



# FIG WORKING WEEK 2019

22-26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"

*Presented at the FIG Working Week 2019,  
April 22-26, 2019 in Hanoi, Vietnam*



## НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

**Эксперименты коррекции сферических гармонических коэффициентов гравитационного поля Земли EGM2008 на основе детальных гравиметрических данных в регионе вьетнамской территории**

**Доктор Технических Наук Ха Минь Хоа<sup>(1)</sup>**

**Кандидат Технических Наук Нгуен Туан Ань<sup>(2)</sup>**

(1) Вьетнамский институт Геодезии и Картографии

(2) Вьетнамское управление Геодезии, Картографии и ГИС

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



## Цель

Определение метода для построения высокоточной модели квазигеоида на территории Вьетнама на основе совместного использования детальных гравиметрических данных и ГПЗ EGM2008

## Постановка задачи

- ❖ Территория Вьетнама длинная и узкая. Во настоящее время не имеются детальные гравиметрические данные на территориях Лаоса и Камбоджи и не собираются детальные гравиметрические данные на территориях Южных провинций Китая. Поэтому нельзя вычислить высокоточные высоты квазигеоида по интегральной формуле Стокса (требуемый радиус внутренней зоны  $2,5 - 5^0$ ).
- ❖ Для ГПЗ EGM2008, территория Вьетнама относится к зоне "Fill-in", т.е. детальные гравиметрические данные не были использованы для вычисления сферических гармонических коэффициентов этой модели. По результатам исследований во Вьетнаме точность высот квазигеоида, вычисленные по этой модели была достигнута на уровне  $\pm 7$  см

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



- ❖ Построение высокоточной национальной модели квазигеоида с дальнейшего использования для развития национальной пространственной системы координат требует точности национальной модели квазигеоида на уровне выше  $\pm 4$  см.
- ❖ В такой остановке единственным путём для достижения постановленной цели является решение задачи коррекции сферических гармонических коэффициентов гравитационного поля Земли EGM2008 на основе детальных гравиметрических данных (решение проблемы "Fill-in") и дальнейшее уточнение национальной модели квазигеоида, полученной из уточненной ГПЗ EGM2008 с помощью высотных данных. В этом докладе представляются результаты исследований для решения первой задачи.

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



## Редукция гравиметрических данных

Для гравиметрического пункта P с измеренным ускорением силы тяжести нормальной высотой и геодезической широтой B вычисляется гравиметрическая аномалия во свободном воздухе по формуле:  $\Delta g_{FA} = g_P - \gamma_N$ ,

где  $\gamma_N$  - нормальное ускорение силы тяжести пункта N на теллуриде, вычисленное по формуле:

$$\gamma_N = \gamma_0 - 0,308562 \cdot (1 + 0,0007 \cdot \cos 2B) \cdot H_P^\gamma - 0,0723 \cdot 10^{-6} \cdot (H_P^\gamma)^2 + A_{atm} < мГал >,$$

атмосферная поправка (из-за того что геоцентрическая гравитационная постоянная включает в себя атмосферную массу) вычисляется по формуле:

$$A_{atm} = 0,8658 - 9,727 \cdot 10^{-5} \cdot H_P^\gamma + 3,482 \cdot 10^{-9} \cdot (H_P^\gamma)^2 < мГал >,$$

нормальное ускорение силы тяжести на поверхности эллипсоида WGS-84 вычисляется по формуле:

$$\gamma_0 = 978032,5 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 B - 0,0000058 \cdot \sin^2 2B) < мГал >.$$

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



- ❖ Вычисление аномалии Фая:  $\Delta g_F = \Delta g_{FA} + \delta g_F$ ,  
где  $\delta g_F$ - поправка Фая, для ликвидации неровностей физической поверхности Земли, вызванной короткими волнами геоида со самыми короткими длинами волны от 100 м до 1000 м, на основе использования цифровой модели высот с высоким разрешением 3"x3" (SRTM 3"x3");
- ❖ Горные районы занимают 3/4 площади территории Вьетнама с многими хребтами на высотах от 2 – 3 км, отражёнными влияниями средних волн геоида со самыми короткими длинами волн от 5 км до 20 км. Это приводит к существованию так называемых избыточных топографических масс, которые вызывают сильные флуктуации в значениях аномалий Фая. Из-за этих влияний аномалия Фая не являются гармоническими функциями. Для ликвидации этих влияний во Вьетнаме должны быть использованы аномалии RTM (Residual Terrain Model), которые относятся к сглаженной (осредненной) физической поверхности Земли,

