

*Ю. П. Кочетова<sup>1\*</sup>, И. Г. Ганагина<sup>1</sup>*

## **Результаты исследования вариаций аномалии силы тяжести на территории Западной Сибири**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: yuliacochet@yandex.ru

**Аннотация.** Статья содержит результаты исследования изменений аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием различных геодинамических факторов, на территории Западной Сибири. Приведен алгоритм определения вариаций гравитационного поля, обусловленных изменением движения полюсов, скорости вращения Земли и движения литосферных плит. Представлены результаты изменений аномалии силы тяжести на исследуемую территорию. Выполнена оценка и анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** гравитационное поле Земли, вариации, сила тяжести, геодинамические факторы

*Y. P. Kochetova<sup>1\*</sup>, I. G. Ganagina<sup>1</sup>*

## **Results of the study of gravity anomaly variations on the territory of Western Siberia**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation,  
\* e-mail: yuliacochet@yandex.ru

**Abstract.** The article contains the results of a study of changes in gravity anomalies caused by the influence of various geodynamic factors on the territory of Western Siberia. An algorithm for determining variations of the gravitational field caused by changes in the movement of the poles, the Earth's rotation speed and the movement of lithospheric plates is given. The results of changes in the gravity anomaly on the studied territory are presented. The evaluation and analysis of the obtained results were carried out.

**Keywords:** gravitational field Earth's, variations, gravity, geodynamic factors

### ***Введение***

Знание характеристик гравитационного поля Земли (ГПЗ) играет ключевую роль в запуске искусственных спутников, моделировании геодинамических процессов, исследовании природных ресурсов, авиа- и морской навигации и обеспечении безопасности государства.

При изучении ГПЗ и определении его характеристик, к которым относятся аномалии силы тяжести, отклонения отвесной линии и аномалии высоты, необходимо учитывать их изменение во времени, обусловленные влиянием геодинамических факторов. К хорошо изученным геодинамическим факторам относятся:

– вековое изменение скорости вращения Земли;

- вековое движение полюсов;
- вековое движение литосферных плит;
- техногенная деятельность;
- вековое и сезонное изменения уровня водных масс крупных водоемов и др.

Для исследования влияния перечисленных геодинамических процессов и их оценки на изменения характеристик ГПЗ выбран участок территории Западной Сибири.

Целью данной работы является исследование вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных влиянием различных геодинамических факторов, на территории Западной Сибири. Выполнена оценка влияния геодинамических факторов на исследуемую характеристику ГПЗ, результаты проанализированы и представлены в виде картосхем.

### *Методы и материалы*

Для анализа геодинамических факторов, влияющих на изменение характеристик гравитационного поля Земли, в исследовании представлены вековые процессы движения полюсов, неравномерности вращения Земли и движение литосферных плит.

Исследуемая территория Западной Сибири представлена равновеликими трапециями  $5^\circ \times 5^\circ$ , полученными по методу Жонголовича, в основе которого лежит метод У. Каула [1].

Количество зон в полушарии, на которые сфера разбивается системой параллелей и определяется по формуле

$$t = \pi / 2S, \quad (1)$$

где  $S$  – размер стороны элементарной трапеции  $\Delta\omega$  на экваторе.

Для разбивки на пятиградусные трапеции  $S = 0,087\ 266\ 381$ . Тогда  $t = 18$ .

Общее количество трапеций  $\Delta\omega$  в зоне с номером  $i$  вычисляется по формуле

$$U_i = ((2\pi / S) / \sin \varphi_i) \cdot (\sin \varphi_i - \sin \varphi_{i-1}), \quad (2)$$

где  $i = 1, \dots, t$  – номер параллели, ограничивающей зону;

$\varphi_i$  и  $\varphi_{i-1}$  – широты северной и южной параллелей зоны  $i$ .

Количество пятиградусных трапеций на территории Западной Сибири, вычисленное по формуле (2), равняется 17.

