

ОПЫТ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ КВАЗИГЕОИДА НА ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Ирина Геннадьевна Ганагина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой космической и физической геодезии, тел. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Юлия Сергеевна Петрова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)361-01-59

Представлены результаты создания модели квазигеоида на территорию Новосибирской области, полученной при использовании палеточного метода и данных современных глобальных спутниковых и ультравысокостепенных моделей геопотенциала.

Ключевые слова: модель квазигеоида, современные глобальные модели геопотенциала, палеточный метод, данные геометрического и спутникового нивелирования.

EXPERIENCE OF THE CREATION MODELS QUASIGEOID IN THE NOVOSIBIRSK REGION

Irina G. Ganagina

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russian Federation, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., PhD, Assoc. Prof., Head of Department of Space and Physical Geodesy, tel. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Yuliya S. Petrova

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russian Federation, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., graduate student of Department of Space and Physical Geodesy, tel. (383)361-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

The results of the creation of a quasi-geoid model for the territory of the Novosibirsk Region obtained using the pallet method and data of modern global satellite and ultra-high-power models of geopotential are presented.

Key words: quasi-geoid model, modern global geopotential models, pallet method, satellite and terrestrial data.

Появление спутниковых методов, позволивших получить глобальные модели геопотенциала Земли с высокой разрешающей способностью, существенно расширило круг задач высокоточного координатно-временного и навигационного обеспечения территорий [1-5].

Объединение данных спутниковой альтиметрии и космических гравиметрических проектов CHAMP, GRACE и GOCE с наземными измерениями позволило создать ультравысокостепенные глобальные модели геопотенциала.

Исследования возможностей современных моделей геопотенциала по определению характеристик гравитационного поля не только глобального, но и

локального и регионального характера с высокой точностью являются актуальными.

В данной работе представлена разработка технологии создания модели аномалий высоты (модели квазигеоида) на территории Новосибирской области, полученной при использовании традиционного палеточного метода и данных современных глобальных моделей геопотенциала. Выполнено сравнение созданной по разработанной технологии модели аномалий высоты с наземными данными, полученными из геометрического и спутникового нивелирования.

Для вычисления аномалий высоты на территорию Новосибирской области по палетке Еремеева использована гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе масштаба 1:1000000, представленная в программном продукте Surfer с сечением изаномал 5 мГал (рисунок 1). Исходными данными для гравиметрической карты послужила информация с сайта «WGM2012 Earth gravity anomalies», находящаяся в свободном доступе [6].

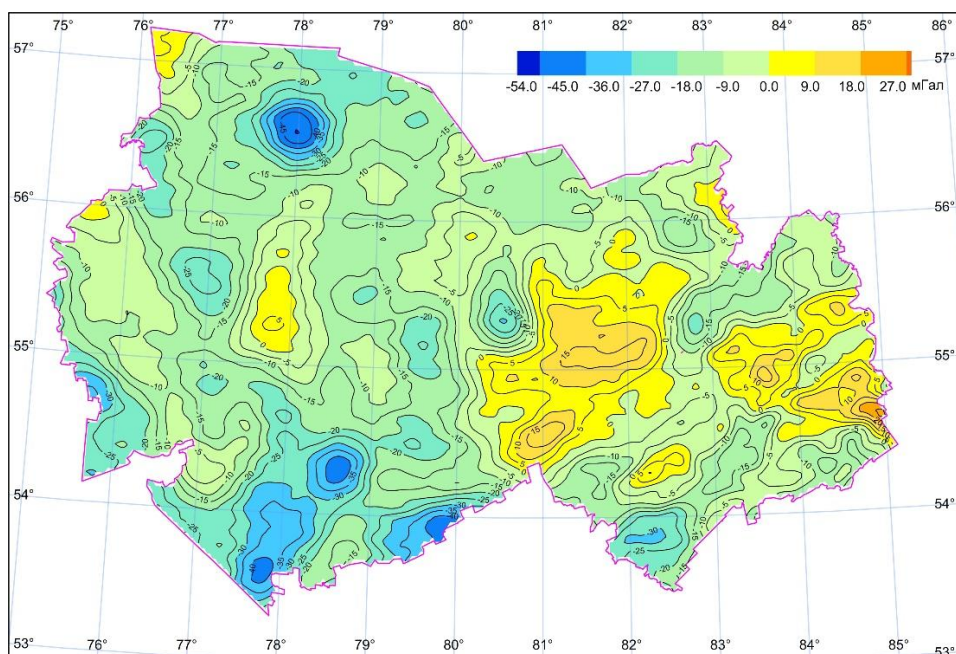


Рис. 1. Схема аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе по данным WGM2012 (мГал)

На исследуемой территории в 190 пунктах P известны нормальные высоты $H^{\nu}(P)$, полученные из геометрического нивелирования. На этих же пунктах P выполнены спутниковые координатные определения в рамках развития геодезической сети активных базовых станций (ГС АБС), получены геодезические высоты $H^{\Gamma}(P)$, средние квадратические погрешности которых из уравнивания спутниковой сети находятся в интервале от 1,5 до 3,1 см [7]. Исследуемая территория расположена на юге Новосибирской области.

