

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

И. Г. Ганагина

## ГРАВИМЕТРИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума  
для обучающихся по направлению подготовки  
21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, профиль «Геодезия»  
(уровень бакалавриата)

Новосибирск  
СГУГиТ  
2024

УДК 528.27  
Г19

Рецензенты: советник генерального директора ППК «Роскадастр», доктор технических наук, профессор *Е. М. Мазурова*  
кандидат технических наук, доцент СГУГиТ *Д. Н. Голдобин*

**Ганагина, И. Г.**

Г19      Гравиметрия : практикум / И. Г. Ганагина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 117 с. – Текст : непосредственный.  
ISBN 978-5-907513-72-3

Практикум подготовлен кандидатом технических наук, доцентом И. Г. Ганагиной на кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ.

Издание по дисциплине «Гравиметрия» содержит основные теоретические сведения, порядок выполнения лабораторных работ с примерами, необходимые исходные данные, контрольные вопросы, шаблоны ведомостей и таблиц.

Практикум «Гравиметрия» предназначен для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, профиль «Геодезия» (уровень бакалавриата).

Практикум рекомендован к изданию кафедрой космической и физической геодезии, Ученым советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.27

ISBN 978-5-907513-72-3

© СГУГиТ, 2024

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение .....	4
Лабораторная работа № 1. Статический метод определения силы тяжести.....	6
Лабораторная работа № 2. Вычисление аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и редукцией Буге. Создание гравиметрических карт аномалий силы тяжести средствами ГИС .....	56
Лабораторная работа № 3. Определение фундаментальных геодезических постоянных по гравиметрическим данным.....	76
Библиографический список.....	86
Приложение 1 .....	89
Приложение 2 .....	90
Приложение 3 .....	92
Приложение 4 .....	99
Приложение 5 .....	109
Приложение 6 .....	112
Приложение 7 .....	116

## **ВВЕДЕНИЕ**

Гравиметрия – это наука об измерении характеристик гравитационного поля Земли и использовании их в различных областях науки, техники, экономики [1]. Современные методы изучения гравитационного поля Земли (ГПЗ), аппаратура и методы обработки измерений позволили повысить точность и детальность гравиметрической информации и значительно расширили области практического применения гравиметрии. На современном этапе развития государства результаты изучения гравитационного поля востребованы не только в геодезии, геодинамике, геофизике, геологоразведке и решении вопросов обороноспособности, но и при решении задач автономной навигации, сейсмологии, климатологии, метеорологии, гидрологии и др.

В связи с этим неудивительно, что повышается спрос на высококвалифицированные кадры, способные выполнять измерения, обработку и интерпретацию характеристик гравитационного поля для решения научных и прикладных задач экономики и обороноспособности государства. Сибирский государственный университет геосистем и технологий ведет подготовку по образовательной программе «Геодезия» направления 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, в учебном плане которой предусмотрена дисциплина «Гравиметрия». Курс гравиметрии читается в НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ с первых дней создания вуза. За эти годы собрана различная гравиметрическая аппаратура, выполнен большой объем научных исследований, накоплен богатый опыт проведения лекций, лабораторных работ [2–6]. Однако в настоящее время назрела насущная необходимость в обновлении методической литературы для проведения лабораторных работ с учетом современных подходов к изучению гравиметрии, использования современной аппаратуры и обновления исходной гравиметрической информации на основе открытых источников данных и их анализа.

В практикуме кратко изложены основные теоретические сведения, устройства гравиметров ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV, методики: проведе-

ния гравиметрических измерений, их обработки и оценки точности, вычисления аномалий силы тяжести с редукциями за свободный воздух и Буге с последующим построением гравиметрических карт средствами ГИС «Панорама», определение фундаментальных геодезических постоянных по гравиметрическим данным.

Исходные гравиметрические данные для выполнения лабораторных работ смоделированы на основе результатов вычисления онлайн-калькулятора, представленного на сайте ICGEM [7] в открытом доступе.

Результаты лабораторных работ необходимо представлять в форме отчета в соответствии с требованиями СТО «СГУГиТ» [8].

# **Лабораторная работа № 1**

## **СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ**

**Цель лабораторной работы.** Освоить статический метод определения силы тяжести с помощью гравиметров ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV.

### **Содержание лабораторной работы**

Лабораторная работа состоит из пяти последовательно выполняемых этапов.

1. Изучение устройства относительных гравиметров ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV. Получение практических навыков измерения силы тяжести.

2. Подготовка гравиметра к работе. Выполнение исследования гравиметра ГНУ-КВ.

3. Выполнение гравиметрического рейса с гравиметрами ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV.

4. Выполнение обработки гравиметрических рейсов и оценка полученных результатов.

5. Анализ полученного опыта определения силы тяжести статическим методом. Выводы. Ответы на контрольные вопросы.

**Время выполнения:** аудиторные занятия – 20 часов, самостоятельная работа – 20 часов.

### **Этап 1. Изучение устройства относительных гравиметров ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV. Получение практических навыков измерения силы тяжести**

#### *Основные теоретические сведения*

Измерение ускорения силы тяжести осуществляется двумя видами методов: динамическими и статическими. При динамических методах наблюдается движение тела в гравитационном поле. Измеряемой величиной при этом является промежуток времени, в течение которого тело переместится из одного фиксированного положения в другое. В статических методах

наблюдается положение статического равновесия постоянной массы в гравитационном поле под действием двух сил: силы тяжести и компенсирующей силы упругих пружин и нитей, которая является эталонной, постоянной во времени и противоположной по знаку. Измеряемая величина – линейное или угловое смещение массы.

Гравиметры типа ГНУ-К (производство России) и AUTOGRAV (производство Канады) выполняют измерение силы тяжести статическим методом. В результате измерения получают относительные значения силы тяжести – приращение (изменение) силы тяжести между двумя гравиметрическими пунктами.

Гравиметры ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV служат для выполнения наземных гравиметрических съемок. Главной частью гравиметра, позволяющей определять приращение ускорения силы тяжести, является чувствительная упругая система, изготовленная из плавленого кварца. Чувствительные системы гравиметров подразделяются на астазированные и неастазированные. Гравиметр типа ГНУ-К имеет астазированную чувствительную систему, гравиметр CG-6 AUTOGRAV – неастазированную. Чувствительность неастазированных систем линейна на всем диапазоне измерений. У астазированной системы чувствительность нелинейная. Это обстоятельство учитывают при подготовке гравиметра к работе и при выполнении съемки.

Гравиметр – высокоточный чувствительный прибор, нуждающийся в бережном обращении при эксплуатации.

*Гравиметр типа ГНУ-К.* Гравиметр ГНУ-К – статический наземный кварцевый узкодиапазонный механический астазированный гравиметр с вращательным перемещением масс. Гравиметр типа ГНУ-К долгое время использовался для решения задач геодезии, геологии, геофизики и гидроакустики благодаря высокой чувствительности, точности и производительности при выполнении гравиметрических измерений.

На смену ему пришел ГНУ-КВК – гравиметр наземный с кварцевой чувствительной системой и компьютерным управлением.

Вид гравиметра ГНУ-КВ приведен на рис. 1.1.

Чувствительная система кварцевых астазированных гравиметров основана на принципе вертикального сейсмографа Голицына (рис. 1.2). На кварцевой нити 1 закреплен горизонтально расположенный маятник 2 с массой  $m$  на конце.



a)

б)

Рис. 1.1. Гравиметр ГНУ-КВ:

а) гравиметр с аккумулятором на опорном гравиметрическом пункте (ОГП) № 0165; б) карандашный рисунок гравиметра, выполненный студентом группы ПГ-31 П. П. Мурзинцевым

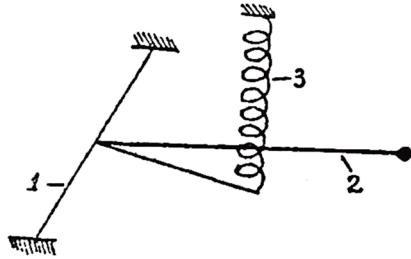


Рис. 1.2. Принципиальная схема вертикального сейсмографа Голицына [2]:

1 – тонкая кварцевая нить; 2 – рычаг с массой; 3 – главная пружина

В горизонтальном положении маятник удерживается силой закручивания нити подвеса маятника и силой натяжения главной пружины 3, нижний конец которой прикреплен к маятнику. При изменении силы тяжести маятник с массой отклоняется от своего горизонтального положения, изменяя натяжение главной пружины и закручивая нить подвеса до тех пор, пока сила тяжести не будет компенсирована силой упругой деформации главной пружины и нитей подвеса.

При измерении силы тяжести маятник гравиметра приводится в горизонтальное положение введением дополнительной силы, компенсирующей изменение силы тяжести и являющейся мерой измерения ускорения силы тяжести. Для фиксации горизонтального положения маятника устанавливается индекс отсчетной шкалы [2].

Гравиметр состоит из следующих систем (рис. 1.3):

- упругой;
- измерительной;
- нивелирования;
- электрической;
- оптической;
- диапазонной;
- вакуумирования;
- термостатирования.

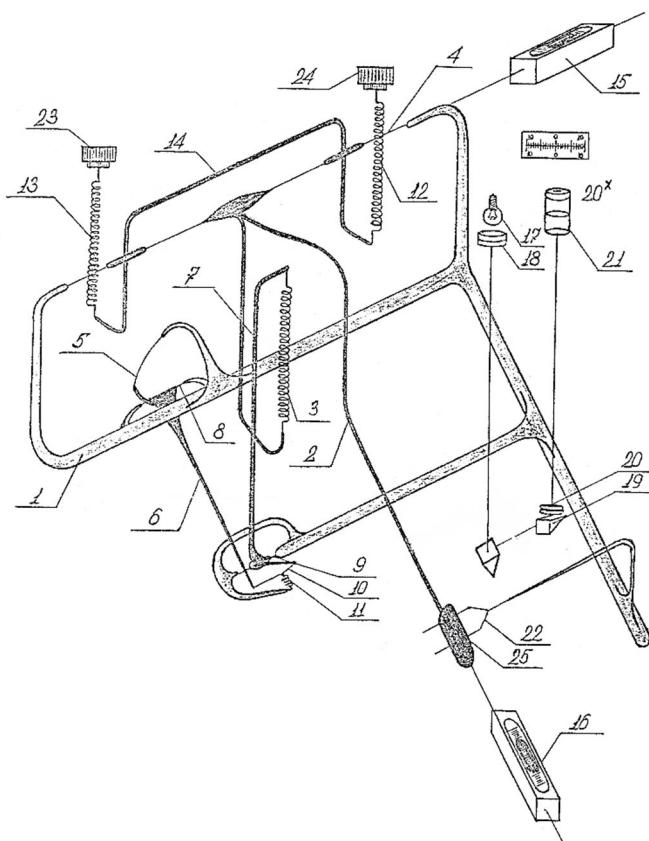


Рис. 1.3. Схема систем гравиметра ГНУ КВ [6]  
(рисунок студента группы ПГ-31 П. П. Мурзинцева):

1 – кварцевая рамка; 2 – маятник; 3 – главная пружина; 4 – кварцевая нить; 5 – медная проволока; 6 – горизонтальный стержень температурного компенсатора; 7 – рычаг температурного компенсатора; 8 – кварцевые нити температурного компенсатора; 9, 10 и 11 – стержень и нити температурного компенсатора; 12 – измерительная пружина; 13 – диапазонная пружина; 14 – измерительная рамка; 15 – попеченный уровень; 16 – продольный уровень; 17 – электрическая лампочка; 18 – конденсор; 19 – призмы; 20 – объектив; 21 – окуляр; 22 – ограничитель; 23 – диапазонный винт; 24 – микрометренный винт; 25 – платиновый грузик массой  $m$

*Упругая система* является главной частью гравиметра. Основные элементы упругой системы: чувствительный элемент – вертикальный сейсмограф Голицына; три пружины – главная (астазирующая), измерительная и диапазонная; температурный компенсатор (см. рис. 1.3) [2, 6].

*Нивелирование гравиметра* выполняется по двум цилиндрическим уровням: поперечному и продольному, расположенным во взаимно перпендикулярных плоскостях (см. рис. 1.3), с помощью трех подъемных винтов, расположенных по окружности друг относительно друга через 120 градусов. Поперечный уровень контролирует горизонтальное положение нити подвеса маятника. Продольный уровень контролирует горизонтальное положение маятника. Ось поперечного уровня параллельна нити подвеса маятника, ось продольного уровня параллельна маятнику. Установка поперечного уровня осуществляется по двум подъемным винтам. Линия, соединяющая их, является параллельной оси уровня. Пузырек продольного уровня выводится на середину третьим подъемным винтом.

Для функционирования *электрической системы* используется автомобильный аккумулятор типа СГД-5 емкостью 10 ампер-часов или плоские батареи для карманного фонаря с выходным напряжением 4,5 В и электрическая лампочка.

*Оптическая система* гравиметра состоит из конденсора, который создает равномерное распределение светового потока от электрической лампочки, стеклянных призм, объектива и окуляра с увеличением 20 крат, который позволяет наблюдать изображение индекса маятника, представляющего собой тонкую кварцевую иглу, на окулярной шкале (см. рис. 1.3).

*Измерительная система* определяет величину отклонения маятника от горизонтального положения при изменении силы тяжести и является мерой измерения ускорения силы тяжести. Основными элементами измерительного устройства являются микрометренный винт, измерительная пружина и отсчетное устройство.

*Диапазонная система* состоит из диапазонной пружины и диапазонного винта и служит для перестройки диапазона измерения силы тяжести.

*Система вакуумирования* состоит из вакуумного насоса и крана для откачки воздуха из камеры с чувствительной системой гравиметра. Система позволяет исключить влияние давления воздуха и температуры на результат измерения силы тяжести.

