

УДК 550.831.016+550.347.64(571.53.531.55+517.4

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О МАНТИЙНЫХ ПЛЮМАХ ПОД БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНОЙ И ЕЕ ОКРЕСТНОСТЯМИ

© 2003 г. Ю. А. Зорин, Е. Х. Турутанов, В. М. Кожевников

Представлено академиком В.Н. Страховым 31.05.2003 г.

Поступило 19.06.2003 г.

В Байкальской рифтовой зоне и на сопредельных территориях Восточной Сибири и Центральной Монголии развиты позднекайнозойские щелочные основные вулканиты, общий объем которых сравнительно невелик, но которые обладают геохимическими и изотопными особенностями, позволяющими связывать их с мантийными плюмами [1–3]. Вместе с тем некоторые исследователи полагают, что эти особенности не являются достаточно сильными доказательствами наличия плюмов [4]. Существенную помощь в диагностике и локации мантийных плюмов может оказать использование геофизических методов. В настоящем сообщении приводятся гравиметрические и сейсмические данные, указывающие на существование плюмов в рассматриваемом регионе.

Вещество мантийных плюмов с его повышенной температурой должно обладать пониженной плотностью и сейсмическими скоростями. В решении задачи обнаружения плюмов значительную роль может играть гравиметрия. В литературе о плюмах (см., например, [2, 5]) обычно отмечается, что им наряду с топографическими поднятиями соответствуют положительные аномалии силы тяжести, которые связываются с динамическим влиянием на литосферу восходящих течений вещества в стволовых частях плюмов. При этом имеются в виду аномалии в свободном воздухе, положительный знак которых объясняется преобладающим влиянием топографических масс. К тому же теоретические оценки показывают, что динамическое влияние восходящего течения на литосферу оказывается существенным только для моделей с однородной по вязкости мантией [6]. Модели, в которых учитывается существование астеносферы, вязкость которой на два порядка меньше, чем вязкость мантии под ней, предполагают резкое ослабление динамического влияния восходящего течения на литосферу

[6]. Из-за демпфирующего влияния астеносферы аномальные массы стволовой части плюма практически не участвуют ни в динамическом, ни в статическом равновесии и в силу дефицита плотности должны создавать отрицательную изостатическую аномалию, которая из-за глубокого положения гравитирующего объекта должна быть достаточно широкой (региональной). Примерами таких аномалий могут являться относительный гравитационный минимум над Исландией и абсолютный минимум над Галапагосскими островами [7].

При вычислении изостатических аномалий, которые предусматривается использовать для выделения гравитационного влияния стволовых частей плюмов, необходимо учитывать, что в районах плюмов уравнивается топографических поднятий обеспечивается как утолщением земной коры, обусловленным ее магматическим подслаиванием (underplating), так и утонением литосферы, которое связывается с замещением последней веществом головной части плюма [5].

В настоящей работе мы вычислили изостатические аномалии с учетом того, что только 40% топографических масс компенсируются за счет вариаций глубин Мохо, а остальные 60% компенсируются изменением толщины литосферы. Приведенные соотношения базируются на ранее выполненном сопоставлении топографии и гравитационного поля с сейсмическими данными о строении земной коры и литосферы в Восточной Сибири и Центральной Монголии [8, 9]. Для плоских зон с радиусом 222 км гравитационные эффекты изостатической компенсации определялись как влияния глубинных тонких слоев, в которые конденсировались топографические массы, взятые с обратным знаком. Компенсационные массы, относящиеся к вариациям глубины раздела Мохо, конденсировались в тонкий слой, расположенный на средней глубине этого раздела (45 км), а компенсационные массы, относящиеся к мантии, конденсировались в тонкий слой, расположенный на средней глубине раздела литосфера–астеносфера (120 км). Глубины этих слоев оценены по сейсмическим данным о толщине коры и о толщине литосферы в рассматриваемом