Для пунктов P вычислены высоты квазигеоида над эллипсоидом WGS-84 по формуле:

$$\zeta_H(P) = H^{\Gamma}(P) - H^{\nu}(P) \quad (1)$$

В процессе работы построено несколько моделей квазигеоида на территорию Новосибирской области с помощью традиционного палеточного метода и данных современных глобальных спутниковых и ультравысококачественных моделей геопотенциала.

Традиционный метод вычисляет аномалии высоты в точках на земной поверхности по палеткам Еремеева с учетом центральной, ближней и дальней зон. Палеточный метод использован для вычисления аномалии высоты в центральной области и в зоне до 100 км в 190 пунктах P на территории Новосибирской области. Для учета влияния дальних зон в аномалии силы тяжести в свободном воздухе использована спутниковая модель $go_cons_gcf_2_tim_r5$, полученная по результатам космической миссии GOCE в виде коэффициентов разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям до степени $n=280$. В ходе исследования было выявлено, что относительная стабилизация результатов по спутниковой модели начинается со степени разложения $n=92$. Поэтому вычисления аномалии высоты в исследуемых точках по спутниковой модели $go_cons_gcf_2_tim_r5$ выполнялись до 92 степени разложения.

Для получения высот квазигеоида по данным ультравысококачественной модели выбрана комбинированная модель $ggm05c$, созданная по результатам проектов GRACE и GOCE в виде коэффициентов разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям до степени $n=360$. Информация по моделям $ggm05c$ и $go_cons_gcf_2_tim_r5$ представлена на сайте Немецкого научно-исследовательского центра наук о Земле в городе Потсдам ICGEM и находится в открытом доступе [8].

На рисунке 2 приведена модель квазигеоида, полученная при объединении результатов традиционного палеточного метода $\zeta_{II}(\varphi, \lambda)$ с данными спутниковой модели геопотенциала $go_cons_gcf_2_tim_r5$.

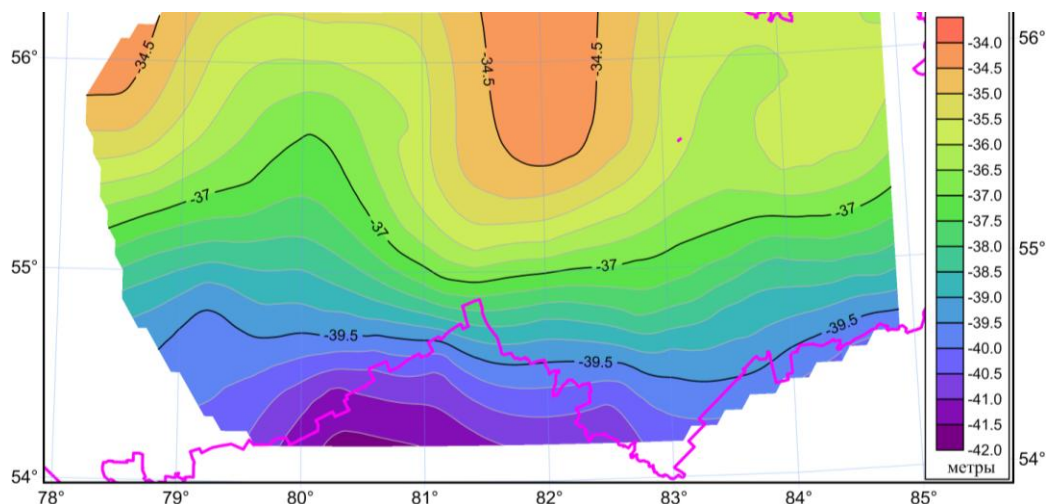


Рис. 2. Карта высот квазигеоида на территорию Новосибирской области, полученная по палетке Еремеева с учетом дальних зон по спутниковой модели $go_cons_gcf_2_tim_r5$

На рисунке 3 приведена модель квазигеоида $\zeta_H(\varphi, \lambda)$, полученная в результате геометрического и спутникового нивелирования в 190 пунктах на территории Новосибирской области.