*Система терmostатирования* позволяет исключение влияния температуры на показания прибора за счет использования:

- сосуда Дьюара – стеклянной колбы с двойными стенками, между которыми откачен воздух;
- цилиндра из пенопласта;
- шерстяного чехла;
- зеркальной поверхности верхнего кожуха гравиметра;
- температурным компенсатором чувствительной системы гравиметра.

В шерстяной чехол, сосуд Дьюара и цилиндр из пенопласта помещают внутренний корпус гравиметра, в котором находится чувствительная система. Солнечные лучи отражает зеркальная поверхность кожуха гравиметра, остаточный температурный эффект исключается температурным компенсатором. Для полного учета влияния температуры на показания гравиметра вводят поправку за температуру, используя показания ртутного термометра, расположенного внутри прибора. Цена деления термометра  $0,5^{\circ}$ .

Гравиметр типа ГНУ-К обладает высокой чувствительностью к изменению ускорения силы тяжести и характеризуется высокой производительностью работ. Наряду с отмеченными достоинствами гравиметры не лишены принципиальных недостатков, из которых главным является изменение упругих свойств материала, используемого для изготовления чувствительной системы, с течением времени. Это вызывает непрерывное изменение отсчета гравиметра, которое называют смещением нуль-пункта. Кроме того, измерение разности ускорения силы тяжести выполняется в условной системе единиц измерительного устройства. В связи с этим возникает задача эталонирования (определения цены деления) гравиметра.

Указанные недостатки приводят к необходимости тщательных исследований гравиметров и определяют методику организации гравиметрических съемок [2, 6, 9–11].

*CG-6 AUTOGRAV*. В настоящее время основным гравиметром, применяемым для выполнения полевых гравиметрических съемок различного назначения, является гравиметр AUTOGRAV, разработанный фирмой

Scintrex Limited. CG-6 AUTOGRAV – современная модификация относительного автоматизированного широкодиапазонного неастазированного гравиметра, имеющего собственную операционную систему и современный интуитивно понятный пользовательский интерфейс.

В руководстве по эксплуатации гравиметра CG-6 AUTOGRAV [12] в доступной форме описана технология использования прибора при выполнении гравиметрических работ. В руководстве дан обзор основных составных частей гравиметра, описаны интерфейс, основное меню и главная панель, приведен порядок подготовки прибора к работе и процесс выполнения съемки и записи результатов. Также в руководстве приведены рекомендации по оптимизации проведения гравиметрической съемки для получения более качественных результатов.

Поэтому в практикуме приведены основные положения, необходимые для знакомства с возможностями гравиметра CG-6 AUTOGRAV при выполнении учебного гравиметрического рейса и обработки результатов измерений.

К основным элементам CG-6 AUTOGRAV можно отнести три датчика (сенсора):

- гравитационный, который измеряет изменение ускорения силы тяжести;
- температурный, измеряющий изменение температуры блока, в котором находится гравитационный датчик;
- наклона – двухосный датчик, определяющий наклон вертикальной оси прибора по уровням  $X$  и  $Y$ .

Датчики оснащены аналого-цифровым преобразователем, который позволяет получать показания в цифровом виде. Полученные показания гравиметр автоматически преобразует в требуемую размерность:

- гравитационного датчика – в мГал;
- температурного – в градусы Кельвина ( $K^\circ$ );
- наклона – в угловые секунды (арксекунды (arc-sec)).

К достоинствам и особенностям работы гравиметра можно отнести:

- среднюю квадратическую погрешность измерений ускорения силы тяжести до 5 мкГал;

- применение компенсационного способа измерения силы тяжести: действие силы тяжести на пробную массу уравновешивается кварцевой пружиной и электростатической силой;
- высокую разрешающую способность при снятии показаний, составляющую 0,1 мкГал;
- автоматическую фиксацию отсчета с частотой до 10 Гц;
- вес 5,5 кг с аккумуляторными батареями;
- автоматический контроль наклона инструмента на основе данных встроенного датчика наклона;
- рабочий диапазон, составляющий более 8 000 мГал и позволяющий выполнять измерения в любой точке на земной поверхности без его перестройки;
- мерой разности значения ускорения силы тяжести является напряжение обратной связи, полученное под воздействием электростатической силы на пробную массу при возвращении ее в исходное положение, преобразованное в цифровой сигнал;
- наличие системы сбора данных, обработки и хранения;
- доступ к записанной измерительной информации, осуществляющийся при подключении гравиметра к компьютеру по каналам связи средствами операционной системы;
- ограничители движения пробной массы в сочетании с прочностью и упругостью плавленого кварца позволяют работать без арретира;
- определение местоположения пункта наблюдения с точностью до 3 м по данным глобальной спутниковой навигационной системы благодаря встроенному GPS-приемнику;
- автоматическое введение поправок за влияние лунно-солнечных приливов, наклон прибора, температуру;
- удаление микросейсмического шума с помощью сейсмического фильтра.

Вид гравиметра CG-6 AUTOGRAV приведен на рис. 1.4.

На рис. 1.5 показана панель управления прибора. Она состоит из главного экрана и клавишной панели для ввода параметров и записи данных.

Главный экран гравиметра содержит дисплей для просмотра меню и результатов измерения (рис. 1.6).



Рис. 1.4. Цифровой гравиметр CG-6 AUTOGRAV

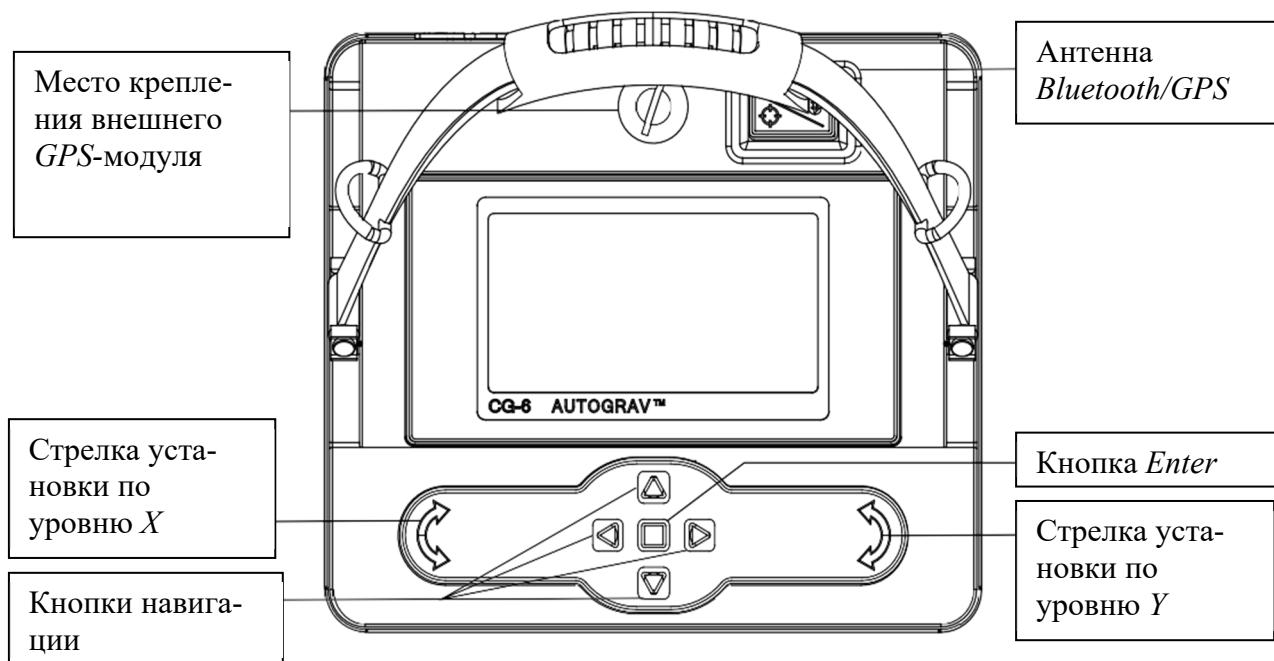


Рис. 1.5. Панель управления и клавишиная панель прибора CG-6 AUTOGRAV



Рис. 1.6. Главный экран прибора CG-6 AUTOGRAV

В верхней части главного экрана (рис. 1.7) отображается процент заряда каждой батареи, дата и время, таймер (оставшаяся длительность измерения текущего цикла в секундах, отсчитывается во время записи), состояние счетчика (в режиме *IDLE* или *RECORDING*) и количество циклов, запрограммированных для снятия показаний.



Рис. 1.7. Верхняя часть главного экрана

В средней части экрана (рис. 1.8) предыдущие результаты измерений отображаются по порядку. Последнее измеренное значение находится внизу списка. На экране отображаются: название пункта наблюдения, но-

мер профиля, результаты измерений и отметка времени снятия отсчета. Эти результаты измерения уже сохранены в памяти.

637D	0	5616.2162	04:09:36
637D	0	5616.2165	04:10:36
637D	0	5616.2177	04:11:36
637D	0	5616.2159	04:12:36
637D	0	5616.2140	04:13:36

Имя пункта

Номер профиля

Измерения

Отметка времени

Рис. 1.8. Средняя часть главного экрана

Под горизонтальной сплошной линией, в средней части главного экрана (рис. 1.9), отображается текущий пункт наблюдения и его очередьность в списке пунктов, а также номер профиля, значение показаний в миллигалах (mGal). Под ними, строчкой ниже, – стандартное отклонение результатов измерений ( $SDev$ ), используемых для расчета показаний, и стандартная ошибка ( $SErr$ ), которая определяется по формуле

$$SErr = \frac{SDev}{\sqrt{N}}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – количество измерений.

Наклон оси  $X$  в аркsekундах отображается с левой стороны, а наклон оси  $Y$  в них же – с правой.

Номер пункта наблюдения в очереди	Имя пункта	Номер профиля	Значение показаний
001/001	637D	0	5616.2244 mGal
-6	SErr 0.0038/0.0229 sdev	+1	
	Наклон по X	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение
			Наклон по Y

Рис. 1.9. Информация под горизонтальной сплошной линией в средней части главного экрана

В нижней части экрана расположены пункты меню, содержащие наиболее часто используемые задачи (рис. 1.10). Опции меню «+» и «-» позволяют переходить к следующему и предыдущему пунктам соответственно.

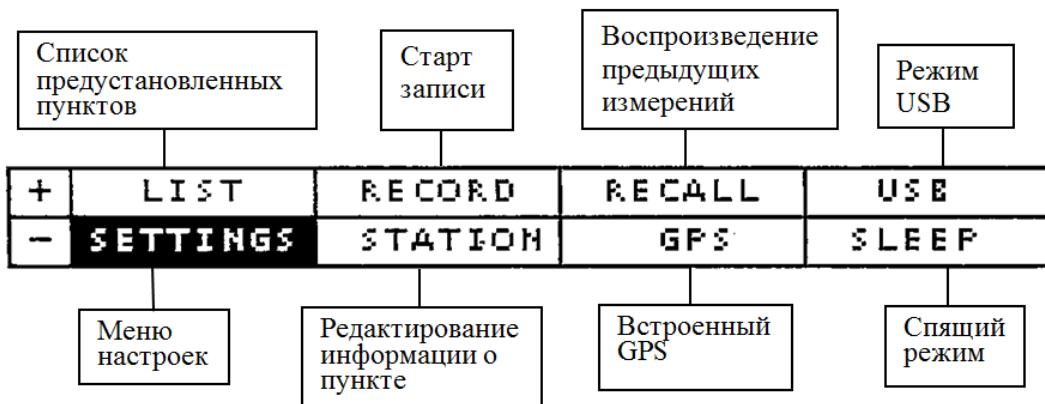


Рис. 1.10. Меню главного экрана

Перемещение курсора осуществляется при помощи кнопок навигации (рис. 1.11).

Измерения силы тяжести с гравиметром CG-6 AUTOGRAV выполняются по схеме:

- гравиметрический рейс начинается и заканчивается на исходном пункте;
- перед началом гравиметрического рейса выполняется настройка параметров съемки:

1) название съемки – комбинация буквенно-цифровых символов по количеству не более 31;

2) число циклов – количество успешных повторений отсчетов прибора на данном пункте наблюдения. Этот параметр может принимать любое значение в интервале от 1 до бесконечности;

3) длительность цикла измерения, которую можно задать равной 15, 30, 60 или 120 с;

в) установка гравиметров на пункте (станции) на треногу, в настройке параметров указывается наименование пункта;

г) гравиметр приводится в горизонтальное положение по цифровым показаниям уровня по осям  $X$  и  $Y$ , отображаемым в арксеундах и стрелками выравнивания указывающим направление, в котором необходимо вращать регулировочные винты треноги для выравнивания прибора в горизонтальной плоскости;

д) запускается запись измерений ускорения силы тяжести;

е) по окончании измерения прибор переносится на следующую станцию. Гравиметрический рейс заканчивается замыканием на исходном пункте.

