

ГЕОДИНАМИКА

УДК 550.831.016+550.347.64 (571.53.53/55+517.4)

ПЛЮМЫ И ГЕОДИНАМИКА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Ю.А. Зорин, Е.Х. Турутанов

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Местоположение мантийных плюмов, выявленное по геофизическим данным, сопоставлено с позднекайнозойской и древней (дорифтовой) геологической структурой, а также с современным глубинным строением литосферы. Выполнены количественные оценки горизонтальных напряжений, возникающих в литосфере за счет вязкого трения при растекании вещества плюмов в астеносфере, а также за счет потенциальной энергии, которой обладает астеносферный выступ под Байкальской рифтовой зоной. Сделан вывод, что именно существование и развитие астеносферного выступа обеспечивает возникновение в литосфере напряжений растяжения, достаточных для развития нормальных сбросов с образованием рифтов. Плюмы поставляют горячее глубинное вещество мантии в этот астеносферный выступ, без чего он был бы обречен на деградацию в связи с остыванием и не смог бы развиваться как гравитационная неустойчивость. Образование Байкальской рифтовой зоны обусловлено как существованием плюмов, так и наличием древних структурных неоднородностей литосферы, которые оказались благоприятно ориентированными по отношению к сжатию литосферы, возникшему в результате Индо-Азиатской коллизии.

Мантийные плюмы, астеносферный выступ, напряжения растяжения, рифты, древние структуры.

PLUMES AND GEODYNAMICS OF THE BAIKAL RIFT ZONE

Yu.A. Zorin and E.Kh. Turutanov

The position of mantle plumes detected from geophysical data has been correlated to Late Cenozoic and prerift geology and to the present-day structure of the lithosphere. Quantitative estimates of horizontal lithospheric stress were obtained for viscous drag produced by plume material spreading over the asthenosphere and for the potential energy stored in the asthenospheric upwarp beneath the Baikal rift. The development of the upwarp is responsible for tensile stress in the lithosphere sufficient to induce normal faulting and rifting. The plumes apparently supply hot mantle material into the upwarp, otherwise it would inevitably degrade by cooling and would be unable to evolve as a gravity instability. The Baikal rift owes its origin to both the activity of plumes and the existence of prerift lithospheric structures, whose orientation relative to far-field forces associated with the India-Eurasia collision did not conflict with rifting-related extension.

Mantle plumes, asthenospheric upwarp, tensile stress, rift, prerift structures

ВВЕДЕНИЕ

По мнению некоторых исследователей [1, 2], геохимические и изотопные особенности позднекайнозойских щелочных базальтов, развитых в Байкальской рифтовой зоне и в сопредельных регионах Восточной Сибири и Центральной Монголии, позволяют связывать эти вулканиты с мантийными плюмами. Вместе с тем другие исследователи сомневаются в плюмовой природе указанных проявлений магматизма [3]. В подобной ситуации существенную помощь в диагностике и локации мантийных плюмов может оказать использование геофизических методов. Авторы настоящей статьи, основываясь на том, что пониженная вязкость астеносферы должна сильно ослаблять влияние отрицательных аномальных масс стволочных частей плюмов на топографию земной поверхности, предложили использовать для диагностики и локации этих глубинных объектов длинноволновые (региональные) изостатические аномалии силы тяжести [4, 5]. Были построены несколько вариантов гравитационных моделей стволочных частей плюмов, которые (модели) хорошо согласуются с сейсмическими данными о распределении длиннопериодных групповых скоростей волн Рэлея и об азимутальной сейсмической анизотропии [4, 5]. Оказалось, что стволочные части плюмов расположены преимущественно под областью утоненной литосферы, т. е. под астеносферным выступом, на существование которого в рассматриваемом регионе указывает анализ геофизических данных, выполненный в ряде предыдущих работ [6—8]. Утонение литосферы над плюмами является довольно типичным явлением [9].

