

## МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ МИССИЯМ

**Тимофеев В.Ю.<sup>1</sup>, Валитов М.Г.<sup>2</sup>, Ардюков Д.Г.<sup>1</sup>,  
Тимофеев А.В.<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*  
timofeevvy@ipgg.sbras.ru

В центре Азии расположена Алтае-Саянская горная страна, известная своей сейсмичностью [1, 2]. Для анализа природы сейсмичности необходимы данные о строении региона. Информацию о строении литосферы, мощности земной коры и границе Мохоровичича (Мохо) обычно получают по данным профильных работ методами сейсморазведки. На юге Сибири для исследования строения земной коры использовались гравиметрические измерения, которые проводились под руководством Э.Э. Фотиади и В.С. Суркова [3–5]. Появление спутниковых гравиметрических миссий позволяет по-новому рассмотреть вопрос о пространственном положении границы Мохо. При исследовании глубинного строения значения гравитационного поля переводят на нулевую высоту, используя редукции в свободном воздухе и Буге. Большие, до сотен миллигал, отрицательные значения аномалий Буге известны в высокогорных районах, а большие положительные значения в океанах [6, 7]. Для аномалий в свободном воздухе в горах отмечаются резко изменяющиеся положительные аномалии, связанные с рельефом. На плоской территории оба типа аномалий достигают лишь нескольких десятков миллигал, отличаются мозаичным характером и ведут себя примерно одинаково. Решение обратной задачи гравиразведки неоднозначно, поэтому при интерпретации данных используются результаты сейсморазведки в различных модификациях. В настоящее время появилась целая серия новых методов измерений – это спутниковая альтиметрия, системы «спутник – спутник» (SST-метод, проекты CHAMP, GRACE и др.), спутниковая гра-

диентометрия (SGG-метод, проекты «Аристотель», GOCE и др.) [8-10]. Из десятков моделей геопотенциала нами выбрана модель EIGEN-6С4 с моделью топографии ETOPO1. Используются различные виды редукции поля силы тяжести и топографические модели (рис. 1).

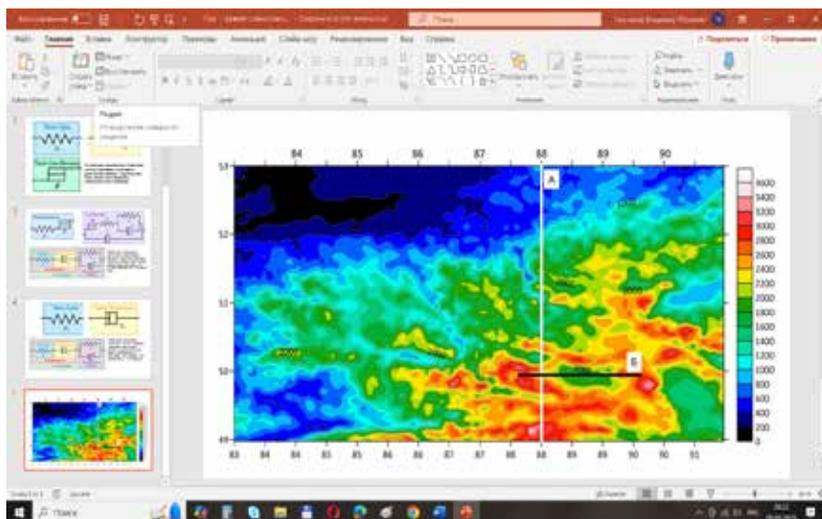


Рис. 1. Рельеф части исследуемой территории (справа – шкала высот в метрах), топографическая модель ETOPO1. Показано положение профилей с севера на юг территории по 88-му градусу долготы (А) и с запада на восток через Чуйскую впадину (Б).

Данные сейсморазведки, полученные на платформенной части исследуемой области [11, 12] и модели однородной коры использованы для оценки мощности земной коры для территории, простирающейся от 56 градуса до 46 градуса северной широты, и от 80 градуса до 100 градуса восточной долготы. В рамках модели и с учётом результатов профильных вибросейсмических измерений, получена карта глубин поверхности Мохо [13]. Глубина границы Мохо увеличивается с северо-запада на юго-восток территории от 40 до 56 км. Для равнинной части на севере глубина поверхности Мохо изменяется, от 40 км до 43 км. На юго-востоке в горных районах мощность достигает 56 км. Локальные особенности нарушения связи высот и аномалий Буге могут быть отражением на-

рушения равновесия отдельных частей региона. Проведём оценку моделей изостазии региона. Обязательным показателем наличия изостатической компенсации является то, что аномалии в свободном воздухе в данной области положительны, а аномалии Буге – отрицательны [6, 7]. Анализируя модельные результаты, следует отметить, что, в целом, территория находится в равновесии, т.е. изостатически скомпенсирована. Отсутствие ярко выраженной аномалии в высотах квазигеоида, построенного по спутниковым данным, подтверждает изостатическое равновесие Горного Алтая [6, 7]. Межгорные котловины Горного Алтая известны своей сейсмичностью, так, например, эпицентр Чуйского землетрясения (27.09.2003; координаты  $50,0^{\circ}\text{N}$ ,  $88,0^{\circ}\text{E}$ ;  $M = 7,3$ ) находился на границах Курайской и Чуйской впадин [14]. В этом году здесь же зарегистрировано землетрясение 15.02.2025,  $M = 6,4$ . Для этих