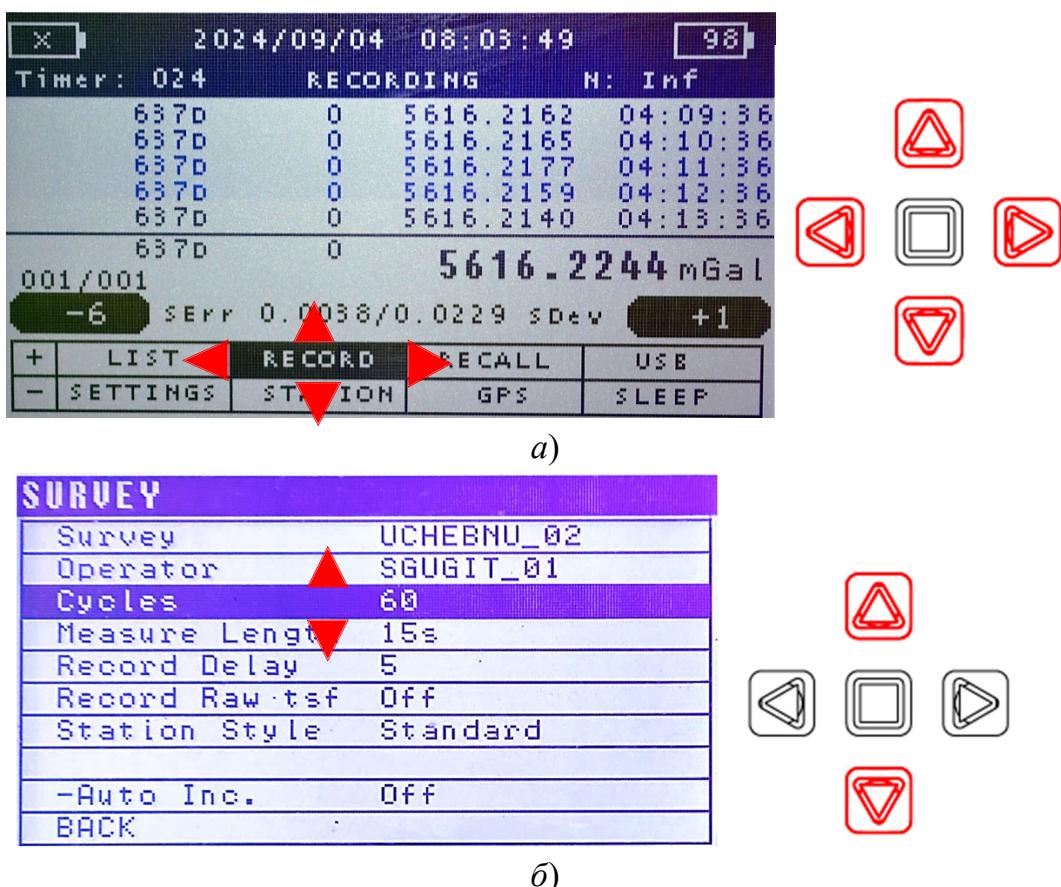


Рис. 1.11. Перемещение курсора между пунктами меню:

- а) между задачами меню главного экрана; б) между опциями подпунктов меню

С помощью встроенного программного обеспечения выполняется предварительная обработка результатов для каждого измерения, и в измеренное значение (показания гравитационного датчика) вносятся поправки:

- за изменение температуры гравитационного датчика;
- за наклон прибора.

Оснащение гравиметра ГНСС-приемником позволяет получать координаты и точное время (UTC). Эти данные используются для автоматического вычисления и внесения поправки за приливное влияние Луны и Солнца.

Результаты измерений гравиметр CG-6 AUTOGRAV сохраняет во внутренней энергонезависимой памяти в виде текстового табулированного файла CG-6\_XXXX\_SurveyName.DAT. В названии файла «XXXX» – последние 4 цифры серийного номера прибора. Режим USB гравиметра позволяет при подключении к компьютеру скачать файлы измерений.

Гравиметр CG-6 AUTOGRAV сохраняет результаты измерений двух видов:

- «сырые данные» – показания датчиков (сенсоров), которые используются для специальной обработки данных, определения коэффициентов и масштабов датчиков, калибровки прибора;
- предварительно обработанную информацию в необходимой размерности для дальнейшей обработки и контроля измерений.

## **Порядок выполнения работы**

### *1. Приобретение практических навыков работы с гравиметром ГНУ-К*

1. Изучить расположение всех винтов гравиметра и научиться брать отсчеты по отсчетному устройству.
2. Привести гравиметр в рабочее положение, то есть вывести пузырьки продольного и поперечного уровней на середину, вращением микрометрического винта вывести индекс маятника в поле зрения окуляра, убедиться в правильности расположения этого индекса относительно шкалы и в четкости его изображения.
3. Навести индекс маятника на нулевой штрих шкалы, взять 3 отсчета по отсчетному устройству гравиметра и записать в журнал.

На рис. 1.12 представлено отсчетное устройство и приведен отсчет в оборотах микрометренного винта.

Образец журнала измерения силы тяжести с гравиметром приведен в табл. 1.1.



Рис. 1.12. Отсчетное устройство гравиметра ГНУ-КВ. Отсчет в оборотах равен 7,516

*Таблица 1.1*  
Журнал измерений с гравиметром ГНУК-В № 468

Наименование пункта	Время отсчета $T_i$	Температура $t^{\circ}\text{C}$	Отсчет $S_i$	Средний отсчет $\bar{S}_i$	Наблюдатель
1	2	3	4	5	6
ОГП 0165	11 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	20,5	7,514	7,516	Г. В. Антоненко
			7,516		
			7,512		

*2. Приобретение практических навыков работы  
с гравиметром CG-6 AUTOGRAV*

1. Изучить особенности устройства гравиметра и установки главного меню, необходимые для выполнения гравиметрической съемки.
2. Выполнить необходимые установки: название пункта, имя оператора, количество циклов, длительность цикла измерений, ввести значение задержки начала записи данных.
3. Привести гравиметр в рабочее положение – установить прибор по уровню.
4. Выполнить измерения силы тяжести на пункте.

## *Материалы, представляемые в отчете*

1. Кратко описать устройство гравиметра ГНУ-КВ. Привести журнал результатов измерений.

2. Кратко описать устройство гравиметра CG-6 AUTOGRAV.

### **Этап 2. Подготовка гравиметра к работе.**

#### **Выполнение исследования гравиметра ГНУ-КВ**

##### *Основные теоретические сведения*

Перед проведением полевых гравиметрических работ необходимо выполнять исследования и поверки гравиметров [6, 10, 13].

Исследования гравиметра начинают с внешнего осмотра прибора, состояния корпуса, проверки работоспособности электрической, оптической и измерительной систем.

Подготовка гравиметра к работе предусматривает следующие виды работ:

- исследование уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону – поверка уровней;
- эталонирование – определение цены оборота отсчетного устройства;
- определение верхнего предела изменения силы тяжести без перестройки диапазона;
- определение смещения нуль-пункта гравиметра;
- определение длительности переходного процесса;
- определение чувствительности гравиметра;
- определение нелинейности отсчетной шкалы микрометренного винта гравиметра.

*1. Исследование уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону – поверка уровней (продольного и поперечного).*

Поперечный уровень контролирует горизонтальное положение нити подвеса маятника. Продольный уровень контролирует горизонтальное положение маятника.

Исследование уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону заключается в проверке соответствия нулевого положения уровней горизонтальному положению упругой системы. После приведения пу-

зырьков продольного и поперечного уровней в нуль-пункт главная плоскость гравиметра, образованная элементами упругой системы – маятником и нитью подвеса маятника, при правильной установке уровней примет горизонтальное положение. Отсчет по гравиметру будет соответствовать реальной величине приращения силы тяжести, а чувствительность гравиметра к наклону будет минимальной.

Если уровни установлены правильно, то после приведения их пузырьков в нуль-пункт плоскость, образованная нитью подвеса 3 и осью маятника 2 (при совмещении индекса с нулевым штрихом в поле зрения окуляра 21) займет горизонтальное положение (см. рис. 1.3).

При исследовании поперечного уровня выбирают один из подъемных винтов, параллельно которым расположен уровень. Исследование продольного уровня выполняют, наклоняя гравиметр подъемным винтом, вдоль которого расположен уровень.

## 2. Эталонирование.

У гравиметра ГНУ-КВ измерение ускорения силы тяжести выполняется в условной системе единиц измерительного устройства. В связи с этим возникает задача определения цены деления измерительного устройства – масштабного коэффициента гравиметра [11]. Определение масштабного коэффициента гравиметра и его зависимость от температуры называется эталонированием гравиметра.

Кроме того, при эталонировании исследуют нелинейность отсчетной шкалы, т. е. систематическую зависимость постоянной гравиметра от отсчета [11].

Определение цены оборота измерительного винта гравиметра (масштабного коэффициента гравиметра) возможно несколькими способами [6].

1. На пунктах с известными значениями силы тяжести. Определить цену деления гравиметра, используя для измерения пункты, значения силы тяжести на которых известны, можно по формуле

$$C = \frac{\Delta g}{\Delta S}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta g$  – приращение силы тяжести между пунктами, мГал;

$\Delta S$  – разность отсчетов по гравиметру между пунктами, в оборотах микрометра;

2. Метод наклона. В основу метода положена косинусоидальная зависимость изменения силы тяжести от угла наклона гравиметра. При наклоне гравиметра на угол  $\beta$  относительно горизонта отсчеты по микрометренному винту увеличиваются так, как будто сила тяжести  $\Delta g$  уменьшается на величину:

$$\Delta g = g \frac{\beta^2}{2}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta g$  – кажущееся изменение силы тяжести;

$g$  – абсолютное значение силы тяжести на пункте, мГал.

Угол наклона  $\beta$  можно задать с помощью подъемных винтов гравиметра. Тогда изменение силы тяжести можно определить по формуле

$$\Delta g = g \frac{a^2}{2} \frac{n^2}{d^2} = k \cdot n_T^2, \quad (1.4)$$

где  $n_T^2$  – число оборотов установочного винта гравиметра при угле наклона, в делениях;

$k$  – коэффициент, вычисленный по формуле

$$k = 0,5g(a/d)^2, \quad (1.5)$$

где  $a$  – шаг установочного винта ( $a = 0,75$  мм);

$d$  – база гравиметра ( $d = 125$  мм);

$g$  – абсолютное значение силы тяжести на пункте.

Так как

$$\Delta g = C(S_o - S_\beta) = C \cdot \Delta S,$$

то

$$C \cdot \Delta S = k \cdot n_T^2$$

и

$$C = \frac{k \cdot n_T^2}{\Delta S}, \quad (1.6)$$

где  $S_o - S_\beta$  – отсчеты по гравиметру при его горизонтальном положении и при наклоне на угол  $\beta$ ;

$C$  – цена оборота отсчетного устройства гравиметра, мГал/обор.

Для определения цены деления отсчетного устройства методом наклона разработаны установка эталонирования гравиметров (УЭГ) и установка эталонирования гравиметров полевая (УЭГП). Кроме определения масштабного коэффициента гравиметра метод наклона позволяет выполнять детальное исследование шкалы гравиметра: определение нелинейности отсчетной шкалы гравиметра; зависимость цены деления от температуры; изменение цены деления с течением времени [10, 14].

3. Метод навешивания дополнительной массы. Данный метод эталонирования используют в процессе изготовления гравиметров.

Эталонирование гравиметров выполняется до начала полевого сезона и после его окончания: в течение полевого сезона эталонирование проводится при наличии данных об изменении постоянной гравиметра, например, после его ремонта.

### *3. Определение диапазона.*

В соответствии с ГОСТ [15] верхний предел измерений без перестройки диапазона – это «максимальное значение разности силы тяжести, которое может быть измерено данным гравиметром с нормированной погрешностью без перестройки диапазона измерений гравиметра».

Перед выполнением полевых работ определяют соответствие верхнего предела диапазона измерения силы тяжести без его перестройки характеристике, заявленной в паспорте гравиметра. Это позволит спланировать наблюдения на территории проведения гравиметрической съемки.

Для определения диапазона необходимо установить по отсчетной шкале гравиметра минимальный и максимальный отсчет, с помощью диапазонного устройства вывести блик маятника в поле зрения окуляра.

По результатам измерений вычислить диапазон гравиметра [13]

$$\Delta g = |C \cdot (S_{\max} - S_{\min})| \geq 80 \text{ мГал}, \quad (1.7)$$

где  $C$  – цена оборота отсчетного устройства гравиметра, мГал/обор.;

$S_{\max}$  и  $S_{\min}$  – максимальный и минимальный отсчеты по микрометрено-ному винту, обор.

Полученное значение должно быть более 80 мГал [13].

При особых условиях полевых работ допускается перенастройка диапазона гравиметра.

#### *4. Определение чувствительности гравиметра.*

Изменение деформации упругой системы, вызванное изменением ускорения силы тяжести, называется чувствительностью гравиметра [11]. Чувствительность определяют после исследования уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону.

В соответствии с ГОСТ чувствительность гравиметра ГНУ-КВ определяют как отношение величины перемещения индекса маятника по окулярной шкале – количество делений окулярной шкалы – к ускорению силы тяжести [2, 13]. Оптимальной считается чувствительность, при которой маятник остается устойчивым на всей окулярной шкале гравиметра и равна 0,1–0,8 мГал на деление окулярной шкалы.

Если гравиметр имеет низкую чувствительность при совмещении маятника с нулевым штрихом окулярной шкалы, необходимо увеличить чувствительность гравиметра, приняв в качестве исходного десятый штрих в сторону увеличения силы тяжести. Выполнить настройку уровней на минимум чувствительности гравиметра к наклону с десятым отсчетным штрихом. После этого еще раз определить чувствительность гравиметра.

#### *5. Определение длительности переходного процесса.*

Длительность переходного процесса (время становления отсчета) – время, необходимое для установления отсчета показаний гравиметра в положение, соответствующее значению силы тяжести в данном пункте с нормированной погрешностью [15]. В процессе эксплуатации гравиметра чувствительная система испытывает упругие деформации и действие переменных нагрузок, например, в процессе транспортировки. Промежуток времени, необходимый для стабилизации отсчета, выявляют в ходе исследования, которое выполняют в соответствии с ГОСТ 13017–83 [13].

## *6. Определение смещения нуль-пункта гравиметра.*

Смещение нуль-пункта гравиметра, которое связано с изменением упругих свойств кварцевой чувствительной системы с течением времени, вызывает непрерывное изменение отсчета гравиметра [11]. Для измерения ускорения силы тяжести гравиметр используют при соблюдении основного требования: изменение смещения нуль-пункта  $\delta g_{\text{пп}}$  во времени должно быть линейным и не превышать значения, приведенного в ГОСТ [13]. Исследование смещения нуль-пункта выполняют перед полевыми измерениями, выявляют период времени, в течение которого смещение нуль-пункта линейно.

