

## МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И СТРОЕНИЕ ГОРНОГО АЛТАЯ

**Тимофеев В.Ю.<sup>1</sup>, Тимофеев А.В.<sup>1</sup>, Ардюков Д.Г.<sup>1</sup>, Голдобин Д.Н.<sup>2</sup>,  
Валитов М.Г.<sup>3</sup>, Носов Д.А.<sup>1,4</sup>, Сизиков И.С.<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО Сибирский Государственный Университет Геосистем и Технологий,  
г. Новосибирск*

<sup>3</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

<sup>4</sup>*Институт автоматизации и метрологии СО РАН, г. Новосибирск  
timofeevvy@ipgg.sbras.ru*

Горный Алтай относится к сейсмически активным территориям России. [1, 2]. При исследовании сейсмичности, обычно, анализируют различные факторы, в том числе глубинное строение региона: мощность земной коры и положение границы кора-мантия, т.е. глубину поверхности Мохоровичича (Мохо). Сведения о глубинном строении и положении границы получены методом Глубинного Сейсмического Зондирования (ГСЗ) на равнинных территориях к северу от Горного Алтая. Здесь глубина Мохо составляет 40 км [3, 4]. Задачами нашей работы являлись: анализ спутниковых моделей для территории юга Западной Сибири, определение положения границы Мохо по современным гравиметрическим данным, и анализ связи особенностей строения Горного Алтая с сейсмичностью.

Современные глобальные модели гравитационного поля Земли были получены с учетом данных космических гравиметрических миссий, выполняемых на высотах от 200 км до 500 км. Модели геопотенциала, созданные за последние десятилетия, проанализированы в Сибирском Государственном Университете Геосистем и Технологий (СГУГиТ) [5, 6]. Пятнадцать моделей были проанализированы в СГУГиТе на основе данных наземной съёмки по Новосибирской области по 27 пунктам, которые составляют опорную гравиметрическую сеть II класса. Минимальные отклонения показала модель EIGEN-6C4, а стандартное отклонение, полученное для данной модели, составило 3.4 миллигал (1 мгал =  $1 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>). Модель EIGEN-6C4 в дальнейшем была использована в исследованиях. Проведено сравнение данных наземных определений в Горном

Алтае, выполненных абсолютным гравиметром ГАБЛ и двухчастотными геодезическими приёмниками GPS. Анализ результатов проводился, используя поле силы тяжести в редукции Буге. Сравнение данных наземных измерений с моделью EIGEN-6C4 с моделью рельефа ETOPO1 в среднем дают отклонение -1.1 миллигала, что находится в пределах среднеквадратической ошибки 1.6 миллигала, Известно, что [7], в горах при вычитании составляющей, вызванной притяжением гор, аномалии уменьшаются, а поскольку горы, как правило, компенсированы, то и аномалии Буге там чаще всего будут отрицательными. Для поля аномалий Буге характерны большие, порядка сотен миллигал, положительные значения на океанах и большие, тоже порядка сотен миллигал, отрицательные значения в горах. На платформах и щитах обычно наблюдается спокойное мозаичное поле с небольшими максимумами и минимумами в диапазоне нескольких десятков миллигал. Осреднённая для Земли связь мощности земной коры ( $M_3$ ) и значений аномалий Буге ( $\Delta g_b$ ) записывается в следующем виде:

$$M_3 = M_0 + k \cdot \Delta g_b, \quad (1)$$

где  $M_0$  – толщина земной коры в областях, где  $H = 0$ , для континентальной коры  $M_0$  – меняется от 35.0 км до 41.4 км; коэффициент  $k$  для континентальной коры меняется от 0.033 км/мГал до 0.102 км/мГал [7].

Гравитационному полю в редукции Фая в основном соответствует мозаичное, плавно изменяющееся в пределах  $\pm 50$  мГал поле на океанах с возрастающими положительными аномалиями над островами и островными дугами и отрицательными, порядка 100 мГал, над глубоководными впадинами [7].

