

Ю. П. Кижеватова^{1✉}, И. Г. Ганагина¹

Определение сезонных изменений аномалий силы тяжести на территории Новосибирской области, обусловленных толщиной снежного покрова

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: yuliacochet@yandex.ru

Аннотация. В работе приведены результаты определения влияния снежного покрова на аномалии силы тяжести (АСТ) в Новосибирской области. В качестве исходных данных использовались характеристики снежного покрова, зарегистрированные в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль) 2019–2021 гг. на 21 гидрометеорологической станции, собранные в библиотеке Западно-Сибирского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. АСТ в свободном воздухе рассчитано в программах «SINTEGRAV» и «RSolve», разработанных на кафедре физической геодезии СГУГиТ. Диапазон изменений аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием снежного покрова, на территории Новосибирской области составляет от 0,002 мкГал до 1,065 мкГал. Влияние твердых осадков в виде снежного покрова на аномалии силы тяжести достигает величин, требующих обязательного учета при проведении высокоточных гравиметрических исследований.

Ключевые слова: влияние снежного покрова, изменение аномалий силы тяжести, сезонные явления, геодинамические факторы

Y. P. Kizhevatova^{1✉}, I. G. Ganagina¹

Determination of seasonal changes in gravity anomalies in the Novosibirsk region due to the thickness of the snow cover

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: yuliacochet@yandex.ru

Abstract. The paper presents the results of determining the effect of snow cover on gravity anomalies in the Novosibirsk region. The initial data used were snow cover characteristics recorded during the winter months (December, January, February) 2019-2021 at 21 hydrometeorological stations, collected in the library of the West Siberian Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. AST in free air is calculated in the programs "SINTEGRAV" and "RSolve" developed at the Department of Physical Geodesy of SSUGiT. The range of changes in gravity anomalies due to the influence of snow cover in the Novosibirsk Region ranges from 0.002 micrograms to 1.065 micrograms. The effect of solid precipitation in the form of snow cover on gravity anomalies reaches values that require mandatory consideration when conducting high-precision gravimetric studies.

Keywords: influence of snow cover, changes in gravity anomalies, seasonal phenomena, geodynamic factors

Введение

Определение формы и параметров Земли с высокой точностью – сложная задача, требующая одновременного решения нескольких проблем. Необходимо учитывать динамические изменения характеристик гравитационного поля (ГПЗ),

строго привязывать все измерения к единой системе координат и времени, а также предсказывать, как повлияют на ГПЗ природные и техногенные геодинамические процессы [1].

Геодинамические факторы, приводящие к изменению и перемещению масс внутри и на поверхности Земли, определяют изменения характеристик ГПЗ.

Для точного анализа аномалий силы тяжести (АСТ) необходимо учитывать влияние как долговременных геодинамических процессов, так и сезонных явлений, таких как изменения массы снежного покрова, которые оказывают влияние на вариации гравитационного поля [2].

Целью данной работы является определение сезонных изменений аномалий силы тяжести, обусловленных толщиной снежного покрова на территории Новосибирской области.

Территория Новосибирской области была выбрана в качестве участка для исследования влияния твердых осадков в виде снежного покрова на изменение характеристик ГПЗ.

Методы и материалы

Данные о твердых осадках в виде снежного покрова на территорию Новосибирской области получены в библиотеке Западно-Сибирского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [3]. В качестве исходных данных для исследования использовалась информация о высоте снежного покрова с 21 гидрометеорологической станции на территории Новосибирской области в зимние периоды 2019–2021 гг.

На выбранный период исследования получены временные модели геопотенциала по данным космической гравиметрической миссии GRACE-FO, представленные на сайте Международного центра глобальных моделей Земли (ICGEM) [4].

Временные модели использованы для определения АСТ в свободном воздухе по программе «SINTEGRAV», созданной на кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ, для вычисления гравитационного потенциала и его дериват, методом разложения в ряд по сферическим функциям [5]. Результаты, полученные по данной программе, представляют изменение аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием всех природных и техногенных факторов. Для получения изменений АСТ, обусловленных влиянием только твердых осадков в виде снега, использована программа «RSolve», которая предназначена для вычисления гравитационного эффекта от объекта с заданной плотностью.