Определение смещения нуль-пункта:

$$\delta g_{\text{пп}} = \frac{\Delta g}{\Delta T} k_T, \quad (1.8)$$

где  $k_T$  – коэффициент смещения нуль-пункта;

$\Delta g$  – изменение силы тяжести по гравиметру на одном и том же пункте за интервал времени  $\Delta T$ ;

$\Delta T = T_k - T_h$  – разность моментов времени между началом  $T_h$  исследования и его окончанием  $T_k$ .

Коэффициент смещения нуль-пункта вычисляют по формуле

$$k_T = \frac{(S_n - S_1) \cdot C}{\Delta t}, \quad (1.9)$$

где  $S_n$  и  $S_1$  – отсчеты по гравиметру в оборотах;

$C$  – цена оборота отсчетного устройства гравиметра;

$\Delta t$  – интервал времени между отсчетами  $S_n$  и  $S_1$

$$\Delta t = T_n - T_1. \quad (1.10)$$

Коэффициент смещения нуль-пункта  $k_T$  можно определить аналитическим или графическим способом [6].

Смещение нуль-пункта  $\delta g_{\text{пп}}$  за сутки для гравиметров ГНУ-КВ и ГНУ-КС должно быть не более 2 мГал [13].

### 7. Определение нелинейности отсчетной шкалы микрометренного винта гравиметра.

Нелинейность отсчетной шкалы микрометренного винта гравиметра – переменное соотношение между приращением силы тяжести и приращением отсчета гравиметра в различных частях отсчетной шкалы (нелинейность цены деления по всему диапазону измерения) [15]. Определение нелинейности отсчетной шкалы микровинта гравиметра выполняют двумя методами: используя измерения на пунктах гравиметрического полигона и методом наклона на УЭГП.

При высокоточных наблюдениях в показания гравиметра вводятся шкаловые поправки, которые устраняют влияние нелинейности шкалы отсчетного устройства [11].

Основные поверки, исследования гравиметров типа ГНУ-К и параметры, которым они должны удовлетворять, приведены в табл. 1.2 согласно ГОСТ 13017–83 [13].

*Таблица 1.2*  
Гравиметры наземные. Общие технические условия

Название исследований и поверок гравиметров и их размерность	Норма для типа		
	ГНУ-К		
	Класс		
	A (I)	B (II)	C (III)
Верхний предел без перестройки диапазона, мГал	$d \geq 80$		
Верхний предел с перестройкой диапазона, мГал	$D \geq 6\,000$		
Длительность переходного процесса, мин	$t_{\text{cp}} \leq 3$		
Смещение нуль-пункта за сутки, мГал	0,5	2,0	2,0
Чувствительность $q$ , дел./мГал, не менее	7,0	5,0	2,5
Барометрический коэффициент $K_b$ , ( $10^{-5}$ мГал/Па), не более	1,1	1,3	1,6
Барометрический коэффициент, мм ( $10^{-3}$ мГал/мм рт. ст.), не более	1,5	1,7	2,1

Температурный коэффициент $\lambda_C$ , мГал/1°C, не более	$\lambda_C \leq 0,5$
---	----------------------

### *Порядок выполнения работы*

1. Внешний осмотр прибора. Результатом внешнего осмотра гравиметра является заключение о его рабочем состоянии.

2. Исследование уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону – поверка уровней (продольного и поперечного).

*Исследование поперечного уровня.* Гравиметр приводят в рабочее состояние: устанавливают на прочное основание, нивелируют – выводят пузырьки уровней на середину. Наклон гравиметру задают в делениях подъемных винтов прибора. Один из подъемных винтов поперечного уровня поворачивают на шесть делений против часовой стрелки, пузырек уровня уйдет из нулевого положения. Положение продольного уровня необходимо контролировать, он должен находиться в нуль-пункте. Маятник гравиметра совмещают с нулем отсчетной шкалы, по микрометренному винту берут отсчет  $S_1$  и записывают в ведомость (табл. 1.3). Затем, вращая тот же винт по часовой стрелке каждый раз на два деления, гравиметр возвращают в горизонтальное положение и берут отсчеты по микрометренному винту  $S_2 - S_4$ . Далее продолжают наклонять прибор, вращая подъемный винт по часовой стрелке, и берут отсчеты по микрометренному винту  $S_5 - S_7$ . Выполненные измерения составляют прямой ход. Последний отсчет в прямом ходе является первым отчетом для обратного хода. Обратный ход выполняется аналогичным образом, но подъемный винт вращают против часовой стрелки.

По прямому и обратному ходу вычисляется средний отсчет  $\bar{S}_i$ . По средним отсчетам и по установкам подъемного винта строится график зависимости отсчета по микрометренному винту  $\bar{S}_i$  от установки подъемного винта  $n$ . По оси абсцисс откладывают значения углов наклона  $n$  в оборотах подъемного винта, а по оси ординат – соответствующие средние значения по отсчетному устройству  $\bar{S}_i$ .

Полученная кривая представляет собой параболу. Вершина параболы указывает, при каком положении подъемного винта главная плоскость гравиметра горизонтальна.

*Исследование продольного уровня* осуществляется аналогично, но с помощью вращения подъемного винта, вдоль которого онложен.

*Юстировка уровней.* Если на графике зависимости отсчета по микрометренному винту  $\bar{S}_i$  от установки подъемного винта  $n$  вершина параболы не совпадает с нулем подъемного винта, необходимо выполнить юстировку уровня. Пузырек уровня приводят в нуль-пункт, а подъемный винт поворачивают на величину отстояния вершины параболы от нуля на горизонтальной шкале графика, при этом пузырек уровня уйдет из нуль-пункта. Вернуть пузырек на середину необходимо исправительными винтами уровня. Исследование уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону после юстировки повторяют. Продольный и поперечный уровни юстируют аналогичным образом.

*Пример выполнения исследования уровней гравиметра  
на минимум чувствительности к наклону – поверка уровней  
(продольного и поперечного)*

Результаты исследования продольного уровня приведены в табл. 1.3.

*Таблица 1.3*

Результаты исследования продольного уровня гравиметра ГНУ-КВ № 73

$n$ , дел.	$S$ , обор.
0,6	9,107
0,4	8,547
0,2	8,170
0,0	8,043
-0,2	8,101
-0,4	8,366
-0,6	8,882

По результатам исследования построен график зависимости отсчета по микрометренному винту  $S$  от установки подъемного винта  $n$  гравиметра (рис. 1.13).

Вывод. продольный уровень гравиметра ГНУ-КВ № 73 установлен на минимум чувствительности. Юстировка уровня не требуется.

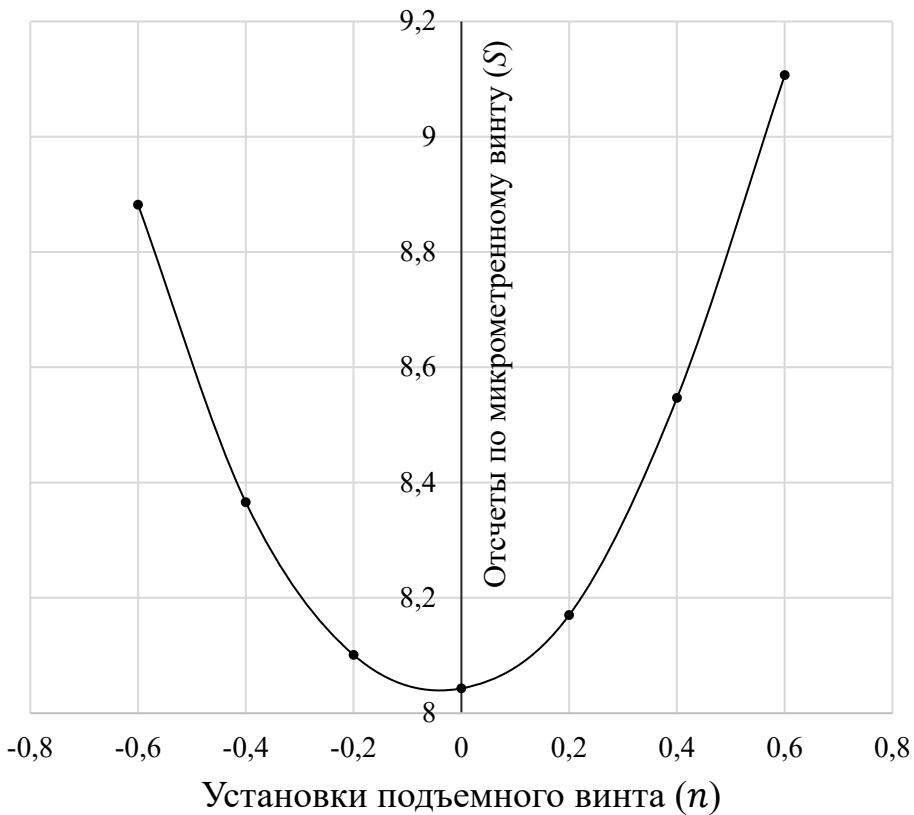


Рис. 1.13. График зависимости отсчета от угла наклона гравиметра ГНУ-КВ № 73 в плоскости колебания маятника

Результаты исследования поперечного уровня гравиметра на минимум чувствительности и определение цены оборота отсчетного устройства гравиметра ГНУ-КВ № 73 представлены в табл. 1.4 (столбцы 1–5).

График зависимости отсчета от угла наклона гравиметра ГНУ-КВ № 73 в плоскости оси вращения маятника приведен на рис. 1.14.

Парабола не симметрична относительно вертикальной оси, и ее вершина смещена относительно нуля горизонтальной оси на величину  $\Delta n = 0,1$ .

Вывод: поперечный уровень гравиметра ГНУ-КВ № 73 не установлен на минимум чувствительности к наклону. Требуется юстировка уровня.

Таблица 1.4

Результаты исследования поперечного уровня на минимум  
чувствительности к наклону и определение цены оборота отсчетного  
устройства гравиметра ГНУ-КВ № 73

Обороты установочного винта		Отсчеты по микрометру, $S_i$ , обороты			Определение цены деления методом наклона гравиметра			
$n_T$	$n_{\Pi}$	Прямой ход	Обратный ход	Средний отсчет, $\bar{S}_i$	$\bar{S}_0 - \bar{S}_i$	$(n')^2$	$k \cdot (n')^2$	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,6	5	3,896	3,867	3,881	-0,821	0,25	4,4145	-5,3770
0,4	3	3,392	3,461	3,426	-0,366	0,09	1,5892	-4,3421
0,2	1	3,142	3,150	3,146	-0,086	0,01	0,1766	-2,0533
0,0	9	3,076	3,104	3,090	-0,03	0,01	0,1766	-5,8860
0,2	7	3,239	3,242	3,240	-0,18	0,09	1,5892	-8,8290
0,4	5	3,509	3,556	3,532	-0,472	0,25	4,4145	-9,3528
0,6	3	4,063	4,063	4,063	-1,003	0,49	8,6524	-8,6265
							$C_{cp}$	-6,354 мГал/обор.

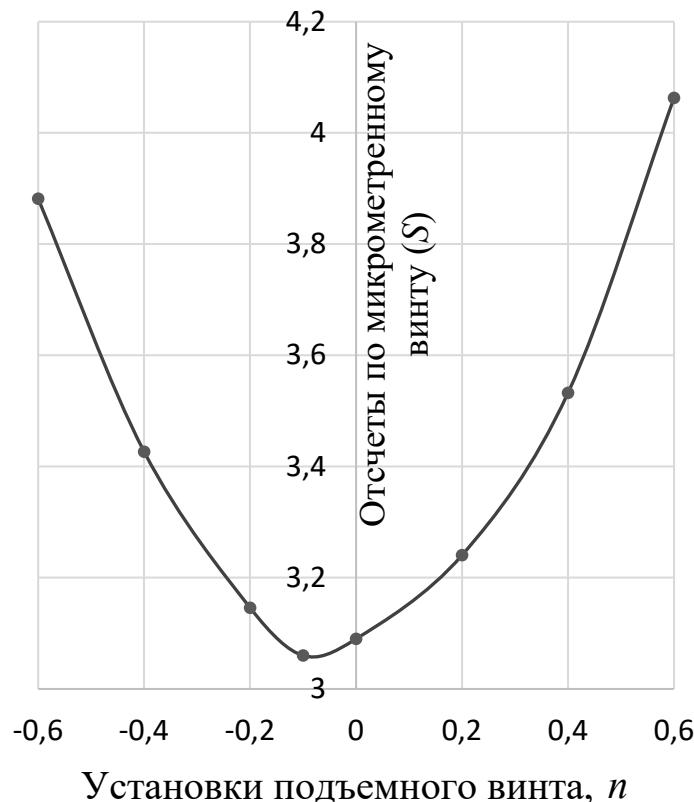


Рис. 1.14. График зависимости отсчета от угла наклона гравиметра ГНУ-КВ № 73 в плоскости оси вращения маятника

3. Определение цены оборота отсчетного устройства гравиметра приближенным способом.

По результатам исследования поперечного уровня приближенным способом определяют цену оборота отсчетного устройства  $C_i$  для каждого оборота установочного винта по формуле

$$C_i = \frac{k \cdot (n')^2}{S_o - \bar{S}_i}, \quad (1.11)$$

где  $S_0$  – отсчет по гравиметру, когда положение маятника горизонтально и угол наклона  $\beta = 0^\circ$ ;

$\bar{S}_i$  – средний отсчет по гравиметру при заданном угле наклона;

$n'$  – число оборотов установочного винта гравиметра с учетом смещения вершины параболы (см. рис. 1.14);

$k$  – коэффициент, вычисленный по формуле (1.5).