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22-26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"

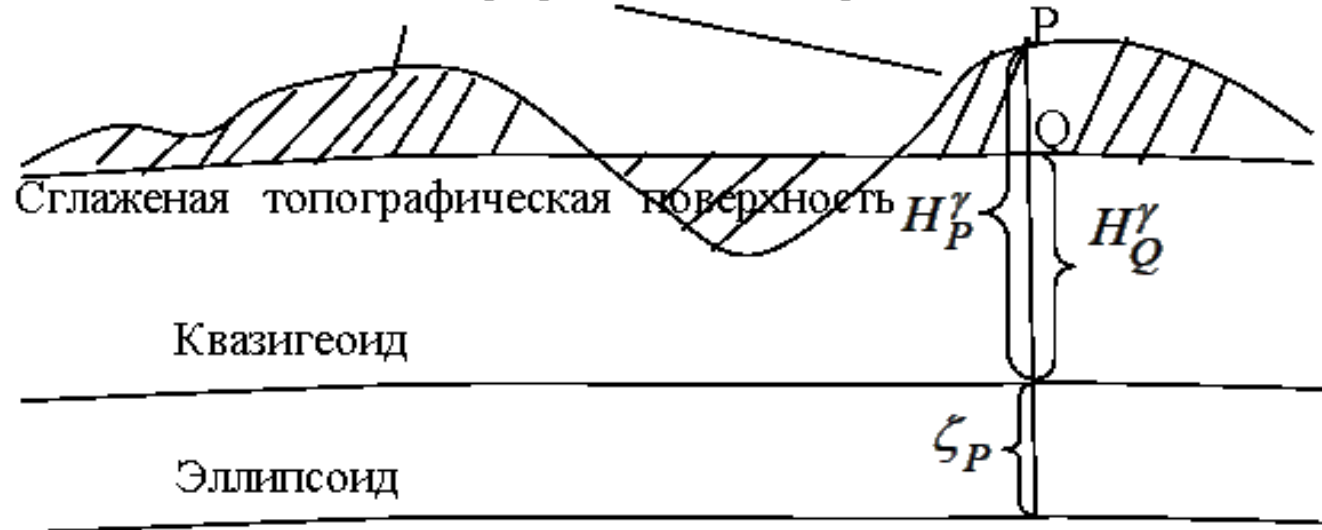


моделированной цифровой моделью высот со средним разрешением 5' x 5' (SRTM 5' x 5') и вычисляются по формуле:

$$\Delta g_{RTM} = \Delta g_F + \delta g_{RTM}, \text{ где поправка RTM } \delta g_{RTM} = -0,1967 \cdot (H_Q^\gamma - H_P^\gamma) < \text{мГал} >$$

$H_Q^\gamma$  - Нормальная высота пункта Q, который соответствует к пункту P и находится на сглаженной (осредненной) физической поверхности Земли.

Реальная топографическая поверхность



ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22-26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



## ❖ Перевод аномалий RTM к поверхности Эллипсоида

$$\Delta g_{\text{элл}} = \Delta g_{\text{RTM}} + g_1 \langle m_{\text{Гал}} \rangle, \quad \text{где} \quad g_1 = -G \cdot \sigma_{cr} \cdot R^2 \cdot H_P \cdot \iint_{\Omega} \frac{H^\gamma - H_P^\gamma}{l_0^3} \cdot d\Omega,$$

$G$  - гравитационная постоянная эллипсоида WGS-84

$\sigma_{cr} = 2,67 \text{ гp.см}^{-3}$  - средняя плотность земной коры

$R = 6371007 \text{ м}$  - средний радиус Земли

$l_0$  - расстояние от пункта P до пункта интегрирования

## Метод для коррекции сферических гармонических коэффициентов гравитационного поля Земли EGM2008 по детальным гравиметрическим данным

Общая формула для вычисления скорректированных сферических гармонических коэффициентов  $\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\bar{\bar{S}}_{n,m}$  со степенью  $n$  и порядком  $m$  ( $n = 181 - 2190$ ;  $m = 0 - n$ ):

$$\bar{\bar{C}}_{n,m} = \bar{\bar{C}}_{n,m} + \delta \bar{\bar{C}}_{n,m}; \quad \bar{\bar{S}}_{n,m} = \bar{\bar{S}}_{n,m} + \delta \bar{\bar{S}}_{n,m},$$

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



Где:  $\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\bar{\bar{S}}_{n,m}$  - сферические гармонические коэффициенты из оригинальной модели EGM2008,