Результаты

В таблице 1 представлены изменения АСТ в свободном воздухе за зимний период 2019–2021 гг. (декабрь–январь 2019–2020 гг., январь–февраль 2020 г., декабрь–январь 2020–2021 гг., январь–февраль 2021 г.), вычисленные для 21 станции в программе «SINTEGRAV».

Таблица 1

Изменения АСТ в свободном воздухе, вычисленные в программе
«SINTEGRAV» (GRACE-FO)

Год / Станция	Аномалии силы тяжести, мкГал			
	2020		2021	
	Декабрь– Январь	Январь– Февраль	Декабрь– Январь	Январь– Февраль
Барабинск	1,022	1,729	1,523	0,285
Карасук	0,563	2,345	1,355	0,067
Каргат	0,760	2,275	1,205	0,083
Краснозерск	0,428	2,569	1,180	0,157
Колывань	2,344	2,635	0,983	0,361
Коченево	2,144	2,654	1,044	0,238
Мошково	2,666	2,711	0,879	0,494
Огурцово	2,531	2,751	0,983	0,359
Сузун	2,522	2,961	0,974	0,131
Татарск	2,880	1,123	2,052	0,779
Тогучин	2,805	2,735	0,754	0,582
Убинское	0,185	2,081	1,289	0,121
Чаны	2,338	1,315	1,875	0,616
Чулым	1,342	2,453	1,135	0,096
Баган	1,067	2,101	1,510	0,098
Искитим	2,656	2,797	0,962	0,388
Купино	1,506	1,886	1,641	0,246
Маслянино	2,799	2,766	0,857	0,511
Посевная	2,708	2,839	0,958	0,372
Чистоозерное	2,256	1,516	1,868	0,510
Здвинск	0,417	2,133	1,388	0,068

В таблице 2 представлены изменения АСТ в свободном воздухе за зимний период 2019–2021 гг., вычисленные для 21 станции на территории Новосибирской области по программе «RSolve».

Таблица 2

Изменения АСТ в свободном воздухе, вычисленные в программе «RSolve»

Год / Станция	Аномалии силы тяжести, мкГал			
	2020		2021	
	Декабрь– Январь	Январь– Февраль	Декабрь– Январь	Январь– Февраль
Барабинск	0,361	0,180	0,069	0,180
Карасук	0,163	0,002	0,018	0,043
Каргат	0,249	0,380	0,127	0,318
Краснозерск	0,318	0,365	0,069	0,284
Колывань	0,292	0,171	0,171	0,249
Коченево	0,259	0,018	0,163	0,276
Мошково	0,447	0,361	0,249	0,388

Огурцово	0,420	0,069	0,249	0,316
Сузун	1,065	0,069	0,225	0,369
Татарск	0,335	0,043	0,104	0,259
Тогучин	0,335	0,155	0,214	0,233
Убинское	0,137	0,137	0,190	0,129
Чаны	0,112	0,137	0,137	0,214
Чулым	0,251	0,069	0,137	0,249
Баган	0,137	0,067	0,214	0,067
Искитим	0,225	0,061	0,214	0,067
Купино	0,214	0,061	0,163	0,259
Маслянино	0,412	0,335	0,137	0,292
Посевная	0,447	0,482	0,292	0,276
Чистоозерное	0,206	0,018	0,061	0,345
Здвинск	0,249	0,080	0,069	0,155

Результаты вычисления АСТ в программе «SINTEGRAV» содержат изменения, обусловленные влиянием различных геодинамических факторов, в том числе и высоты снежного покрова. В ходе исследования выдвинуто предположение о сравнении значений, полученных в зимние месяцы, с изменениями аномалий силы тяжести по данным временных моделей за летний период исследуемых годов.

В программе «SINTEGRAV» рассчитаны значения АСТ для июля (период отсутствия снежного покрова) и февраля 2020 года (период максимальной высоты снежного покрова в зимний период 2019–2021 гг.). Разность сопоставлена с результатами «RSolve» (на февраль 2020 года) и представлена на графике (рис. 1).