Цену оборота отсчетного устройства гравиметра вычисляют как среднее из всех значений, полученных при различных углах наклона гравиметра

$$\bar{C} = \frac{\sum C_i}{r}, \quad (1.12)$$

где  $r$  – количество результатов вычисления цены оборота микрометренного винта  $C_i$ .

Пример определения цены оборота отсчетного устройства гравиметра приближенным способом приведен в табл. 1.4. Для определения цены деления микрометренного винта гравиметра по графику определили значение вершины параболы  $S_0 = 3,060$  обор.

4. Определение верхнего предела изменения силы тяжести  $\Delta g$  без перестройки диапазона гравиметра.

Гравиметр приводят в рабочее состояние: устанавливают на прочное основание, нивелируют – выводят пузырьки уровней на середину.

Микрометренным винтом отчет выводят в крайние положения отсчетной шкалы (минимальный и максимальный). При этом индекс маятника выводят в поле зрения с помощью диапазонного устройства и берут отсчеты.

Верхний предел измерения силы тяжести без перестройки диапазона вычисляют по формуле

$$d = C(S_2 - S_1), \quad (1.13)$$

где  $S_2$  и  $S_1$  – максимальный и минимальный отсчеты соответственно, при которых отсчетное устройство гравиметра работоспособно.

Рекомендуется измерения силы тяжести не выполнять на крайних обработах микрометренного винта. Полученное значение верхнего предела измерений без перестройки диапазона должно быть не менее значения, указанного в табл. 1.2 [13].

*Пример определения верхнего предела изменения силы тяжести  $\Delta g$   
без перестройки диапазона гравиметра*

Определение верхнего предела изменения силы тяжести без перестройки диапазона выполняем в соответствии с ГОСТ [13]. Минимальный и максимальный отчет по микрометренному винту гравиметра ГНУ-КВ № 73:

$$S_{\min} = 0,012 \text{ обор.};$$

$$S_{\max} = 15,016 \text{ обор.}$$

Цена деления отсчетного устройства гравиметра ГНУ-КВ № 73  $C = -8,232 \text{ мГал/обор.}$

Значение верхнего предела измерений силы тяжести без перестройки, вычисленное по формуле (1.12), равно

$$\Delta g = |-8,232 \cdot (15,016 - 0,012)| = 123,513 \text{ мГал.}$$

Вывод: диапазон измерения силы тяжести гравиметра № 73 без перестройки удовлетворяет требованиям ГОСТ 13017–83 [13].

## 5. Определение чувствительности.

Гравиметр приводят в рабочее состояние: устанавливают на прочное основание, нивелируют – выводят пузырьки уровней на середину.

Микрометренным винтом гравиметра последовательно троекратно совмещают отсчетный индекс гравиметра с каждым из двух ближайших

штрихов окулярной шкалы, расположенных справа и слева от нулевого отсчетного штриха, фиксируют полученные значения (табл. 1.5). Для каждого штриха получают средние значения  $\bar{S}_{-N}^{\text{обр}}$  и  $\bar{S}_{+N}^{\text{обр}}$ , которые используют для вычисления чувствительности гравиметра по формуле

$$q = \left| \frac{N}{C(\bar{S}_{-N}^{\text{обр}} - \bar{S}_{+N}^{\text{обр}})} \right|, \quad (1.14)$$

где  $N$  – количество штрихов окулярной шкалы.

*Таблица 1.5*

Определение чувствительности гравиметра ГНУ-КВ № 73

№ п/п	$S_{-1}^{\text{обр}}$	$S_{+1}^{\text{обр}}$
1	8,471	8,074
2	8,476	8,073
3	8,474	8,069
Среднее значение	8,474	8,072

Полученное значение чувствительности должно соответствовать ГОСТ 13017–83 [13].

*Пример определения чувствительности гравиметра*

Определение чувствительности гравиметра выполняем в соответствии с ГОСТ [13] (см. табл. 1.5):

$$q = \left| \frac{2}{-6,456 \cdot (8,474 - 8,072)} \right| = 0,771 \frac{\text{дел}}{\text{мГал}};$$

1,298 мГал/дел.

Вывод: чувствительность гравиметра ГНУ-КВ № 73 не соответствует ГОСТ 13017–83 [13].

6. Определение длительности переходного процесса.

Измерение проводят на вибрационном стенде. Гравиметр подвергают вибрации с частотой  $20^{+2}$  Гц и амплитудой  $(0,2 + 0,05)$  мм в течение 10 мин,

после чего установку выключают. Исследование начинают непосредственно после выключения вибрационного стенда, установив гравиметр в рабочее положение.

В течение 20 мин снимают отсчеты по гравиметру: в течение первых 5 мин, не реже чем через каждую минуту, и далее – не реже чем через каждые 2 мин.

Изменение показаний гравиметра в миллигалах вычисляют по формуле

$$\Delta g = C(S_i - S_0), \quad (1.15)$$

где  $C$  – цена деления отсчетного устройства гравиметра;

$S_i$  – значение текущего отсчета в делениях отсчетной шкалы;

$S_0$  – значение начального отсчета в делениях отсчетной шкалы.

По результатам вычислений строят график зависимости приращения силы тяжести от времени. На горизонтальной оси графика откладывают время взятия отсчета в минутах, на вертикальной – значения силы тяжести в миллигалах.

На графике проводят две линии параллельно оси абсцисс. Первая линия проходит через точку графика, соответствующую моменту времени  $t = 20$  мин. Вторую линию проводят ниже первой на величину, равную средней квадратической погрешности единичного измерения гравиметра  $\varepsilon$ , которая вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + k(d - d_0), \quad (1.16)$$

где  $d$  – значение верхнего предела измерений гравиметра без перестройки диапазона, мГал;

$\varepsilon, \varepsilon_0, d_0$  – коэффициенты, которые выбирают в соответствии с классом точности гравиметра [13].

Полученное значение длительности переходного процесса должно соответствовать значению, приведенному в ГОСТ [13].

## 7. Определение смещения нуль-пункта.

Гравиметр устанавливают на прочное основание, приводят в рабочее положение. Исследование выполняется на протяжении 10 часов, фиксируя

отсчеты по микрометренному винту и время взятия отсчета. По результатам наблюдения строят график зависимости отсчетов от времени. Точки, полученные на графике, соединяют и делают вывод о линейности смещения нуль-пункта. Если на графике получена прямая линия – смещение нуль-пункта линейное. По графику определяют коэффициент смещения нуль-пункта

$$k_T = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \operatorname{tg}(\alpha), \quad (1.17)$$

где  $\Delta S$  – приращение силы тяжести по гравиметру в оборотах;

$\Delta t$  – интервал времени между отсчетами;

$\alpha$  – угол наклона прямой относительно горизонтальной оси.

На графике фиксируется протяженность прямой линии, которая определяет продолжительность рабочего времени гравиметра [6, 10]. Существует два способа определения смещения нуль-пункта гравиметра: графический и аналитический.

При выполнении каждого гравиметрического рейса определяют коэффициент смещения нуль-пункта, и в результаты измерений вводят поправку за смещение нуль-пункта гравиметра. Определение коэффициента смещения гравиметра зависит от схемы выполнения гравиметрического рейса. Наблюдения в гравиметрическом рейсе выполняют по следующим схемам: прямой ход, замкнутый ход, прямой и обратный ход, ход с разрывом [6, 10].

При выполнении гравиметрического рейса по схеме «прямой и обратный ход» коэффициент смещения нуль-пункта вычисляется по формуле

$$k = \frac{\sum(\Delta G \cdot \Delta T)}{\sum \Delta T^2}, \quad (1.18)$$

где  $\Delta T$  – разность моментов времени наблюдения на одноименных пунктах;

$\Delta G$  – разность вычисленных значений силы тяжести на одноименных пунктах.

Полученное значение смещения нуль-пункта не должно превышать значения, указанного в ГОСТ [13].

8. Определение нелинейности отсчетной шкалы микрометренного винта гравиметра.

Методика определения нелинейности шкалы микрометренного винта гравиметра описана в ГОСТ [13].

На основании выполненных исследований дают заключение о пригодности гравиметра к работе.

#### *Материалы, представляемые в отчете*

1. Результаты исследования уровней гравиметра на минимум чувствительности к наклону – поверка уровней.

2. Графики зависимостей показаний гравиметра от угла наклона по каждому уровню. Анализ графиков.

3. Результаты определения цены оборота отсчетного устройства.

4. Результаты определения верхнего предела изменения силы тяжести без перестройки диапазона.

5. Результаты определения чувствительности гравиметра.

6. Заключение о пригодности гравиметра к работе в соответствии с ГОСТ 13017–83 [13].

### **Этап 3. Выполнение гравиметрического рейса с гравиметрами ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV**

#### *Основные теоретические сведения*

Целью третьего этапа лабораторной работы является освоение методики выполнения гравиметрического рейса с гравиметрами ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV.

Наблюдения на пунктах рядовой сети выполняются в виде гравиметрических рейсов статическими гравиметрами. Современные гравиметры обладают высокой производительностью и обеспечивают высокую точность определения  $\Delta g$ . Рейсом называется совокупность последовательных непрерывных наблюдений с гравиметром на опорных и рядовых пунктах, объединенных общей характеристикой смещения нуль-пункта прибора. Рейс начинают и заканчивают на опорных пунктах, на которых известно абсолютное значение ускорения силы тяжести [9]. Скорость смещения нуль-пункта гравиметра в рейсе считается постоянной.

Наблюдения в гравиметрическом рейсе выполняют по следующим схемам: прямой ход, замкнутый ход, прямой и обратный ход, ход с разрывом.

При гравиметрических рейсах «прямой и обратный ход» (рис. 1.15) выполняются повторные наблюдения на пунктах для определения характера смещения нуль-пункта. Коэффициент смещения нуль-пункта гравиметра вычисляется по повторным измерениям, выполненным на одноименных пунктах по формуле (1.17). Пунктов, на которых выполняются повторные измерения в обратном ходе, должно быть не менее 20 %. К недостаткам схемы «прямой и обратный ход» можно отнести увеличение продолжительности выполнения гравиметрического рейса.

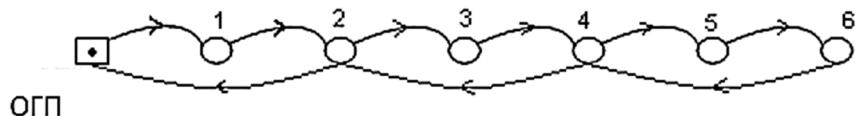


Рис. 1.15. Схема гравиметрического рейса «прямой и обратный ход»

В лабораторной работе предлагается выполнить гравиметрический рейс по схеме «прямой и обратный» ход. Опорным гравиметрическим пунктом при выполнении рейса является государственный гравиметрический пункт 1 класса № 0165, заложенный в гравиметрической лаборатории. Определяемые пункты в рейсе – точки установки гравиметра на 3-м, 5-м и 6-м этажах у окон в торце лабораторного корпуса.

*Последовательность выполнения гравиметрического рейса с гравиметром ГНУ-КВ:*

- гравиметрический рейс начинать и заканчивать на исходном пункте ОГП 0165;
- гравиметр установить на ОГП 0165 (см. рис. 1.1), нивелировать прибор – привести поперечный и продольный уровни в нуль-пункт;
- выполнить измерения: взять три отсчета (расхождения между отсчетами должны лежать в пределах требуемой точности – 5 мкГал), зафиксировать время взятия последнего отсчета. Все измерения записать в журнал;

– гравиметр и аккумулятор перенести на третий этаж, установить на пол в торце этажа ближе к окну, после нивелировки прибора выполнить измерения, зафиксировать время последнего отсчета;

– аналогично выполнить измерения на пятом и шестом этажах.

На этом прямой ход закончен;

– в обратном ходе выполняются повторные измерения на тех же точках, расположенных на 5-м и 3-м этажах (нивелирование прибора, взятие отсчетов, фиксация времени);

– завершить гравиметрический рейс на ОГП 0165. Установить прибор, нивелировать, выполнить измерения, зафиксировать время.

В прил. 1 приведен полевой гравиметрический журнал. Пример оформления журнала (фрагмент) представлен в табл. 1.6.

*Таблица 1.6*

**Заполнение полевого гравиметрического журнала**

Гравиметрическая партия кафедра КиФГ

Район работ ИГиМ СГУГиТ

Рейс № Учебный \_БГ-31

Дата 19.10.2022

Гравиметр ГНУ-КВ № 73

$C = -8,232 \text{ мГал/обор.}$

Наблюдал Г. В. Антоненко

Вычислил Г. В. Антоненко

Наименование пункта	Время отсчета, $T_i$	Температура, $t^\circ\text{C}$	Отчет, $S_i$	Средний отчет, $\bar{S}_i$	Примечание, $S_1$
1	2	3	4	5	6
ОГП 0165	12 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	21°	4,781 4,773 4,780	4,778	
3-й этаж	12 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	20,5°	5,253 5,258 5,254	5,255	
5-й этаж	...	...	...	...	

*Последовательность выполнения гравиметрического рейса  
с гравиметром CG-6 AUTOGRAV*

Гравиметрический рейс с цифровым гравиметром CG-6 AUTOGRAV по схеме «прямой и обратный ход» выполняется в той же последовательности, что и рейс с гравиметром ГНУ-КВ, но с учетом особенностей уста-

новки прибора, подготовки его к работе и фиксации результатов наблюдений. Исходным гравиметрическим пунктом при выполнении рейса является государственный гравиметрический пункт 1 класса № 0165, расположенный в гравиметрической лаборатории. Определяемые пункты в рейсе – точки установки гравиметра на 3-м, 5-м и 6-м этажах у окон в торце лабораторного корпуса.