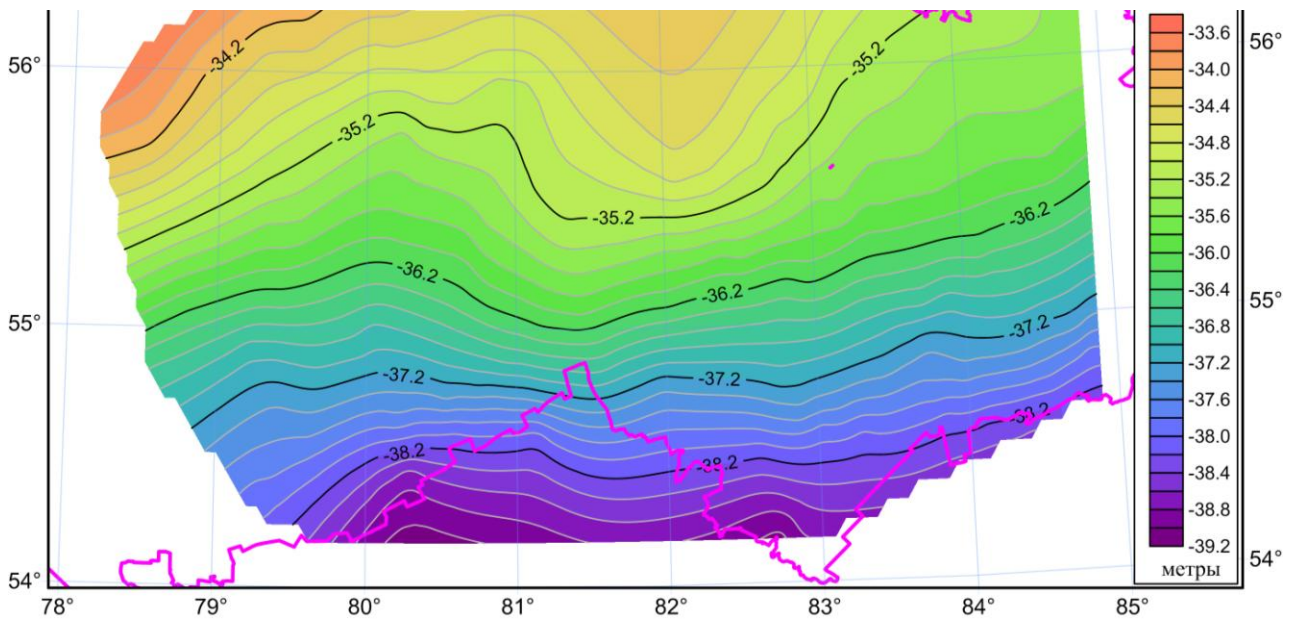


Рис. 3. Карта высот квазигеоида на территорию Новосибирской области, полученная по данным геометрического и спутникового нивелирования

На рисунке 4 представлена гистограмма ошибок распределения разности $\delta\zeta(\varphi, \lambda)$ между наземными результатами $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными, полученными по спутниковой модели $\delta\zeta_s(\varphi, \lambda)$ с результатами палеточного метода $\delta\zeta_{II}(\varphi, \lambda)$. а также наземными $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и комбинированными аномалиями высоты $\delta\zeta_C(\varphi, \lambda)$.

На рисунке 5 представлена гистограмма ошибок распределения разности $\delta\zeta(\varphi, \lambda)$ между наземными результатами $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными аномалиями высоты $\zeta_C(\varphi, \lambda)$, полученными по ультравысокостепенной модели геопотенциала.