Институт земной коры
Сибирского отделения
Российской Академии наук, Иркутск

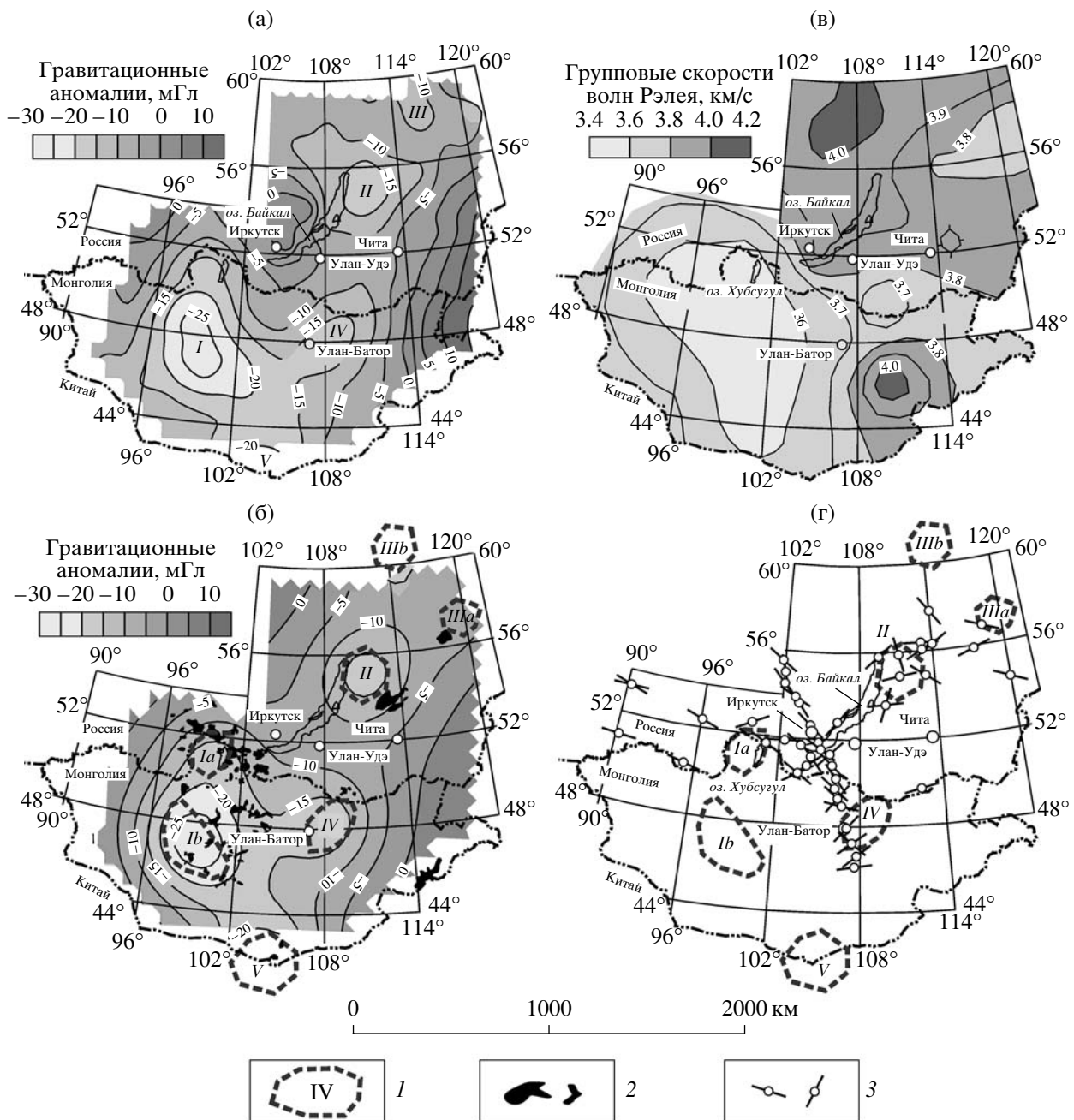


Рис. 1. Геофизические данные о плюмах. а – региональные изостатические аномалии силы тяжести. б – теоретические аномалии от вертикальных полигональных призм, которыми моделируются стволы части плюмов; гравитирующие тела расположены в интервале глубин 200–670 км, их аномальная плотность принята равной -20 кг/м^3 , к значениям теоретических аномалий добавлены 10 мГл постоянного фона. в – групповые скорости волн Рэлея для периода 100 с. г – сейсмическая азимутальная анизотропия в верхних 200 км мантии. Обозначения: 1 – проекции стволых частей плюмов на земную поверхность (рис. 1б и 1г); 2 – поля позднекайнозойских эффузивов (рис. 1б, по [1, 3]), 3 – сейсмические станции и “быстрые” направления анизотропии (рис. 1г, по [13, 14]). Римскими цифрами обозначены гравитационные минимумы (рис. 1а) и соответствующие им плюмы (рис. 1б и 1г).

мом регионе [8, 9]. Гравитационные эффекты компенсации в плоских зонах (в радиусе 222 км) были вычтены из аномалий Буге. Топографо-изостатические поправки для сферических зон (за пределами радиуса 222 км) определены по

карте этих поправок, составленной М.Е. Артемьевым [10].

Вычисленные таким образом изостатические аномалии были осреднены скользящим окном с радиусом 200 км, что позволило практически эли-

минировать гравитационные влияния плотностных неоднородностей верхней части коры и их предполагаемой [9] локальной компенсации. В результате усреднения получены региональные изостатические аномалии силы тяжести. В поле этих аномалий определяющую роль играют минимумы силы тяжести (*I, II, III, IV* и *V* на рис. 1а).

Мы выполнили количественную интерпретацию этих региональных гравитационных минимумов в предположении, что все они соответствуют влиянию стволых частей плюмов, имеющих форму вертикальных цилиндрических тел. Теоретическое влияние таких трехмерных тел рассчитывалось по программе для полигональных призм [11], т.е. горизонтальные сечения вертикальных цилиндров аппроксимировались многоугольниками. Положение вершин многоугольников подбирали методом проб и ошибок.