Для центров пятиградусных трапеций и по формулам (3), (4), (6) [2] производятся вычисления векового изменения характеристики ГПЗ, обусловленного движением полюсов, неравномерностью вращения Земли и движением литосферных плит соответственно

$$\delta \dot{g}_p = -\omega^2 \rho (\dot{X} \cos \lambda + \dot{Y} \sin \lambda) \sin 2\varphi, \quad (3)$$

$$\delta \dot{g}_\omega = -2\rho\omega\dot{\omega} \cdot \cos^2 \varphi, \quad (4)$$

$$\dot{\omega} = \frac{\Delta P}{P} \omega, \quad (5)$$

$$\delta \dot{g}_{nl} = -\omega^2 \rho \Omega_k \cos \Phi_k \sin(A_k - \lambda_i) \sin 2\varphi_i, \quad (6)$$

где  $\omega = 7,292\ 115 \cdot 10^{-5}$  рад/с<sup>-1</sup> – угловая скорость вращения Земли;

$\rho = 637\ 800\ 0$  м – средний радиус Земли;

$\dot{X} = 0,033''$  за 100 лет,  $\dot{Y} = 0,384''$  за 100 лет – скорости изменения координат полюса;

$\varphi, \lambda$  – географическая широта и долгота средних параллелей соответствующих пятиградусных зон;

$\Delta P = -0,001\ 6$  с за 100 лет – скорость изменения продолжительности суток;

$P = 864\ 00$  с – количество секунд в сутках;

$\Omega_k$  – вековая угловая скорость вращения соответствующей литосферной плиты;

$\Phi_k, A_k$  – геоцентрические координаты полюса вращения литосферной плиты с номером  $k$ .

### **Результаты**

В работе выполнены исследования вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения полюсов, скорости вращения Земли и движением литосферных плит, на территории Западной Сибири определения.

Для визуализации результатов построены картосхемы вариаций аномалии силы тяжести, обусловленные различными геодинамическими факторами.

Построение картосхем выполнено с помощью программного пакета машинной графики SURFER [7].

Для построения картосхем используется метод кригинга – «Kriging». Этот метод является геостатическим, то есть базируется на математических и на статистических функциях. Такой подход позволяет учитывать пространственную корреляцию данных и дает возможность не только создавать модели поверхностей, но также получать оценку точности этих моделей.

С помощью выбранного программного пакета машинной графики и результатов вычисления вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных различными геодинамическими факторами, были построены:

- картосхема вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения полюсов (рис. 1);
- картосхема вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением скорости вращения Земли (рис. 2);
- картосхема вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения литосферных плит (рис. 3).