$\delta\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\delta\bar{\bar{S}}_{n,m}$  - поправки в сферические гармонические коэффициенты  $\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\bar{\bar{S}}_{n,m}$ ,

$$\begin{cases} \delta\bar{\bar{C}}_{n,m} \\ \delta\bar{\bar{S}}_{n,m} \end{cases} = \frac{a_e^2}{4\pi \cdot GM \cdot (n-1)} \cdot \iint_{\Omega} \left(\frac{\rho}{a_e}\right)^n \cdot \overline{\delta\Delta g}(\rho, B, L) \cdot \begin{cases} \cos mL \\ \sin mL \end{cases} \cdot \bar{P}_{n,m}(\sin B) \cdot d\Omega,$$

$GM$  - геоцентрическая гравитационная постоянная

$a_e$  - радиус большой полуоси эллипсоида

$\rho$  - геоцентрический радиус – вектор пункта интегрирования

$$\overline{\delta\Delta g}(\rho, B, L) = \overline{\Delta g(\rho, B, L)} - \Delta g_{EGM}(\rho, B, L),$$

$\overline{\Delta g(\rho, B, L)}$  - среднее значение аномалии силы тяжести на пункте интегрирования

$\Delta g_{EGM}(\rho, B, L)$  - значение аномалии силы тяжести, вычисленное из оригинальной модели EGM2008, на пункте интегрирования

Использование метода квадратур, предложенного Коломбо О. Л. в 1981 г. для определения поправок  $\delta\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\delta\bar{\bar{S}}_{n,m}$  в сферические гармонические коэффициенты  $\bar{\bar{C}}_{n,m}$  и  $\bar{\bar{S}}_{n,m}$  (Содержание метода был подробно описано в научной статье)

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS







# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



## Результаты эксперимента

- ❖ Экспериментальный район находится на Севере Вьетнама со средней высоте около 300 м и содержит 3967 гравиметрических пунктов, причём 2006 пунктов были использованы для вычисления поправки в сферические гармонические коэффициенты гравитационного поля Земли EGM2008, 1961 пунктов были использованы для оценки качества коррекции.
- ❖ Поправки  $g_1$  пренебрежимы из-за малости
- ❖ Вычислены 1961 разностей  $\nabla g = \Delta g - \Delta g_{EGM2008}$  до коррекции, где  $\Delta g$  - наземная аномалия силы тяжести,  $\Delta g_{EGM2008}$  - аномалия силы тяжести того же гравиметрического пункта, вычисленная из оригинальной модели EGM2008, и 1961 разностей  $\nabla \tilde{g} = \Delta g - \Delta \tilde{g}_{EGM2008}$  после коррекции, где  $\Delta \tilde{g}_{EGM2008}$  - аномалия силы тяжести того же гравиметрического пункта, вычисленная из скорректированной модели EGM2008

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22-26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



❖ Из таблицы видно:

Разности	$\pm (0 - 5)$ мГал	$\pm (5 - 10)$ мГал	$\pm (10 - 20)$ мГал	$\pm (20 - 30)$ мГал	$\pm (30 - 40)$ мГал
$\nabla g$	181	176	677	916	11
$\nabla \tilde{g}$	863	506	427	139	26

До коррекции: 357 разностей  $\nabla g$  (18,20%) находятся в интервале (0 – 10 мГал)  
После коррекции: 1369 разностей  $\nabla \tilde{g}$  (69,81%) - в интервале (0 – 10 мГал)

**Для страны "Fill-in" как Вьетнама, выполнение коррекции сферических гармонических коэффициентов модели EGM2008 по наземным гравиметрическим данным позволяет приближать значения аномалий силы тяжести, вычисленных из скорректированной модели EGM2008, к значениям наземных аномалий силы тяжести, т.е. они более соответственны к реальному ГПЗ на территории Вьетнама.**

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ❖ В конкретных условиях Вьетнама построение национальной высокоточной модели квазигеоида на основе совместного использования наземных гравиметрических данных и модели EGM2008 будет реальным, если сферические гармонические коэффициенты модели EGM2008 будут уточнены по наземным гравиметрическим данным. Это подтверждено в результатах исследований, представленных в этом докладе.
- ❖ Это направление исследований является реальным и перспективным, и требует дальнейшего совершенствования для удовлетворения потребностей в построении национальной высокоточной модели квазигеоида во Вьетнаме в ближайшем будущем.

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS





# FIG WORKING WEEK 2019

22–26 April, Hanoi, Vietnam

"Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience"



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

ORGANISED BY



PLATINUM SPONSORS

