один минимум, который был подобран источником, сопряженным с ис-

точником VI. В пределах его нижней части, при сочленении с источником VI, появляется небольшое уплотнение.

На рисунке 2 показано изменение плотности в пределах мантии, исходя из предложенного нами ранее (Шляховский и др., 1988) в пределах литосферы, аналогично продолженного до границы нижней (средней) мантии.

При сравнении источников, создающих гравитационные аномалии вблизи области глубокофокусных землетрясений, в пределах континентальной и океанической литосферы, можно сделать следующие выводы. Если сравнивать область Вранча (Г') и источник VI, то они различаются, прежде всего, размерами. Изменение плотности с глубиной происходит хоть и по одному закону (квадратичному), но для области Вранча зона разуплотнения расположена посередине, вверху и внизу – уплотнения, а для VI – наоборот, посередине – уплотнение. Причем, верхняя часть составляет как бы единую зону разуплотнения с источниками IV, V и VIII. С другой стороны, нетрудно заметить, что источник VI сопряжен с источником VII, имеет одинаковые с ним размеры, схожий закон изменения плотности, падение. Эту пару разломов можно сравнивать с парой Г' и Г'', разница только в том, что их образование и развитие связано уже не с перепадом глубин залегания астеносферы, а с изменением глубины залегания волновода нижней (средней) мантии, наличие которого можно предполагать на глубине 700–900 км. Такой слой был обнаружен, например, по сейсмологическим данным И.Г. Керимовым (Али-Заде, Керимов, 1986).

Определяя положение разломов Г' и Г'', В.Б. Соллогуб (1986) учитывал расположение ряда аномальных геофизических явлений, прежде всего, соединял области землетрясений (Вранча – о. Сицилия), используя направление изосейст. В пределы области расположения разломов Г' и Г'' попал и известный Голованевский гравитационный максимум. Построение его модели (Шляховский, Тимошенко, 1988) показало, что он может быть вызван источниками, по размерам совпадающими с разломами Г' и Г'', но плотность в их пределах

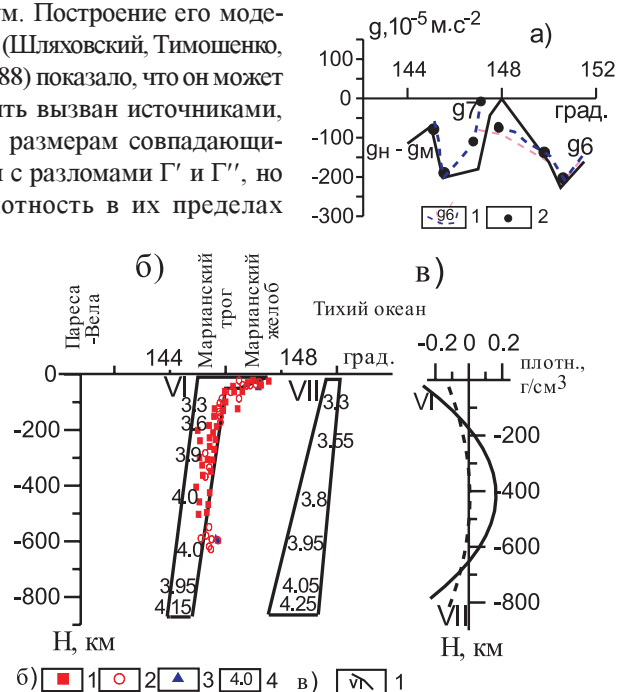


Рис. 2. Плотностная модель геотранверса Северо-Китайское море – Марианский желоб. а – рассчитанные гравитационные эффекты: 1 – от изменения плотности с глубиной в соответствующей зоне; 2 – суммарный эффект; б) плотностная модель: очаги землетрясений с магнитудой mb: 1) 4–5; 2) 5–6; 3) >6; 4) – значение плотности в энергетических зонах. в) 1 – изменение плотности с глубиной в соответствующей зоне.

СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

В настоящее время возможность использования солнечной энергии стоит, главным образом, перед проблемой стоимости и технологии получения энергии в промышленных масштабах. Чтобы обеспечить добычу данного вида энергии, солнечная энергия должна быть поглощена, преобразована и сохранена наиболее дешевым способом. Новые исследования в области нанотехнологий, биотехнологии, материалов могут позволить найти подходы для преобразования солнечной энергии.

Известно, что за 1 час на Землю поступает больше солнечной энергии, чем потребляется человечеством в течение года. Фактически, солнечное излучение как ресурс является приоритетным источником по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии, получаемыми из полезных ископаемых. На фоне все увеличивающегося роста потребления углеводородного сырья солнечное электричество – или фотогальваническая технология – получает все большее распространение. В настоящее время мировой рынок производства электроэнергии, получаемой от излучения Солнца, составляет 10\$ миллиардов в год при росте промышленности более чем на 30 % в год. Однако энергия, получаемая из полезных ископаемых, является серьезным конкурентом по себестоимости более дорогой солнечной энергетике.