Следует отметить, что о форме поперечного сечения этого астеносферного выступа (и даже о самом его существовании) имелись различные мнения. Авторы настоящей работы со своими коллегами на основании результатов комплексного анализа дисперсионных кривых групповых и фазовых скоростей волн Рэлея и региональных аномалий Буге полагают, что поперечное сечение выступа имеет куполообразную форму и его вершина может достигать раздела Мохо [6—8]. С.В. Крылов и др., используя данные ГСЗ и записи волн землетрясений, пришли к выводу о грибообразной форме верхней части астеносферного диапира под Байкальской рифтовой зоной [10, 11]. М.Н. Бердичевский поддержал этот вывод на основании интерпретации магнитотеллурических зондирований [12]. И.Ю. Кулаков [13], используя так называемую „инверсную“ схему сейсмической томографии, разрешающая способность которой крайне невысока из-за сильного влияния погрешностей в локации гипоцентров местных землетрясений, подтвердил наши данные о существовании области пониженных скоростей под горными сооружениями Центральной Монголии. Вместе с тем он пришел к выводу, что под большей частью Байкальской рифтовой зоны на глубинах 50—200 км (т. е. на глубинах, соответствующих предполагаемому астеносферному выступу) сейсмические скорости повышены, а область пониженных скоростей в мантии смещена под Сибирскую платформу [13]. Однако сверхглубинные сейсмические зондирования с применением ядерных взрывов [14] и детальные томографические исследования по профилю, секущему Южный Байкал [4, 15], подтвердили существование куполообразной области пониженных скоростей в мантии непосредственно под рифтовой зоной. Именно эту область, которой соответствует интенсивная гравитационная аномалия в редукции Буге, мы и интерпретируем как астеносферный выступ [4—8, 15].

Наличие мантийных плюмов с той или иной степенью надежности устанавливается под позднекайнозойскими рифтовыми зонами Восточной Африки, Рио-Гранде и долины р. Рейн [16]. Эти и другие геолого-геофизические данные свидетельствуют о связи континентального рифтинга с активностью мантийных плюмов [17].

В нашем случае как плюмы, так и астеносферный выступ, с которым мы связываем растяжение земной коры [6, 7], оказались расположенными не только под Байкальской рифтовой зоной, где такое растяжение действительно имеет место, но и под горными сооружениями Центральной Монголии, где преобладает сжатие коры с развитием сдвигов. Поэтому для определения роли плюмов в формировании Байкальской рифтовой зоны необходим дополнительный геодинамический анализ имеющихся данных о современной структуре земной коры и мантии с количественными оценками напряжений в литосфере, возникающими при растекании вещества плюмов по астеносфере, а также при развитии астеносферного выступа. Нужно также оценить принципиальную возможность развития астеносферного выступа как гравитационной неустойчивости за время, сопоставимое со временем формирования рифтовой зоны. И, наконец, необходимо уточнить некоторые аспекты давно обсуждаемых вопросов [см. например 3, 7, 8, 13, 17] о взаимодействии местных сил, связанных с активностью мантии, с дальнодействующими силами, возникающими на границах крупных литосферных плит, и о взаимоотношении древних и позднекайнозойских структур земной коры. Попытка такого геодинамического анализа и предпринимается в настоящей работе, которая по сути дела является продолжением статьи [5].

1. ПЛУМЫ И КАЙНОЗОЙСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

На рис. 1 показан один из возможных вариантов трехмерной гравитационной модели стволочных частей плюмов для рассматриваемого региона. Так же как и ранее [4, 5], плюмовые каналы моделировались вертикальными полигональными призмами с верхними границами на глубине 200 км и нижними на глубине 670 км. Однако в отличие от предыдущих моделей [5], в которых для стволочных частей плюмов принимались постоянные значения аномальной плотности (-20 и -30 кг/м³), в последней модели принято, что в нижних частях каналов в интервале глубин 350—670 км их аномальная плотность составляет -30 кг/м³, а в интервале глубин 200—350 км, где плюмы пересекают астеносферу, их аномальная плотность уменьшается до -10 кг/м³. Здесь мы полагаем, что горячее вещество плюмов растекается по астеносфере в горизонтальном направлении и смешивается с ее материалом, что должно приводить к уменьшению аномальной плотности самих плюмовых каналов в пределах астеносферы. Кроме того, при построении последней модели для выделения региональных гравитационных аномалий, по которым выполнялась интерпретация, применено не осреднение поля изостатических аномалий, как в [4, 5], а его фильтрация с использованием двумерного быстрого преобразования Фурье: из поля полностью удалены гармоники с длиной волны менее 650 км и без искажений сохранены гармоники с длиной волны 700 км и более. Указанные параметры фильтрации выбраны на основании спектрального анализа теоретических гравитационных аномалий от стволочных частей плюмов, расположенных в верхней мантии, с использованием предполагаемых [9] геометрических размеров этих каналов. Следует отметить, что при таком подходе к выделению региональных изостатических аномалий силы тяжести их интенсивность и конфигурация практически не изменились. Изменение аномальных плотностей в стволочных частях плюмов