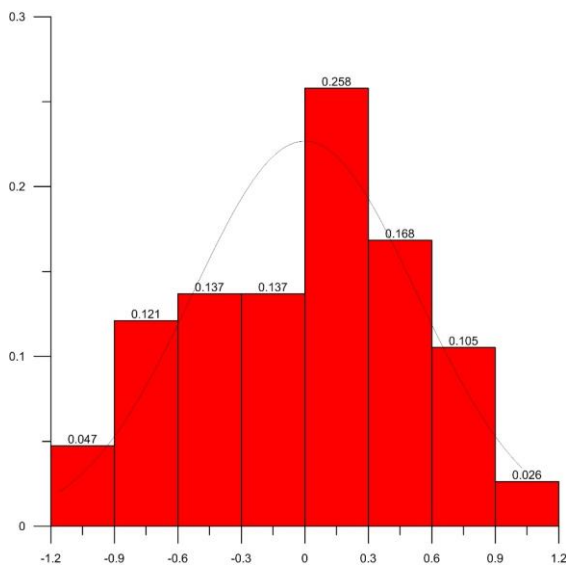


Рис. 4. Гистограмма ошибок распределения разности между

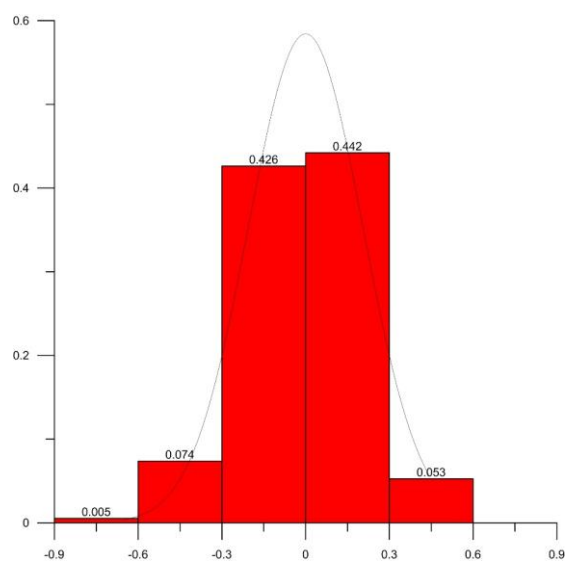


Рис. 5. Гистограмма ошибок распределения разности между

наземными $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными, полученными по спутниковой модели геопотенциала и результатами палеточного метода

наземными результатами $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными аномалиями высоты $\zeta_C(\varphi, \lambda)$, полученными по ультравысокостепенной модели геопотенциала

Статистические параметры распределения разности между наземными результатами $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными, полученными по спутниковой модели геопотенциала и результатами палеточного метода, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Число значений	190
Минимум	-2,260
Максимум	-0,070
Диапазон	2,190
Среднее значение	-1,096
Среднее отклонение	0,446
Стандартное отклонение	0,527
Коэффициент изменчивости	-0,481
Ассиметрия	-0,233
Эксцесс	-0,886

Статистические параметры распределения разности между наземными результатами $\zeta_H(\varphi, \lambda)$ и данными аномалиями высоты $\zeta_C(\varphi, \lambda)$, полученными по ультравысокостепенной модели геопотенциала приведены в таблице 2.

Таблица 2

Число значений	190
Минимум	-0,584
Максимум	0,547
Диапазон	1,132
Среднее значение	-0,174
Среднее отклонение	0,173
Стандартное отклонение	0,212
Коэффициент изменчивости	-1,219
Ассиметрия	0,594
Эксцесс	0,280

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что наилучшими статистическими параметрами для создания модели квазигеоида обладает метод с применением ультравысокостепенной модели геопотенциала, у которой стандартное отклонение от наземных данных составляет 0,212 м, среднее отклонение равно 0,173 м при среднем значении -0,174 м. Гистограмма $\delta_\zeta(\varphi, \lambda)$ имеет распределение близкое к нормальному.

В дальнейших исследованиях, авторы планируют более четко обосновать степень разложения глобальных спутниковых моделей и выбор самой модели геопотенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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, 2016. – 270 с.
2. Karpik A.P., Kanushin V.F., Ganagina I.G., Goldobin D.N., Kosarev N.S., Kosareva A.M. Evaluation of recent Earth's global gravity field models with terrestrial gravity data // Contributions to Geophysics and Geodesy. – 2016. – Vol. 46, No. 1. – P. 1 – 11.
3. Kanushin V.F., Ganagina I.G., Goldobin D.N., Kosarev N.S., Kosareva A.M. The influence of regularization methods on the accuracy of modern global geopotential models // Gyroscopy and Navigation. – 2016. – Vol. 7, No. 4. – P. 366–371.
4. Kopeikin S.M., Kanushin V.F., Karpik A.P., Tolstikov A.S., Gienko E.G., Goldobin D.N., Kosarev, N.S., Ganagina I.G., Mazurova E.M., Karaush A.A., Hanikova E.A. Chronometric measurement of orthometric height differences by means of atomic clocks // Gravitation and Cosmology. – 2016. – Vol. 22, No 3. – P. 234–244.
5. Канушин В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Мазурова Е.М., Косарев Н.С., Косарева А.М. Современные глобальные модели квазигеоида: точностные характеристики и разрешающая способность // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22, №1. – С. 30-50.
6. Официальный сайт WGM2012 Earth gravity anomalies. – Режим доступа: <http://bgi.omp.obs-mip.fr/>.
7. Гиенко Е.Г., Струков А.А., Решетов А.П. Исследование точности получения нормальных высот и уклонений отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – Т. 1. – № 2. – С. 186-191.
8. ICGEM – International Center for Global Gravity Field Models. – Режим доступа: <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>.

© И. Г. Ганагина, Ю.С. Петрова, 2017