Последовательность выполнения гравиметрического рейса гравиметром CG-6 AUTOGRAV:

- гравиметрический рейс начинать и заканчивать на исходном пункте ОГП 0165;
- гравиметр установить на треногу зафиксированной лапкой к пункту ОГП 0165 (рис. 1.16);



Рис. 1.16. Установка гравиметров на исходном пункте

– подъемными винтами привести гравиметр в горизонтальное положение по цифровым показаниям уровня по осям  $X$  и  $Y$ , отображаемым в арк-секундах, и стрелкам выравнивания (сначала правым винтом, затем левым). Чтобы выровнять прибор, необходимо поворачивать регулируемые ручки на треноге в направлении, указанном стрелками, пока индикаторы не заго-

рятся зеленым цветом. Числовые уровни на экране позволяют определить амплитуду вращения, необходимую для достижения установки по уровню. Например, при установке данного окна на 10 аркsekунд, как только наклон одной из осей окажется в пределах  $\pm 10$  аркsekунд, стрелка установки по уровню для этой оси станет зеленой (рис. 1.17);



Рис. 1.17. Установка гравиметра в горизонтальное положение по цифровым показаниям уровня, отображаемым в аркsekундах, и стрелкам выравнивания

- в главном меню выбрать опцию *SETTINGS*, в появившемся окне активировать *SURVEY* и задать название проекта (*Survey*), имя наблюдателя (*Operator*), количество циклов (*Cycles*), длину измерений (*Measure Length*) и задержку для стабилизации прибора (*Record Delay*) (рис. 1.18);
- в главном меню выбрать опцию *STATION (standard mode)*, задать название пункта (рис. 1.19);
- на главном экране переместить курсор на *RECORD* и нажать на кнопку *Enter* – запустится процесс измерений на пункте. В верхней части экрана появится слово *RECORDING* – запись измерений;



Рис. 1.18. Установки на пункте: название проекта, количество циклов, длина измерений и задержка для стабилизации прибора

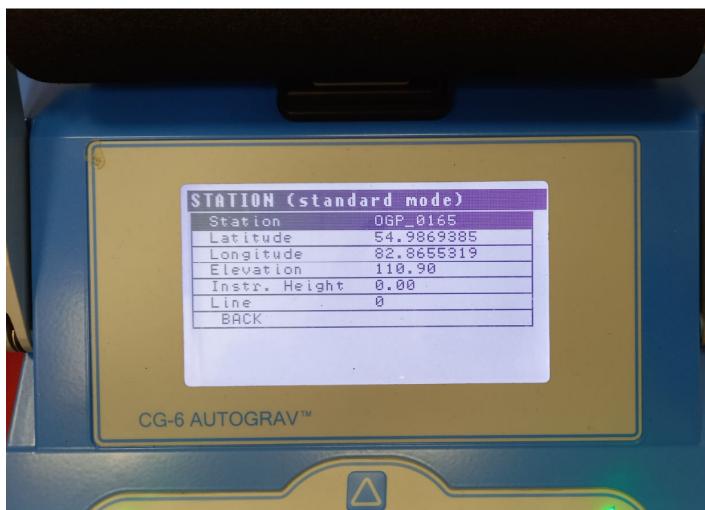


Рис. 1.19. Запись названия пункта

- после завершения записи измерений гравиметр перенести на следующий пункт (этаж), установить прибор по уровням, задать название пункта и запустить процесс измерений;
- аналогично действия выполнить на 3-м, 5-м и 6-м этажах. На этом прямой ход закончен;
- в обратном ходе выполнить измерения по тем же пунктам (этажам) при соблюдении последовательности операций: установить прибор по уровням, задать название пункта и запустить процесс измерений;

- завершить измерения на опорном пункте (задать название пункта и запустить процесс измерений);
- сохранить проект и перенести данные измерений в файле вида *CG-6\_XXXX\_SurveyName.DAT* на компьютер через USB-устройство для дальнейшей обработки.

Пример фрагмента файла приведен на рис. 1.20.

```

/
/ CG-6 Survey
/ Survey Name: UCHEBNU1
/ Instrument Serial Number: 000000021080366
/ Created: 2023-12-19 05:27:28
/
/ CG-6 Calibration
/ Operator: SGUGIT_01
/ Gcal1 [mGal]: 8040.191000
/ Goff [ADU]: -8388608.000000
/ Gref [mGal]: 0.0000
/ X Scale [arc-sec/ADU]: 0.030859
/ Y Scale [arc-sec/ADU]: 0.030474
/ X Offset [ADU]: -272453.684100
/ Y Offset [ADU]: -89064.739317
/ Temperature Coefficient [mGal/mK]: -0.123000
/ Temperature Scale [mK/ADU]: -0.000111
/ Drift Rate [mGal/day]: -0.030000
/ Drift Zero Time: 2021-07-21 19:18:40
/ Firmware Version: CG6_2_20190125
/
/Station Date Time CorrGrav Line StdDev StdErr RawGrav X Y SensorTemp TideCorr TiltCorr
OGP_0165 2023-12-19 05:27:28 5548.1742 0 0.0056 0.0014 5521.7007 5.2 -4.6 1.2435 -0.0919 0.0005
OGP_0165 2023-12-19 05:27:43 5548.1761 0 0.0079 0.0020 5521.7024 4.4 -6.2 1.2383 -0.0920 0.0007
OGP_0165 2023-12-19 05:27:58 5548.1736 0 0.0095 0.0025 5521.7001 5.0 -5.7 1.2363 -0.0920 0.0007
OGP_0165 2023-12-19 05:28:13 5548.1710 0 0.0118 0.0030 5521.6977 4.3 -5.4 1.2406 -0.0921 0.0005
OGP_0165 2023-12-19 05:28:28 5548.1744 0 0.0109 0.0028 5521.7007 5.5 -5.8 1.2392 -0.0921 0.0008
OGP_0165 2023-12-19 05:28:43 5548.1726 0 0.0103 0.0027 5521.6991 5.1 -5.3 1.2315 -0.0922 0.0006
OGP_0165 2023-12-19 05:28:58 5548.1742 0 0.0114 0.0029 5521.7005 6.6 -6.0 1.2322 -0.0922 0.0009
OGP_0165 2023-12-19 05:29:13 5548.1728 0 0.0067 0.0017 5521.6994 5.4 -5.3 1.2385 -0.0923 0.0008
OGP_0165 2023-12-19 05:29:28 5548.1724 0 0.0143 0.0037 5521.6992 4.4 -5.3 1.2373 -0.0923 0.0006
OGP_0165 2023-12-19 05:29:43 5548.1729 0 0.0062 0.0016 5521.6995 5.2 -6.0 1.2365 -0.0923 0.0008
OGP_0165 2023-12-19 05:29:58 5548.1757 0 0.0083 0.0021 5521.7025 4.1 -5.5 1.2366 -0.0924 0.0006
OGP_0165 2023-12-19 05:30:13 5548.1688 0 0.0099 0.0026 5521.6958 5.1 -5.0 1.2388 -0.0924 0.0006
OGP_0165 2023-12-19 05:30:28 5548.1708 0 0.0096 0.0025 5521.6976 4.6 -5.7 1.2374 -0.0925 0.0007
.....

```

Рис. 1.20. Фрагмент файла измерений с гравиметром CG-6 AUTOGRAV

В файле измерений приводятся информация о настройках прибора и результаты измерений. Для последующей обработки используется информация из следующих колонок (см. рис. 1.20):

- *Station* – название пункта;
- *Date* – дата измерения;
- *Time* – время измерения (всемирное UTC);
- *CorrGrav* – показание гравитационного датчика (в мГал), скорректированное за температуру, наклон, приливные изменения силы тяжести и смещение нуль-пункта;
- *Line* – номер рейса.

## *Материалы, представляемые в отчете*

1. Результаты выполнения гравиметрического рейса с гравиметром ГНУ-КВ, представленные в полевом гравиметрическом журнале.
2. Результаты выполнения гравиметрического рейса с гравиметром CG-6 AUTOGRAV, представленные файлом вида CG-6\_XXXX\_Survey-Name.DAT.

## **Этап 4. Обработка гравиметрического рейса**

Целью третьего этапа выполнения лабораторной работы является определение абсолютных значений ускорения силы тяжести по результатам выполнения гравиметрического рейса, выполненного по схеме «прямой и обратный ход», оценка и анализ полученных результатов.

### *Основные теоретические сведения*

Обработка результатов гравиметрических наблюдений состоит из полевой (текущей) и камеральной [9].

*Полевая обработка* позволяет получить предварительные результаты съемки и обеспечивает непрерывный контроль качества измерений.

Целью полевой обработки материалов является текущий контроль измерений, а также получение предварительных значений силы тяжести и их средних квадратических погрешностей. Для этой цели выполняют:

- текущую обработку в полевых журналах;
- составление ведомостей результатов вычислений;
- предварительную оценку точности измерений.

*Полевая обработка* состоит:

- из текущей обработки полевых журналов;
- первичной обработки наблюдений в гравиметрических рейсах;
- вычисления значений силы тяжести на гравиметрических пунктах;
- составления ведомостей результатов вычислений;
- предварительной оценки точности измерений;
- определения координат и высот гравиметрических пунктов.

*Камеральная обработка* полевых материалов гравиметрической съемки выполняется после завершения полевых работ. Камеральная обработка состоит:

- из контроля полевых вычислений;
- выполнения дополнительных исследований и определений постоянных гравиметрической аппаратуры;
- контроля полевых вычислений и уточнения полученных результатов;
- уравнивания опорных сетей;
- заполнения паспортов пунктов;
- вычисления аномалий силы тяжести с редукцией за свободный воздух и Буге;
- построения гравиметрических карт;
- составления пояснительной записки [16].

### *Порядок выполнения работы*

В ведомость обработки гравиметрического рейса (прил. 2, табл. П.2.1) из полевого журнала наблюдений выписываются наименования пунктов, моменты времени снятия отсчетов, переведенные в доли часа, и средние отсчеты по шкале микрометра в оборотах.

Обработка результатов наблюдений, выполненных с помощью гравиметра ГНУ-КВ, подразделяется на следующие этапы:

- перевод отсчетов по микрометру гравиметра, выраженных в оборотах, в миллигали  $g_i^S$ ;
- введение поправки за температуру;
- учет нелинейности шкалы микрометра  $f_i^S$ ;
- введение поправки за влияние притяжения Луны и Солнца (за приливные изменения силы тяжести);
- введение поправки за смещение нуль-пункта гравиметра  $\delta g_i^{\text{пп}}$ .

В связи с тем, что гравиметрический рейс при выполнении лабораторной работы предполагается проводить в здании лабораторного корпуса СГУГИТ (температура в помещении не меняется более чем на  $0,5^\circ$ ) в течение двух академических часов, при обработке измерений учитывается нелинейность шкалы микрометра гравиметра и вычисляется поправка за смещение нуль-пункта гравиметра. При этом смещение нуль-пункта считают

линейным. Вычисленные поправки вводятся в результаты гравиметрических измерений.

Для учета нелинейности шкалы микрометренного винта гравиметра предлагается определить шкаловые поправки  $f_i^S$ . Значения шкаловых поправок  $f_i^S$  для каждого оборота микрометренного винта гравиметров приведены в прил. 2 (табл. П.2.2).

В результате обработки гравиметрических измерений получают приращение силы тяжести на пунктах относительно исходного (опорного), абсолютные значения силы тяжести  $g_i^a$  на каждом определяемом пункте и вычисляют реальный вертикальный градиент силы тяжести.

Вертикальный градиент силы тяжести (ВГСТ) описывает изменение силы тяжести с высотой. С появлением высокоточных гравиметров основным методом измерения вертикального градиента является измерение силы тяжести на разной высоте. ВГСТ имеет большое практическое значение при решении задач, связанных с локализацией и интерпретацией характеристик гравитационного поля [17].

Рабочие формулы:

$$g_i^a = g_0 + \Delta g_i, \quad (1.19)$$

$$\Delta g_i = g_i - \bar{g}_1, \quad (1.20)$$

$$\bar{g}_i = \frac{(g_i)^H + (g_i)^K}{2}, \quad (1.21)$$

$$g_i = g_i^S + \delta g_i^{HP} + f_i^S, \quad (1.22)$$

$$\delta g_i^{HP} = k \cdot \Delta t_i, \quad (1.23)$$

$$\Delta t_i = T_i - T_1, \quad (1.24)$$

$$k = \frac{\sum (\Delta G_i \cdot \Delta T_i)}{\sum \Delta T_i^2}, \quad (1.25)$$

$$\Delta T_i = T_i^K - T_i^H, \quad (1.26)$$

$$\Delta G = (g_i^S)^H - (g_i^S)^K, \quad (1.27)$$

$$g_i^S = C_0 \cdot S_i, \quad (1.28)$$

$$W_{zz} = \frac{\Delta g_i}{h_i}, \quad (1.29)$$

где  $T_i^K$  и  $T_i^H$  – конечное и начальное значение времени на одноименных пунктах;

$\Delta T_i$  – разность моментов времени между наблюдениями на одноименных пунктах;

$g_i^S$  – отсчеты по микрометрам гравиметра, мГал;

$C_0$  – цена оборота отсчетного устройства;

$S_i$  – средний отсчет по шкале микрометра;

$\Delta G_i$  – разность вычисленных значений силы тяжести на одноименных пунктах;

$(g_i^S)^H$  и  $(g_i^S)^K$  – начальные и конечные значения измерения силы тяжести в одноименных точках наблюдения, мГал;

$\Delta t_i$  – приращение моментов наблюдения на пунктах относительного первого измерения в рейсе, часы;

$T_i$  – момент времени взятия отсчета на  $i$ -м пункте;

$\delta g_i^{npp}$  – поправки за смещение нуль-пункта гравиметра;

$k$  – коэффициент смещения нуль-пункта;

$f_i^S$  – поправка, учитывающая нелинейность шкалы микрометра, мкГал;

$(g_i^S)^H$  и  $(g_i^S)^K$  – начальное и конечное значение силы тяжести на одноименных пунктах;

$g_i^a$  – абсолютное значение силы тяжести на  $i$ -м пункте;

$W_{zz}$  – вертикальный градиент силы тяжести, мГал/м;

$g_i$  – среднее значение силы тяжести на одноименных пунктах.