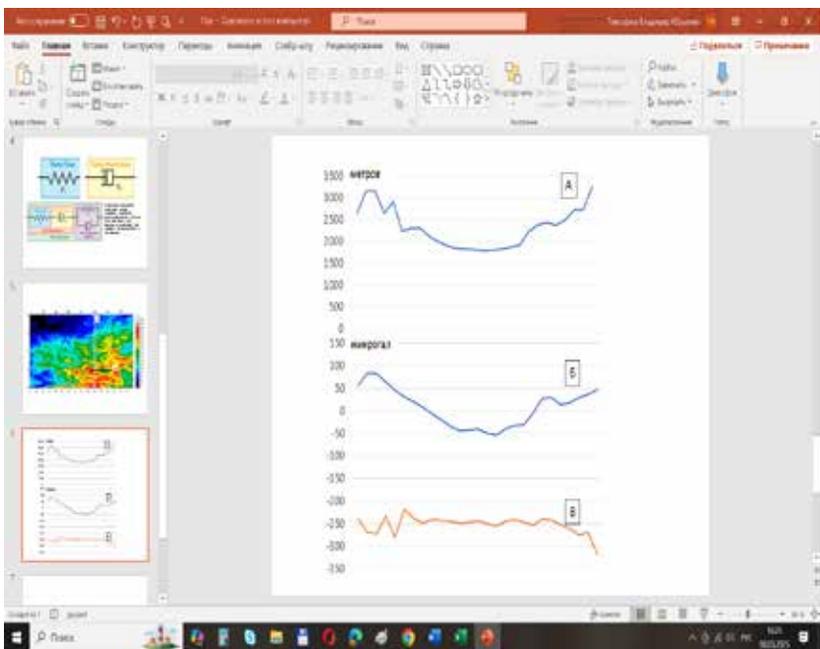


Рис. 2. Профиль через Чуйскую впадину длиной 150 км по  $49,9^{\circ}\text{N}$  широты и от  $87,60^{\circ}$  в.д. до  $89,74^{\circ}$  в.д. (рис. 1, профиль Б). А – изменение высоты в метрах; Б – аномалия в свободном воздухе; В – аномалия Буге в миллигалах. В Чуйской впадине – высота менее 2000 м, нарушение равновесия, выделяются отрицательные аномалии в свободном воздухе и Буге.

котловин аномалии в свободном воздухе и Буге – отрицательны, что свидетельствует о нарушении равновесия (рис. 2).

В работе рассматривается спутниковая модель геопотенциала EIGEN-6C4, построена карта распределения глубин поверхности Мохо в Алтае-Саянском регионе. Мощность земной коры для исследуемой территории увеличивается с севера на юг. Модели изостазии для Чуйской котловины показали нарушение равновесия, возможно, связанное со структурой и последниковыми процессами в Горном Алтае.

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

### Литература

1. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1976 г. // М.: Наука. 1980. 308 с.
2. Филина А.Г. Землетрясения Алтае-Саянского региона // В кн.: Землетрясения в России в 1991 г. - М.: Наука. 1997. - с. 150.
3. Фотиади Э.Э., Региональные геофизические исследования платформенных и складчатых областей России // Ред. Конторович А.Э. - Избранные труды в 2-х т. - Т.1. - ИНГГ СО РАН. - Новосибирск. - Академическое издательство «Гео». - 2007. - 353 с.
4. Зорин Ю.А., Новоселова М.Р., Рогожина В.А. Глубинная структура территории МНР // Новосибирск: Наука. - 1982. – 93 с.
5. Ладынин А.В. Особенности изостазии горных областей юга Сибири и их связь с глубинным строением и новейшей тектоникой // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Новосибирск. - Институт геологии и геофизики АН СССР. - 1970. - 190 с.
6. Грушинский Н.П. Основы гравиметрии. // М.: Наука. - 1983. - 352 с.
7. Миронов В.С. Курс гравиразведки // Ленинград. - Недра. – 1973. - 512 с.
8. 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.
9. Канушин, В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Косарев Н.С., Косарева А.М. К вопросу влияния методов регуляризации на точность современных глобальных моделей геопотенциала // Гироскопия и навигация. 2016. Т. 24. № 2 (93). С. 77-86.
10. Канушин В.Ф., Голдобин Д.Н., Кобелева Н.Н. Исследование точности глобальных моделей геопотенциала EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-1, SGG-UGM-2, XGM2019 на территории Российской Федерации // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28. № 3. С.16-22.
11. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Еманов А.Ф. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики

геосфер // Вибрационные геотехнологии. - Мин-во промышленности, науки и технологий РФ. – Москва. – 2002. – 474 с.

12. Алексеев А.С., Геза Н.И., Глинский Б.М., Еманов А.Ф. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками // Ред. Цибульчик Г.М. Новосибирск. - ИВМиМГ СО РАН. - Фил. «Гео» изд. СОРАН. - 2004. - 387 с.
13. Timofeev V.Yu., Timofeev A.V., Ardyukov D.G., Goldobin D.N., Nosov D.A., and Sizikov I.S. Gravity Field Models and the Deep Structure of the Altai-Sayan Region and Northwestern Mongolia // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2024. Vol. 60. No. 6. P. 1201-1214. © Pleiades Publishing, Ltd., 2024 ISSN 1069-3513.
14. Арефьев С.С., Аптекман Ж.Я., Быкова В.В., Матвеев И.В., Михин А.Г., Молотков С.Г., Плетнев К.Г., Погребченко В.В. Очаг и афтершоки Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 года // *Физика Земли*. 2006. №2. С. 85-96.