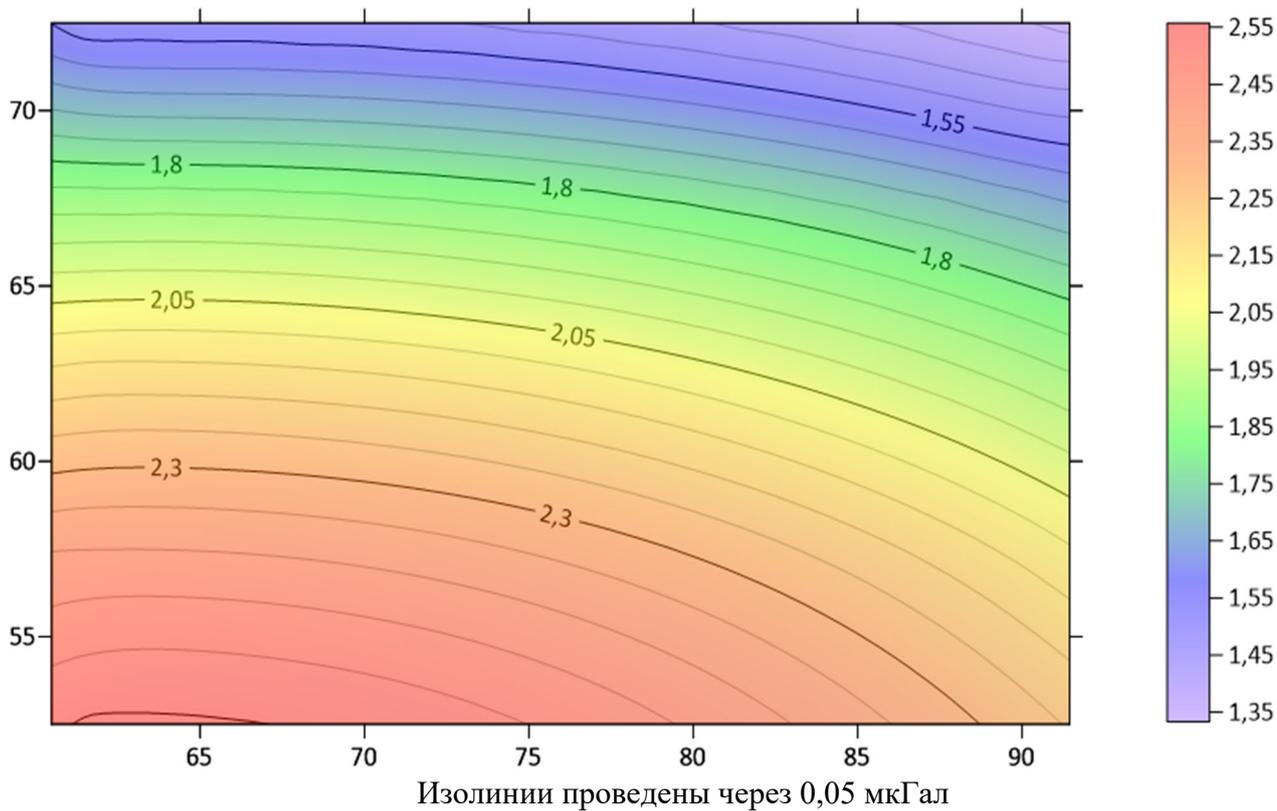


Рис. 1. Картограмма вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения полюсов