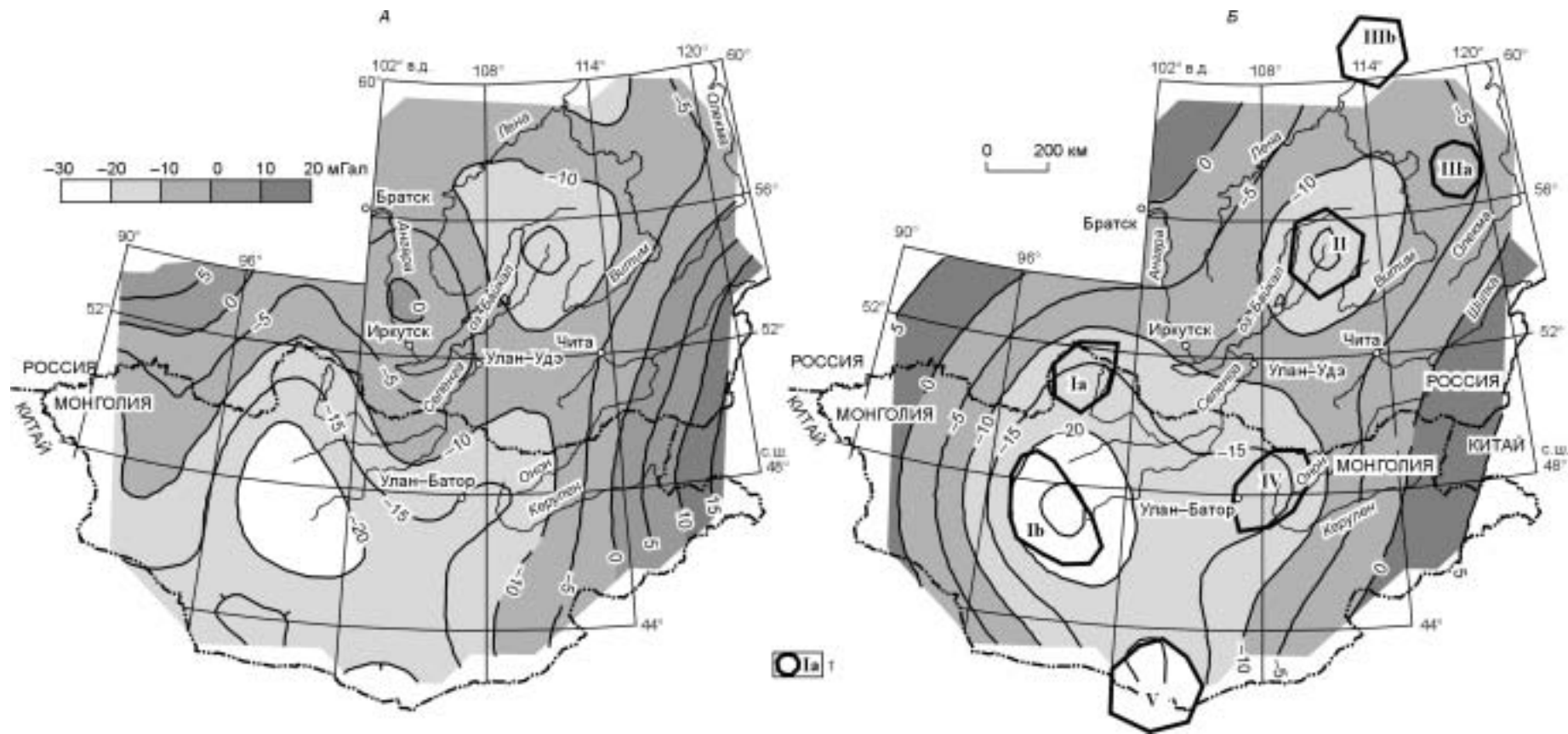


Рис. 1. Региональные изостатические аномалии силы тяжести (А) и теоретическое гравитационное влияние стволых частей плюмов (Б).

I — горизонтальные сечения стволых частей плюмов. К теоретическому гравитационному полю добавлены 12,3 мГал постоянного регионального фона (см. текст).