При количественной интерпретации были приняты следующие ограничения на вертикальные размеры гравитирующих тел: их верхние границы располагались на глубинах 150–200 км, а нижние – на глубине 670 км. Положение верхних границ выбрано на основании оценок толщины литосферы [8, 9] под Сибирской платформой (200 км) и под равнинной частью Восточной Монголии (150 км). Приведенные оценки определяют глубину подножия астеносферного выступа под Байкальской рифтовой зоной и горными сооружениями Центральной Монголии [8]. Этот выступ астеносферы, который, как мы полагаем, заполнен слившимися между собой головными частями нескольких плюмов, обеспечивает значительную часть изостатической компенсации крупных топографических поднятий [9] и не должен отражаться в поле изостатических аномалий. Положение нижних границ тел выбрано как минимально возможное для плюмов, зарождающихся на термальных пограничных слоях [5]. В различных вариантах модели значения аномальной плотности гравитирующих тел принимались равными -20 и -30 кг/м³, что примерно соответствует превышению температуры в плюмах на 200 и на 300°C относительно температуры вмещающей среды [5].

Во всех вариантах интерпретации удалось согласовать наблюдаемое и теоретическое гравитационные поля со среднеквадратическим отклонением не более ± 4.5 мГл при условии добавления к теоретическим аномалиям постоянного фона в 10 мГл. На рис. 1б приведен вариант интерпретации с максимальной площадью горизонтальных сечений тел. Во всех вариантах интерпретации для объяснения каждого из минимумов *I* и *III* потребовалось введение двух гравитирующих тел (*Ia, Ib* и *IIIa, IIIb* соответственно). К большей части выделенных тел тяготеют поля позднекайнозойских вулканитов (рис. 1б).

Результаты интерпретации гравитационных аномалий в принципе не противоречат сейсмическим данным о неоднородностях мантии. Распределение групповых скоростей волн Рэлея для периода 100 с, которое отражает строение мантии до глубины около 250–300 км, в общих чертах сходно с картиной гравитационных аномалий (ср. рис. 1а и 1в). Подобное распределение групповых скоростей в рассматриваемом регионе сохраняется и для периодов 150 и 200 с [12], что соответствует глубинам около 500 км. Гравитирующие тела (за исключением тела *IIIb*) попадают в области относительно пониженных групповых скоростей (рис. 1б и 1в). По-видимому, скоростные аномалии от отдельных глубоко расположенных тел сливаются между собой в связи с невысокой разрешающей способностью метода поверхностных волн.

Соответствие плюмам гравитирующих тел *Ia, II, IIIa* и *IV* подтверждается данными о сейсмической азимутальной анизотропии, выявленной в верхних 200 км мантии на основании анализа волн SKS [13, 14]. “Быстрое” направление (fast direction) анизотропии (ориентировка плоскости поляризации квазипоперечной волны, обладающей повышенной скоростью) соответствует преобладающей ориентировке кристаллографической оси *a* оливина в направлении течения вещества мантии [15]. Оказалось, что в районах перечисленных тел намечается закономерность в ориентировке “быстрых” направлений анизотропии: последние имеют тенденцию располагаться радиально по отношению к этим телам (рис. 1г). Очевидно, вещество, поступающее по стволым частям плюмов, растекается в радиальных направлениях в их головных частях.

Таким образом, геофизические данные указывают на существование мантийных плюмов в рассматриваемом регионе. Гравитирующие тела *Ia, Ib, II, IIIa, IV* и *V* (рис. 1б) соответствуют стволым частям плюмов. С меньшей уверенностью это положение может быть отнесено к телу *IIIb*, расположенному под краевой частью Сибирской платформы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 03–05–64036.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. // Геотектоника. 1995. № 5. С. 41–64.
2. Грачев А.Ф. // Физика Земли. 1998. № 3. С. 3–28.
3. Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С. и др. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). Новосибирск: Наука, 2000. 288 с.
4. Cunningham W.D. // Tectonophysics. 2001. V. 331. P. 389–411.

5. *White R., McKenzie D.* // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. P. 17543–17585.
6. *Richards M.A., Hager B.H.* // J. Geophys. Res. 1984. V. 89. P. 5987–6002.
7. *Kaban M.K., Schwintzer P., Tikhotsky S.A.* // Geophys. J. Intern. 1999. V. 136. P. 519–536.
8. *Зорин Ю.А., Балк Т.В., Новоселова М.Р., Турутанов Е.Х.* // Физика Земли. 1988. № 7. С. 33–42.
9. *Zorin Yu.A., Kozhevnikov V.M., Novoselova M.R., Turutanov E.Kh.* // Tectonophysics. 1989. V. 168. P. 327–337.
10. *Артемьев М.Е.* Изостазия территории СССР. М.: Наука, 1975. 216 с.
11. *Godson R.H.* Cravpoly: A Modification of Three-Dimensional Gravity Modeling Program. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 83–346. Denver: USGS, 1983. 53 p.
12. *Ritzwoller M.H., Levshin A.L.* // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. P. 4839–4878.
13. *Gao S., Davis P.M., Liu H. et al.* // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. P. 22781–22797.
14. *Dricker I.D., Roecker S.W., Vinnik L.P. et al.* // Phys. Earth and Planet. Interiors. 2002. V. 131. P. 205–223.
15. *Ribe N.M.* // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. P. 4213–4223.