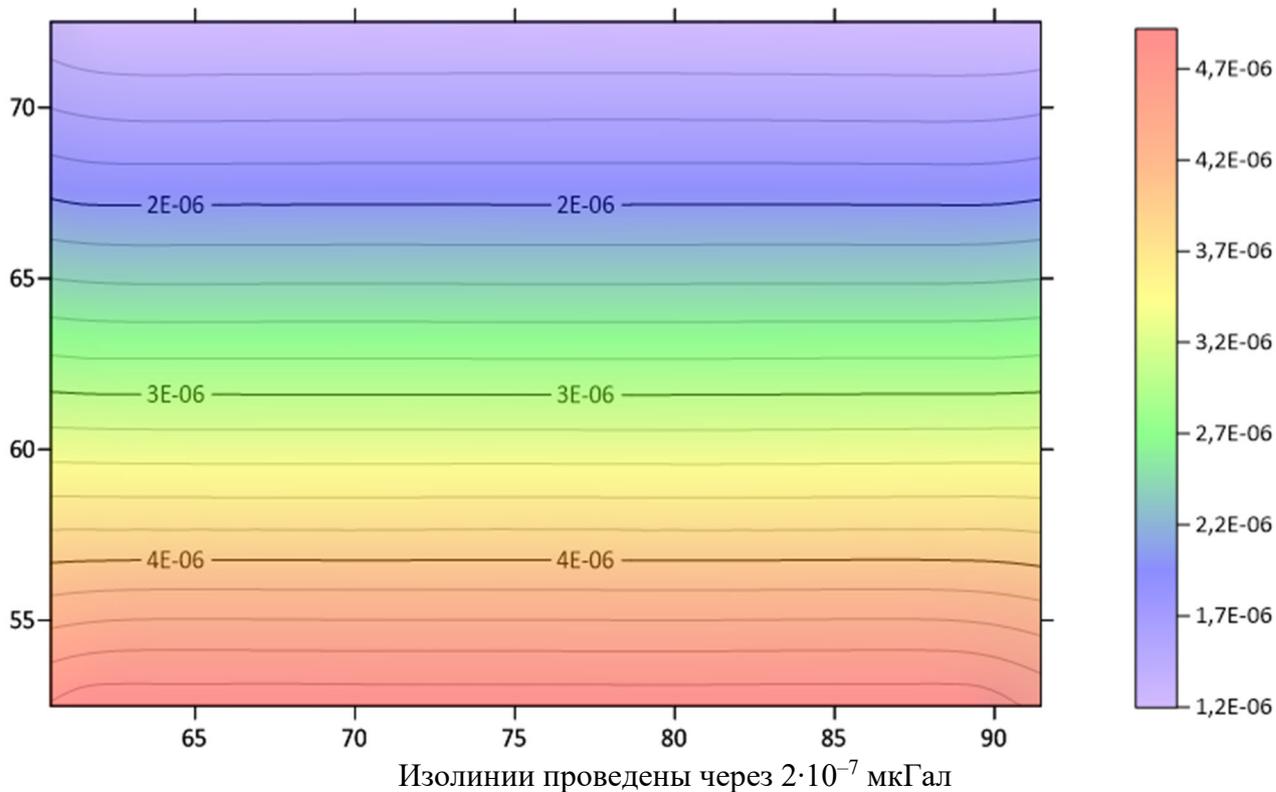


Рис. 2. Картограмма вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением скорости вращения Земли

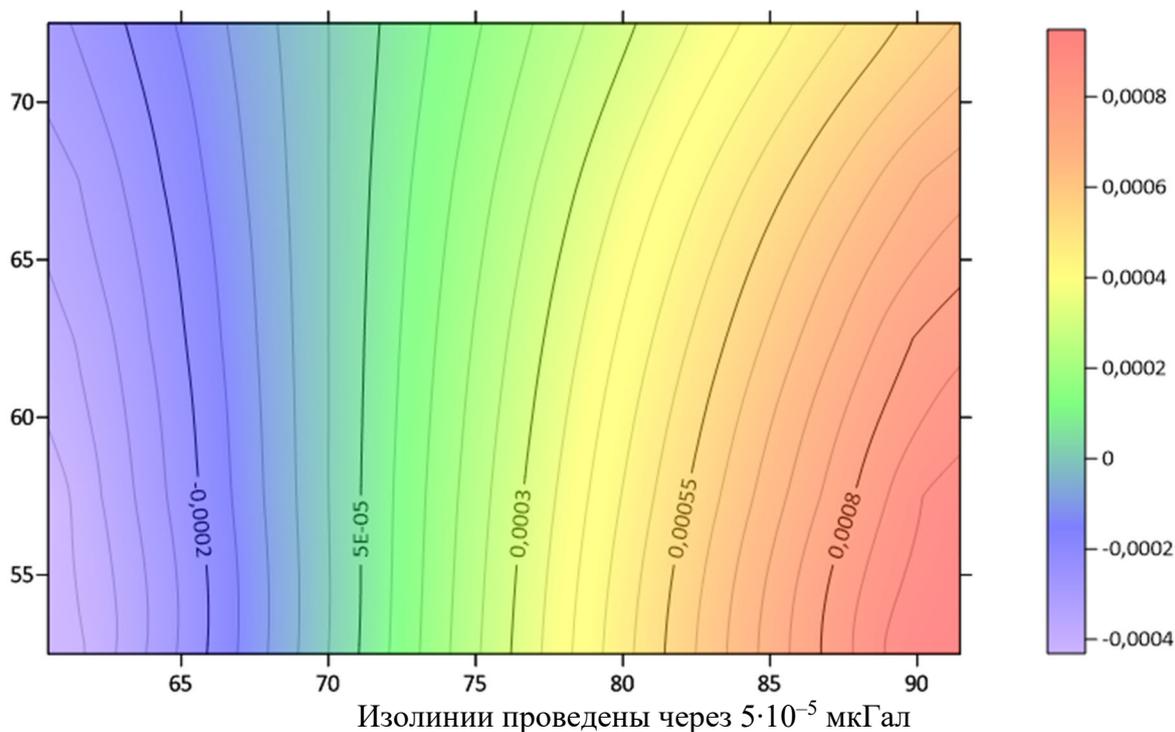


Рис. 3. Картограмма вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения литосферных плит