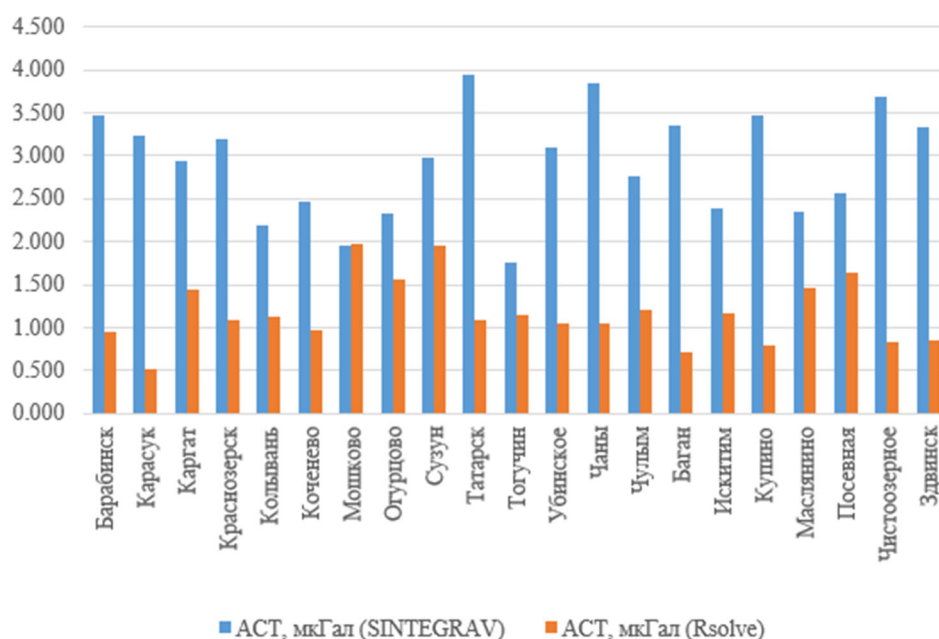


Рис. 1. Сравнение результатов влияния снежного покрова на АСТ, вычисленные в программах «SINTEGRAV» и «RSolve» (февраль 2020 г.)

Анализ рисунка 1 свидетельствует об отсутствии корреляции между результатами. В программе «SINTEGRA V» влияние снежного покрова, относительно других геодинамических факторов, слабо учитывается при вычислении АСТ, что не позволяет выявить корреляцию между результатами, полученными в двух программах.

На рисунках 2–5 представлены графики значений изменения высоты снега и изменения АСТ на периоды: декабрь–январь 2019–2020 гг., январь–февраль 2020 года, декабрь–январь 2020–2021 гг., январь–февраль 2021 года.

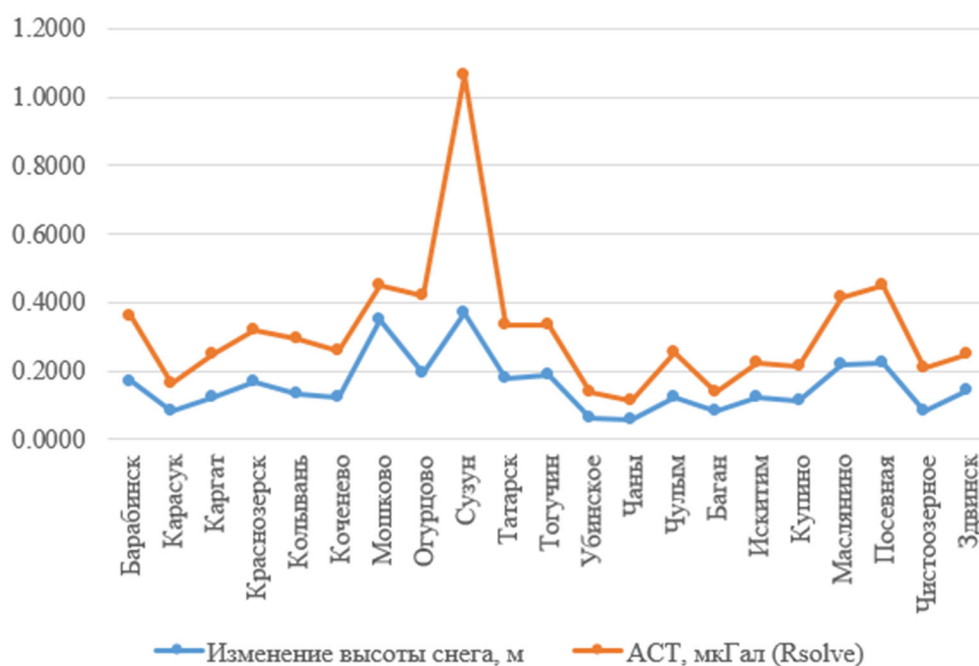


Рис. 2. График значений изменения высоты снега и изменения АСТ за декабрь–январь 2019–2020 гг.