### Пример обработки гравиметрического рейса

*Гравиметр ГНУ-КВ.* Гравиметрический рейс выполнен гравиметром ГНУ-КВ № 73 по схеме «прямой и обратный ход». Цена оборота микрометренного винта гравиметра  $C = -8,232$  мГал/обор. Исходным пунктом является ОГП № 0165, расположенный в гравиметрической лаборатории, с абсолютными значениями силы тяжести 981 245,000 мГал.

Для учета нелинейности шкалы отсчетного устройства гравиметра ГНУ-КВ № 73 шкаловые поправки  $f_i^S$  необходимо определить с графика (рис. 1.21) на доли оборота микрометренного винта методом линейного интерполирования.

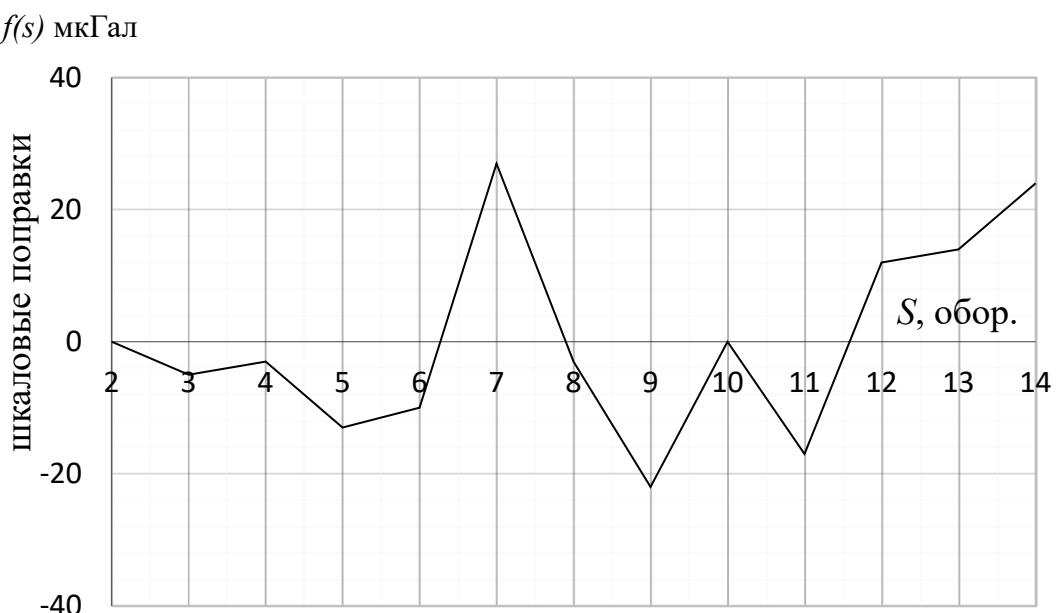


Рис. 1.21. График шкаловых поправок  $f_i^S$  гравиметра ГНУ-КВ № 73

Вычисление коэффициента смещения нуль-пункта приведено в табл. 1.7.

Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром ГНУ-КВ №73 приведена в табл. 1.8.

*Гравиметр CG-6 AUTOGRAV.* Обработка результатов наблюдений, выполненных с помощью гравиметра CG-6 AUTOGRAV, сводится к компенсированию остаточного смещения нуль-пункта [18, 19, 20].

*Таблица 1.7*

Вычисление коэффициента смещения нуль-пункта в рейсе  
с гравиметром ГНУ-КВ № 73

Наименование пунктов	$\Delta T_i$	$\Delta G_i$ , мГал
ОГП 0165	1,35	1,086 624
3-й этаж	0,936	0,329 28
5-й этаж	0,37	-0,403 37
$k = 0,573$		

Для выполнения лабораторной работы предлагается использовать результаты наблюдений с гравиметром CG-6 AUTOGRAV, представленные в прил. 3. Данные выдаются по вариантам.

Обработка гравиметрического рейса выполняется по формулам (1.19–1.27) и (1.29).

Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром CG-6 AUTOGRAV приведена в табл. 1.9.

Таблица 1.8

## Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром ГНУ-КВ

Район работ ИГиМ СГУГиТ

Гравиметровая партия кафедра космической и физической геодезии

Название (номер) рейса Учебный\_БГ-31

Дата 19.10.2022

Гравиметр ГНУ-КВ № 73

Цена оборота микровинта  $C = -8,232$  мГал/обор.

Наблюдала Г. В. Антоненко

Вычислила Г. В. Антоненко

 $\Sigma$ 

Наименование пунктов	Время наблюдений, $T_i$ , час	$\Delta t_i$ , час	Отчет микрометра, $S_i$ , обор.	Отчет, $g_i^S$ , мГал	Шкаловая поправка, $f_i^S$ , мГал	Исправление отсчета за смещение нуль-пункта			Исправленный отчет, $g_i$ , мГал	Значение силы тяжести $\Delta g_{i,\text{ср.}}$ , мГал	Приращение силы тяжести, $\Delta g_i$ , мГал	Значение силы тяжести на пункте, $g_i^a$ , мГал	Высота, $h$ (м)	Вертикальный градиент, мГал/м
						$\Delta G_i$ , мГал	$\Delta T_i$ , час	Поправка за смещение нуль-пункта, $\delta g_i^{\text{пп}}$ , мГал						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ОГП 0165	12,3	1,350	4,778	-39,332	-0,01	1,087	0	0,000	-39,342	-39,500	0,000	981245,000	0,0	
3-й этаж	12,58	0,936	5,255	-43,259	-0,012	0,329	0,28	0,160	-43,111	-007	-3,507	981241,493	10,929	0,3209
4-й этаж	12,85		5,326	-43,844	-0,012		0,55	0,315	-43,541	-43,540	-4,040	981240,960	14,582	0,2770
5-й этаж	13,03	0,370	5,502	-45,292	-0,011	-0,403	0,73	0,418	-44,885	-44,578	-5,078	981239,922	18,358	0,2766
6-й этаж	13,25		5,609	-46,173	-0,011		0,95	0,544	-45,640	-45,640	-6,140	981238,860	22,046	0,2785
5-й этаж	13,4		5,453	-44,889	-0,012		1,1	0,630	-44,271					
3-й этаж	13,516		5,295	-43,588	-0,012		1,216	0,697	-42,903					
ОГП 0165	13,65		4,91	-40,419	-0,013		1,35	0,774	-39,658					$W_{zz} = -0,2882$

Таблица 1.9

## Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром CG-6 AUTOGRAV

Район работ ИГиМ СГУГиТ

Гравиметровая партия кафедра космической и физической геодезии

Название (номер) рейса Учебный\_БГ-31

Дата 19.10.2022

Гравиметр CG-6 AUTOGRAV № 0350

Наблюдала Г. В. Антоненко

Вычислила Г. В. Антоненко

Наименование пунктов	Время наблюдений, $T_i$ , час	$\Delta t_i$ , час	Отчет $g_i^S$ , мГал	Исправление отсчета за смещение нуль-пункта				Исправленный отчет, $g_i$ , мГал	Значение силы тяжести $\Delta g_i$ , сп., мГал	Приращение силы тяжести $\Delta g_i$ , мГал	Значение силы тяжести на пункте $g_i^a$ , мГал	Высота, $h$ , м	Вертикальный градиент, мГал/м
				$\Delta G_i$ , мГал	$\Delta T_i$ , час	Поправка за смещение нуль-пункта $\delta g_{\text{нп}}^{i \text{ сп.}}$ , мГал							
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
ОГП 0165	5,463	0,000	5619,548	-0,021	1,385	0,000	5619,548	5619,546	0,000	981245,000	0,0		
3 этаж	5,816	0,353	5616,497			-0,006	5616,491	5616,491	-3,055	981241,945	10,929	0,2800	
5 этаж	6,065	0,602	5614,283	-0,019	0,489	-0,011	5614,272	5614,277	-5,269	981239,731	18,358	0,2870	
6 этаж	6,305	0,842	5613,179			-0,015	5613,164	5613,164	-6,382	981238,619	22,046	0,2895	
5 этаж	6,554	1,091	5614,301			-0,019	5614,282						
ОГП 0165	6,848	1,385	5619,568			-0,025	5619,543						$W_{zz} = -0,2855$

Коэффициент смещения нуль-пункта:  $k = -0,018$ 

СКП измерения на 5 этаже составила 0,005 мГал.

## *Оценка точности результатов гравиметрических измерений*

Точность результатов гравиметрических измерений силы тяжести на пунктах зависит от опыта наблюдателя, точности гравиметра, методики выполнения измерений, учета смещения нуль-пункта и оценивается величиной средней квадратической погрешности единичного измерения  $m$ , вычисленной по результатам независимых измерений на одних и тех же пунктах по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n}}, \quad (1.30)$$

где  $\delta_i$  – отклонение измеренного значения  $\Delta g_i$  от среднего  $\Delta \bar{g}$  на  $i$ -м пункте

$$\delta = (\Delta g_i - \Delta \bar{g}_i), \quad (1.31)$$

где  $\Delta g_i$  – значение силы тяжести на пункте;

$\Delta \bar{g}_i$  – среднее значение силы тяжести на одноименных пунктах;

$n$  – количество пунктов, на которых выполнены повторные измерения в обратном ходе.

Ошибка  $m_{\text{изм}}$  определения приращения силы тяжести вычисляют по формуле [9, 21, 22]

$$m_{\text{изм}} = \pm 1,12m. \quad (1.32)$$

Независимые наблюдения в контрольных рейсах выполняют согласно инструкции [9] в объеме 5–10 % от общего количества измерений.

Если число измерений на контрольных пунктах больше двух, то средняя квадратическая погрешность вычисляется по формуле

$$m_{\text{изм}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{m-k}}, \quad (1.33)$$

где  $\delta$  – отклонение от среднего каждого измерения на пункте;

$m$  – общее количество измерений на контрольных пунктах;

$k$  – число контрольных пунктов.

*Пример выполнения оценки точности гравиметрических измерений  
с гравиметром ГНУ-КВ*

Величину средней квадратической погрешности измерений в гравиметрическом рейсе можно вычислить по формуле (1.30). Результаты вычислений приведены в табл. 1.10.

*Таблица 1.10*

*Оценка точности гравиметрических измерений с гравиметром  
ГНУ-КВ относительно ОГП 0165*

Наименование пункта	$\Delta g_i$ , мГал	$\delta$ , мГал
3-й этаж	-43,111	0,104
5-й этаж	-44,578	0,307
СКП = 0,229		

*Материалы, представляемые в отчете*

1. Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром ГНУ-КВ.
2. Ведомость обработки результатов гравиметрического рейса с гравиметром CG-6 AUTOGRAV.
3. Оценка точности гравиметрических измерений с гравиметром ГНУ-КВ.
4. Оценка точности гравиметрических измерений с гравиметром CG-6 AUTOGRAV.

**Этап 5. Анализ полученного опыта определения силы тяжести  
статическим методом. Выводы**

Последний этап выполнения работы предполагает анализ опыта обучающегося по освоению статического метода определения силы тяжести с помощью гравиметров типа ГНУ-К и CG-6 AUTOGRAV.

В данном разделе необходимо перечислить приобретенные знания, умения и навыки в процессе выполнения этапов лабораторной работы, представить собственное мнение о достоинствах и недостатках используемой аппаратуры, применяемых методов и технологий.

В завершении лабораторной работы предлагается дать краткие ответы на контрольные вопросы по всем этапам.

## **Контрольные вопросы**

Этап 1.

1. Методы измерения гравитационного поля Земли. Сравните между собой методы измерения силы тяжести.
2. Относительные и абсолютные определения силы тяжести.
3. Устройство гравиметра ГНУ-КВ. Основные системы, принцип работы.
4. Устройство гравиметра CG-6 AUTOGRAV: обзор основных составных частей гравиметра, описание главной панели и основного меню.

Этап 2.

1. Подготовка гравиметра типа ГНУ-К к полевым измерениям.
2. Исследования гравиметра ГНУ-КВ.
3. Подготовка гравиметра CG-6 AUTOGRAV к полевым измерениям.

Этап 3.

1. Гравиметрический рейс, типы. Методика измерений.
2. Полевые гравиметрические измерения с помощью гравиметра ГНУ-КВ. Технология выполнения гравиметрического рейса.
3. Полевые гравиметрические измерения с помощью гравиметра CG-6 AUTOGRAV. Технология выполнения гравиметрического рейса. Необходимые установки на каждом пункте.

Этап 4.

1. Последовательность обработки гравиметрических измерений.
2. Особенности обработки гравиметрических измерений, выполненных гравиметрами ГНУ-КВ и CG-6 AUTOGRAV.
3. Поправки, которые необходимо вводить при обработке измерений. Причины и условия их введения.
4. Оценка точности результатов обработки гравиметрического рейса.

5. Нормальный и реальный вертикальный градиент силы тяжести.
6. Значение вертикального градиента силы тяжести.
7. Способы определения вертикального градиента силы тяжести.

Этап 5.

1. Представить анализ опыта по освоению статического метода определения силы тяжести с помощью гравиметров типа ГНУ-К и CG-6 AUTOGRAV.
2. Перечислить приобретенные знания, умения и навыки в процессе выполнения этапов лабораторной работы.
3. Представить собственное мнение о достоинствах и недостатках используемой аппаратуры, применяемых методов и технологий.