Обратимся к результатам, полученным на территории юга Западной Сибири и Горного Алтая. Аномалия силы тяжести в редукции Буге для территории, ограниченной по широте от 55 градуса (на равнине) до 49 градуса (в горах) и по долготе от 83 градуса до 91 градуса, изменяется от 0 до 350 миллигал с северо-запада до юго-востока. Гравиметрическим методом неплохо решается задача определения глубины поверхности раздела для сред с различной плотностью и известной глубиной для эталонного участка. При одной поверхности раздела можно написать приближенное соотношение в виде [7]:

$$\Delta g - \Delta g_0 \approx 2\pi G(\sigma_2 - \sigma_1)(z - z_0), \quad (2)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  - плотности пород выше и ниже раздела соответственно,  $z_0$  и  $z$  – глубины залегания поверхности раздела в начале координат и в

произвольной точке, где ищется глубина,  $\Delta g_0$  и  $\Delta g$  – аномалии над исходной точкой и точкой, лежащей на глубине  $z$ .

Для аномалии Буге в 350 миллигал, при  $z_0 = 40$  км по данным ГСЗ [3, 4], при средней плотности земной коры  $2.3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и плотности верхней мантии  $3.2 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , получаем глубину границы Мохо в высокогорной южной части Горного Алтая 49.8 км – 50.3 км. Мощность земной коры с северо-запада до юго-востока территории меняется от 40 км до 51 км. Используя полученные данные определим коэффициент  $k$  для соотношения (1): 0.036 км/мгал и далее получаем для глубины Мохо:

$$M_3 = 40 + 0.036 \cdot \Delta g_b, \quad (3)$$

где  $\Delta g_b$  аномалия силы тяжести в редукции Буге в мгалах, мощность коры в километрах.

Сейсмичность может быть связана с изостатическим состоянием горного района. Анализируя результаты в редукции Буге и Фая для Горного Алтая отметим, что территория Горного Алтая, в целом, находится в равновесии, т.е. изостатически скомпенсирована. Только в отдельных горных долинах аномалии Фая и Буге – отрицательны. Здесь возможны нарушение равновесия и такие межгорные впадины являются нескомпенсированными. Таким примером в Горном Алтае служат Курайская и Чуйская долины. Здесь отмечается и наиболее глубокое залегание границы Мохо и отмечено сильнейшее для этой территории за несколько столетий Чуйское землетрясение (27.09.2003,  $M = 7.3-7.5$ , координаты  $50^\circ\text{N}$  и  $88^\circ\text{E}$ ).

Из анализа данных, полученных в переходной зоне континент-океан на полигоне ТОИ ДВО РАН «Мыс Шульца» методами абсолютной гравиметрии и космической геодезии на разновысотных пунктах, определены значения гравитационных аномалий в редукции Буге и Фая [8]. Полученные значения силы тяжести в редукции Буге и в редукции Фая составляют +34 мГал. Величина аномалий при пересчете согласно соотношению (3) приводит к слабым, в пределах 1 км, отклонениям от средней мощности земной коры (40 км) на континентах.

Работа выполнена в рамках проекта НИР ИНГГ СО РАН номер FWZZ-2022-0019 и проектов НИР ТОИ ДВО РАН, ИАиЭ СО РАН и СГУ-ГиТ.

### Литература

1. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1976 г. // М.: Наука. 1980. 308 с.

2. Жалковский Н.Д. Закон повторяемости землетрясений и некоторые его следствия // Новосибирск. 1988. 29 с. (Препринт ИГиГ СО АН СССР. № 21).
3. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Жемчугова И.В. Земная кора и верхняя мантия Алтае-Саянского региона по данным площадных сейсмологических систем наблюдений // Вестник НЯЦ РК. Вып. 2. Июнь. 2005. С. 101-108.
4. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Лисейкин А.В., Галева Н.А. Глубинное сейсмическое строение Алтае-Саянской складчатой области // В сборнике: Результаты комплексного изучения сильнейшего Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., его место в ряду важнейших сейсмических событий XXI века на территории России. Материалы XXI Научно-практической Щукинской конференции с международным участием. Под ред. Е. А. Рогожин, Л. И. Надежка. Москва. 2018. С. 363-368.
5. Голдобин Д.Н. Определение геометрической структуры гравитационного поля на территории Западной Сибири по данным современных глобальных моделей геопотенциала // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24. № 2. С. 19–34.
6. Канушин В.Ф., Карпик А.П., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Косарева А.М., Косарев Н.С. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли // Монография. Новосибирск. СГУГиТ. 2015. 270 с.
7. Грушинский Н.П. Основы гравиметрии // М.: Наука. 1983. 352 с.
8. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Валитов М.Г., Сизиков И.С., Носов Д.А., Стусь Ю.Ф. Гравиметрические исследования на научном полигоне «Мыс Шульца» // Вестник СГУГиТ. 2022. № 4. Т. 27. С. 31-44.