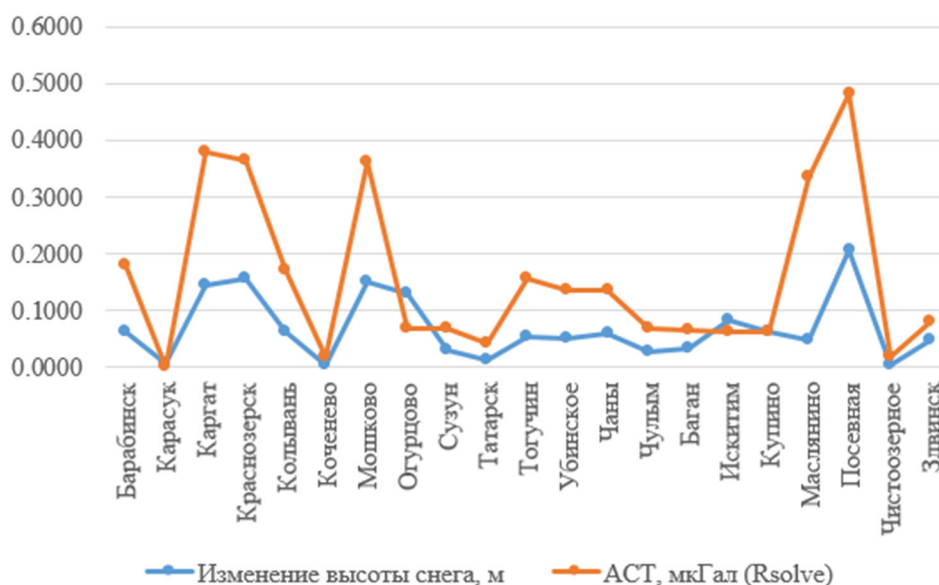


Рис. 3. График значений изменения высоты снега и изменения АСТ за январь–февраль 2020 года

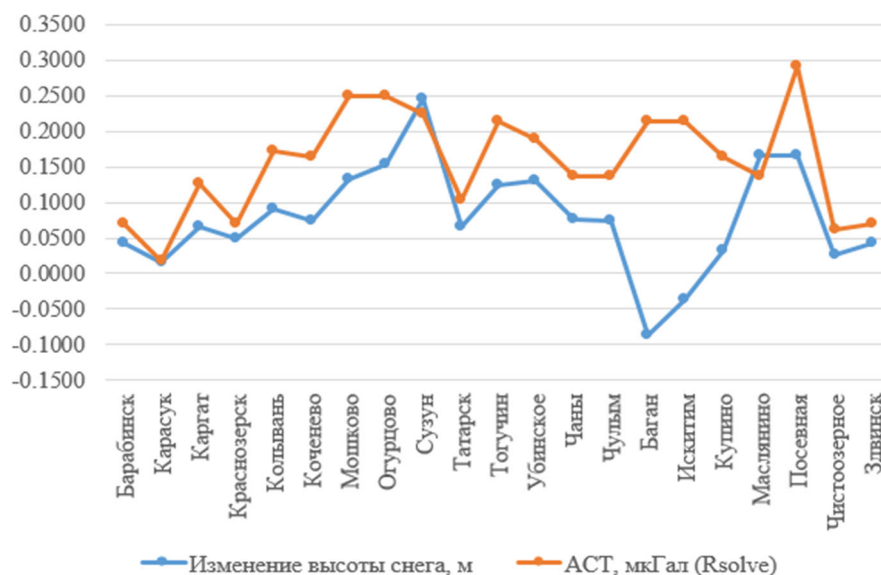


Рис. 4. График значений изменения высоты снега и изменения АСТ за декабрь–январь 2020–2021 гг.