Результаты определения вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения полюсов, полученных по формуле (3), варьируются от  $1,3$  мкГал/100 лет до  $2,6$  мкГал/100 лет;

Результаты вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением скорости вращения Земли на территории Западной Сибири, вычисленных по формуле (4), находятся в пределах от  $1,2 \cdot 10^{-6}$  мкГал/100 лет до  $4,9 \cdot 10^{-6}$  мкГал/100 лет;

Результаты вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных изменением движения литосферных плит на территории Западной Сибири, полученных по формуле (6), варьируются от  $-4,3 \cdot 10^{-4}$  мкГал/100 лет до  $9,3 \cdot 10^{-4}$  мкГал/100 лет;

Результаты суммарных вариаций аномалии силы тяжести, обусловленных геодинимическими процессами, на территории Западной Сибири изменяются от  $0,9$  мкГал/100 лет до  $2,6$  мкГал/100 лет.

### **Выводы**

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что вариации аномалии силы тяжести, обусловленные изменением движения полюсов, вносят максимальное влияние на изменение характеристики ГПЗ.

В ходе анализа выполнения исследования было показано, что вековое изменение силы тяжести может быть, в основном, обусловлено совместным влиянием изменений скорости вращения Земли, движением полюсов и литосферных плит. Метод математического моделирования при изучении ГПЗ необходимо исполь-

зовать для прогнозной оценки и учета влияния изменения динамической составляющей ГПЗ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение динамической составляющей потенциала силы тяжести и его характеристик, обусловленных вековым изменением скорости вращения Земли, движением полюсов и литосферных плит / В. В. Бузук, И. Г. Ганагина, В. Ф. Канушин [и др.]. – XLVIII научно-техническая конференция преподавателей СГГА, 1998. – 16 с. – ISBN 978-601-228-633-5. – Текст : непосредственный.

2. Бузук, В. В. Исследование гравитационного поля и фигуры Земли : учебное пособие / В. В. Бузук, И. Г. Вовк, В. Ф. Канушин. – Новосибирск, НИИГАиК, 1987. – 78 с. (для студентов 4, 5-го курса и дипломников астрономо-геодезической специальности). – ISBN: 478-5-8959-1159-7. – Текст : непосредственный.

3. Анализ данных чистых и смешанных аномалий силы тяжести, полученных по результатам работы космических гравиметрических миссий GRACE, GOCE / И. Г. Ганагина, В. Ф. Канушин, Д. Н. Голдобин, И. В. Зверев // Интерэкспо Гео-Сибирь. Науки о Земле и смежные экологические науки. – Новосибирск : Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2022. – Т. 1. – С. 130–137. – DOI: 10.33764/2618-981X-2022-1-130-137. – Текст : непосредственный.

4. Болгов, М. В. О моделировании колебаний уровня озера Чаны для управления его гидрологическим режимом / М. В. Болгов, Е. А. Коробкина // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Москва : Институт водных проблем Российской академии наук, 2012. – №. 1. – С. 4–21. – ISSN: 1999-4508. – Текст : непосредственный.

5. Измерение современных движений методами абсолютной гравиметрии и космической геодезии на месторождениях заполярной части Западной Сибири / В. Ю. Тимофеев, Д. Г. Ардюков, Д. А. Носов [и др.]. – Новосибирск : Институт автоматизации и электротехники СО РАН, 2021. – Т. 57. – №. 2. – С. 23–42. – ISSN: 0131-6230. – Текст : непосредственный.

6. Колмогоров, В. Г. Современная геодинамика Сибири по результатам геодезических и геолого-геофизических исследований : монография / В. Г. Колмогоров. – Новосибирск : ФГБОУ ВПО «СГГА», 2013. – 236 с. – ISBN: 978-5-87693-602-8. – Текст : непосредственный.

7. Surfer 15.5.382 [Электронный ресурс] // <https://pcwonderland.com/> : [сайт]. – URL: <https://pcwonderland.com/surfer-15-5-382-free-download/> (дата обращения : 28.04.2023). – Режим доступа : общий доступ.

© Ю. П. Кочетова, И. Г. Ганагина, 2024