Возможно, самый привлекательный метод для дешевого хранения энергии основан на химических связях (химическое топливо), в частности, на процессе фотосинтеза. Однако эффективность поглощения солнечного света в процессе фотосинтеза составляет ~ 0.1 его интенсивности, и, следовательно, ежегодная усредненная эффективность хранения энергии даже в случае быстро растущих растений составляет меньше 0.3 - 0.5 %, по сравнению с более чем 15%-ой эффективностью солнечных батарей, что существенно снижает коммерческий интерес к данному виду биологического топлива. Еще один подход к хранению электрической энергии – через электролиз.

Один из существенных недостатков использования солнечной энергии заключается в том, что излучение от Солнца приходит с «перебоями», определяемыми дневным циклом, т.е., возникает необходимость сохранения поглощенной энергии. Несмотря на то, что использование излучения Солнца в качестве источника энергии имеет огромный потенциал, без дешевых методов хранения и распределения больших объемов энергии данный источник не может занять лидирующее положение на энергетическом рынке.

Материал подготовлен на основе статьи:

Nathan S. Lewis. *Toward Cost-Effective Solar Energy Use. Science, 9 February 2007: Vol. 315. N.5813, pp.798- 801.*

Окончание статьи В.А. Шляховского «Гравитационная...»

выше, причем одинаковая в пределах каждого разлома, в отличие от вмещающих пород. Можно полагать, что область Голованевского максимума является палеообластью глубокофокусных землетрясений, завершившей свое развитие и находящейся сегодня в пределах континента.

К промежуточному тектоническому этапу развития можно отнести области глубокофокусных землетрясений восточной окраины Тихого океана, где горные хребты образовались после и на месте океанических трогов, а внутренние моря представляют на сегодня осадочные бассейны, насыщенные углеводородами.

Таким образом, наличие областей глубокофокусных землетрясений можно представить как развитие парных зон разломов, образованных вследствие резкого изменения глубин залегания волноводов мантии.

Литература

- Али-Заде А., Керимов И.Г. Некоторые новые данные о строении Земли по результатам сейсмологических исследований. *Динамика и эволюция литосферы*. М.: Наука. 1986. 140-145.
- Булах Е.Г., Тимошенко В.И. Прямая задача гравиметрии для тел с переменной плотностью. *Докл. АН УССР*. Сер.Б. № 11. 1982. 3-6.
- Булах Е.Г., Тимошенко В.И., Шляховский В.А. и др. Использо-

вание систем аналитических вычислений для решения задач гравиметрии. *Изучение литосферы геофизическими методами (электромагнитные методы, геотермия...)*. Киев: Наук. думка. 1987. 22-37.

Виноградов А.П., Ярошевский А.А. О физических условиях зонного плавления в оболочках Земли. *Геохимия*. № 7. 1965. 779-790.

Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы I,II,IV. Отв.ред. В.Б. Соллогуб. Киев: Наук. думка. 1989.

Литосфера Центральной и Восточной Европы: Молодые платформы и альпийский складчатый пояс. Киев: Наук. думка. 1994.

Родников А.Г., Иседзак Н. и др. *Геотраверсы Северо-Китайская равнина – Филиппинское море – Марианский желоб*. М.: Наука. 1991.

Соллогуб В.Б. *Литосфера Украины*. Киев: Наук. думка. 1986.

Соллогуб В.Б., Соллогуб Н.В., Кутас Р.И. Неоднородности верхней мантии на западе Украины. *Докл. АН УССР*. Сер. Б. № 2. 1982. 19-22.

Тимошенко В.И., Шляховский В.А., Сагалова Е.А., Соллогуб Н.В. Исследование геофизических полей области Вранча. *Докл. АН УССР*. Сер.Б. №7. 1984. 23-25.

Шляховский В.А., Тимошенко В.И. Гравитационная модель Голованевского максимума. *Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы IV,VI,VIII*. Киев: Наук. думка. 1988.

Шляховский В.А., Тимошенко В.И., Драверт Н.Г., Щербов В.А. О методике составления гравитационных моделей литосферы. *Геологическая интерпретация гравитационных и магнитных аномалий*. Ташкент: Фан. 1988. 138-150.

Demetrescu C. Thermal structure of the crust and upper mantle of Romania. *Tectonophysics*. 90. 1982. 123-135.

Onescu V.C. Velocity structure of the Vrancea region - Romania. *Tectonophysics*. 90. 1982. 117-122.