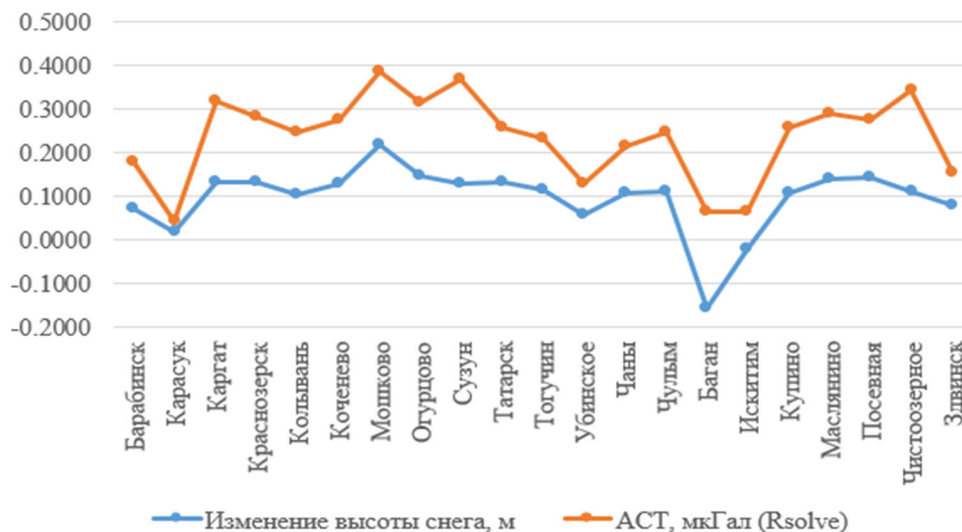


Рис. 5. График значений изменения высоты снега и изменения АСТ за январь–февраль 2021 года

Анализируя результаты, приведенные на рисунках 2–5, можно сделать вывод о наличии корреляции между изменениями высоты снежного покрова и изменениями АСТ в зимние периоды 2019–2021 гг. Коэффициент корреляции выше 0,9, вычисленный в программе Excel, составил 67% от общего числа пунктов, что говорит о значительной зависимости между изменениями АСТ и изменениями высоты снега, наблюдаемой на 14 станциях.

Заключение

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

– влияние различных геодинамических факторов на результаты АСТ является существенным, при этом вклад снежного покрова – незначительный;

– величина изменения аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием твердых осадков в виде снежного покрова, требует ее учета при выполнении высокоточных гравиметрических работ;

– исследование выявило выраженную взаимосвязь между высотой снежного покрова и вызванными им изменениями аномалий силы тяжести.

Снежный покров оказывает значительное влияние на результаты гравиметрических работ, искажая измерения аномалий силы тяжести из-за изменения распределения масс на поверхности Земли. Современное гравиметрическое оборудование, обладающее высокой точностью (порядка 5 мкГал), позволяет регистрировать даже небольшие изменения силы тяжести, вызванные снежным покровом. Поэтому для получения достоверных результатов при гравиметрических исследованиях необходимо учитывать и моделировать влияние снега, используя данные о его плотности и толщине.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Канушин В. Ф. Современные проблемы физической геодезии / Канушин В. Ф., Ганагина И. Г. – Новосибирск. СГГА. – 2013. – 123 с. – ISBN: 978-5-87693-665-3. – Текст : непосредственный.

2. Костына. Ю. Г. Сезонные изменения силы тяжести, обусловленные снежным покровом / Ю. Г. Костына // Повторные гравиметрические наблюдения: сборник научных трудов. – Москва. 1986. – С. 68–70. – ISSN: 1792-0829. – Текст : непосредственный.

3. ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» [Электронный ресурс] // <http://www.meteo-nso.ru/gidarticles> : [сайт]. – URL: <http://www.meteo-nso.ru/> (дата обращения : 12.03.2025). – Режим доступа : общий доступ.

4. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) [Электронный ресурс] // <https://icgem.gfz-potsdam.de/home> : [сайт]. – URL: <https://icgem.gfz-potsdam.de/sl/temporal> (дата обращения : 10.02.2025). – Режим доступа : общий доступ.

5. 2020618429 Российская Федерация. SINTEGRAV ver. 1.0 / Голдобин Д.Н., Канушин В.Ф., Косарев Н.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» – № 2020617685; заявл. 14.07.2020; опубл. 28.07.2020; Бюл. № 8.

© Ю. П. Кижеватова, И. Г. Ганагина, 2025