**Лабораторная работа № 2**

**ВЫЧИСЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ С РЕДУКЦИЕЙ  
В СВОБОДНОМ ВОЗДУХЕ И РЕДУКЦИЕЙ БУГЕ. СОЗДАНИЕ  
ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ КАРТ АНОМАЛИЙ  
СИЛЫ ТЯЖЕСТИ СРЕДСТВАМИ ГИС**

**Цель лабораторной работы.** Освоить методику вычисления аномалий силы тяжести с редукциями в свободном воздухе и Буге и создания гравиметрических карт аномалий силы тяжести средствами ГИС.

**Содержание лабораторной работы**

1. Вычислить аномалии силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге для точек, расположенных:

- 1) на поверхности Земли в равнинном районе;
- 2) на поверхности Земли в горном районе;
- 3) на поверхности моря;
- 4) на дне моря;
- 5) над Землей;
- 6) в скважине.

2. Вычислить аномалии силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге для 25 гравиметрических пунктов, расположенных в узлах регулярной сетки по широте и долготе через  $30'$  [3–6, 9]. По вычисленным значениям построить гравиметрические карты аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге средствами ГИС «Панорама» [23, 24].

Исходные данные для выполнения работы приведены в практикуме [3–6] и в прил. 4.

**Время выполнения:** аудиторные занятия – 6 часов, самостоятельная работа – 6 часов.

## Основные теоретические сведения

Аномалией силы тяжести называется разность между действительным значением силы тяжести  $g$  и нормальным значением  $\gamma$  силы тяжести в пункте наблюдения

$$\Delta g = g - \gamma. \quad (2.1)$$

Действительное значение силы тяжести характеризует действительное гравитационное поле Земли, нормальное значение – нормальное гравитационное поле. Действительная и нормальная силы тяжести отличаются не только по величине, но и по направлению. Действительную силу тяжести обычно наблюдают на физической поверхности Земли, а значение нормальной силы тяжести определяют на поверхности эллипсоида.

Определение аномалий силы тяжести сводится к введению поправок (редукций): за возмущающие массы в значение действительной силы тяжести; за высоту точки над поверхностью эллипсоида – в значение нормальной силы тяжести.

Различают несколько видов аномалий силы тяжести. В лабораторной работе № 2 необходимо освоить методику вычисления аномалий силы тяжести с редукцией за свободный воздух и с редукцией Буге.

*Аномалия силы тяжести с редукцией за свободный воздух* учитывает все возмущающие массы, которые расположены на поверхности и внутри Земли, поэтому поправки в измеренное (действительное) значение силы тяжести не вводят. При вычислении аномалии силы тяжести с редукцией за свободный воздух вводится поправка за высоту в нормальное значение силы тяжести, которая учитывает редуцирование с поверхности эллипсоида на физическую поверхность Земли.

Аномалию силы тяжести с редукцией за свободный воздух вычисляют по формуле

$$\Delta g_{\text{св.в}} = (g - \gamma)_{\text{св.в}} = g - (\gamma_0 + \delta\gamma_1), \quad (2.2)$$

где  $\delta\gamma_1$  – поправка в нормальное поле за высоту пункта над эллипсоидом, вычисляемая в мГал

$$\delta\gamma_1 = -0,308\,55(1 + 0,000\,71 \cos 2\varphi)H, \quad (2.3)$$

где  $H$  – высота пункта наблюдения;

$0,30855$  мГал/м – нормальный вертикальный градиент силы тяжести, так как сила тяжести уменьшается с высотой. В формуле (2.3) стоит знак «минус», который указывает на уменьшение силы тяжести с высотой;

$\gamma_0$  – нормальное значение ускорения силы тяжести на поверхности эллипсоида, вычисленное по формуле Гельмерта (1901–1909) [7]

$$\gamma_0 = 978\,030(1 + 0,005\,302 \sin^2 \varphi - 0,000\,007 \sin^2 2\varphi) - 14 \text{ мГал}. \quad (2.4)$$

При определении аномалий силы тяжести на поверхности морей и океанов поправка  $\delta\gamma_1 = 0$ , так как  $H = 0$ .

Если измерения выполнены ниже уровня морской поверхности, то под высотой в формуле (2.3) подразумевается глубина  $h$ . Для вычисления аномалии необходимо учесть притяжение слоя морской воды, при этом поправка будет положительная [10]:

$$\delta g_1 = 0,0838\,7\sigma h = 0,086\,4h, \quad (2.5)$$

где  $\sigma$  – плотность морской воды  $\sigma = \sigma_M = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

Вычисление аномалий силы тяжести для пунктов, расположенных в морских глубинах, выполняется по формуле

$$\Delta g_{\text{св.в.}} = g - (\gamma_0 + \delta\gamma_1) + \delta g_1. \quad (2.6)$$

Вычисление аномалий силы тяжести для пунктов, расположенных в шахте или скважине, выполняется по формуле (2.5), в которой используется плотность горных пород исследуемой территории  $\sigma = \sigma_{\text{пп.}}$ .

Аномалии силы тяжести с редукцией Буге для пунктов, расположенных на земной поверхности, вычисляют по формуле

$$\Delta g_B = g - (\gamma_0 + \delta\gamma_1) + \delta g_2, \quad (2.7)$$

где  $\delta g_2$  – поправка, учитывающая влияние масс, заключенных между уровнем точки наблюдения и поверхностью геоида – промежуточный плоско-параллельный слой бесконечного простирания, проведенный на высоте точки наблюдения

$$\delta g_2 = -2\pi f \sigma H \cdot 10^5 = -0,0419 \sigma H, \quad (2.8)$$

где  $\sigma$  – плотность масс промежуточного слоя.

Вычисление аномалий силы тяжести с редукцией Буге для пунктов, расположенных на морской поверхности, выполняют по формуле

$$\Delta g_B = g - (\gamma_0 + \delta \gamma_1) + \delta g_3, \quad (2.9)$$

где

$$\delta g_3 = 0,0419(2,67 - 1,03)h = 0,0687h. \quad (2.10)$$

Поправка  $\delta g_3$  всегда положительна и учитывает эффект масс, связанный с разностью средней плотности земной коры и плотностью морской воды [2–6, 25, 26].

Аномалии силы тяжести с редукцией за свободный воздух и Буге могут быть смешанными и чистыми. Если значения действительной и нормальной силы тяжести относятся к одной точке пространства, это чистые аномалии. Смешанные аномалии получаем, когда действительная и нормальная силы тяжести получены для разных точек пространства. При использовании нормальной высоты пункта наблюдения в формуле (2.3) получают смешанную аномалию силы тяжести с редукцией за свободный воздух, значение геодезической высоты пункта наблюдения позволяет получить чистую аномалию силы тяжести с редукцией за свободный воздух [10, 26].

Гравиметрические карты аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге создают методом интерполяции между пунктами гравиметрической съемки. Для построения гравиметрических карт используют программные пакеты машинной графики. В работе представлен пример гравиметрической карты аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе в программном продукте ГИС «Карта Панорама».

## Исходные данные для выполнения работы

В настоящее время широко востребованы вычисления различных характеристик гравитационного поля с применением онлайн-калькуляторов. На сайте международного научно-исследовательского центра наук о Земле – International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM) [7] – в открытом доступе находятся глобальные модели гравитационного поля Земли в виде коэффициентов разложения геопотенциала и онлайн-калькулятор, позволяющий вычислять характеристики ГПЗ на исследуемую территорию [27].

Возможности веб-службы ICGEM позволяют определять характеристики ГПЗ по данным глобальных моделей геопотенциала либо в узлах регулярных сеток, либо в точках, заданных пользователем.

Пользовательский интерфейс калькулятора состоит из нескольких блоков (рис. 2.1).

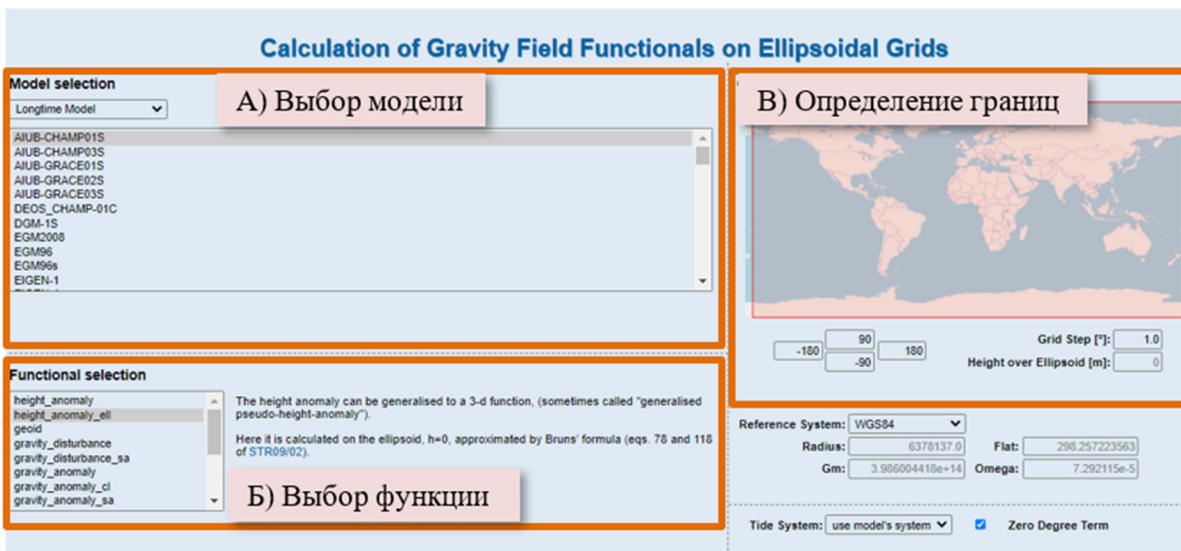


Рис. 2.1. Пользовательский интерфейс калькулятора для вычисления характеристик гравитационного поля Земли

Определение исходных данных для лабораторной работы выполняется в узлах регулярной сетки в устойчивой последовательности.

*Выбор модели геопотенциала (Model selection).* Из 180 статических моделей геопотенциала, представленных на сайте ICGEM в разделе *Static Models* (рис 2.2), выбрана модель XGM2019e\_2159, созданная в 2019 г.

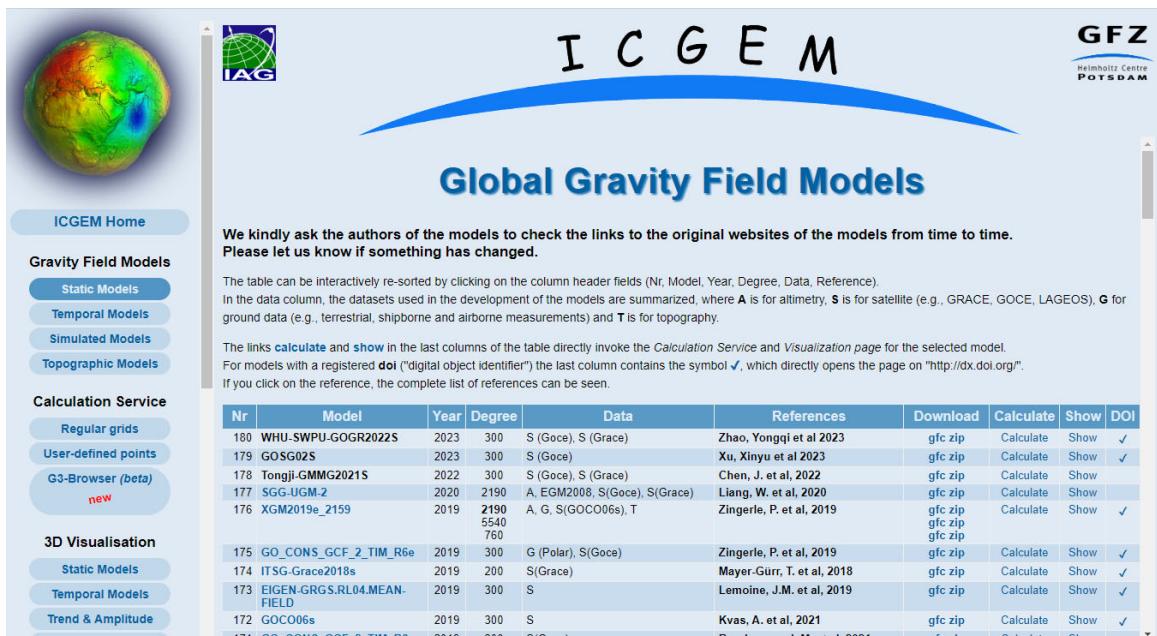


Рис. 2.2. Глобальные модели ГПЗ, представленные на сайте ICGEM

Выбор исследуемой территории (*Grid selection*) задан границами по широте и долготе.

По запросу пользователя можно вычислить (*Functional selection*):

- смешанные аномалии силы тяжести;
  - аномалии высоты;
  - высоты геоида с учетом данных о топографии на исследуемую территорию;
  - аномалии силы тяжести Буге;
  - силу тяжести на поверхности Земли (включая центробежное ускорение);
  - силу тяжести на эллипсоиде, рассчитанную на эллипсоиде;
  - вторые производные по направлению сферического радиуса и др.
- (рис. 2.3).

Исходные данные для лабораторной работы составлены на основе вычисления значений силы тяжести на поверхности Земли в узлах регулярной сетки через  $0,5^\circ$  по широте и долготе.

На рис. 2.4 представлен фрагмент файла результатов вычисления ускорения силы тяжести, полученный в ходе моделирования. В таблице представлены геодезические координаты: широта (latitude) и долгота (longitude),

высота над геоидом (height over geoid) и ускорение силы тяжести (gravity earth).

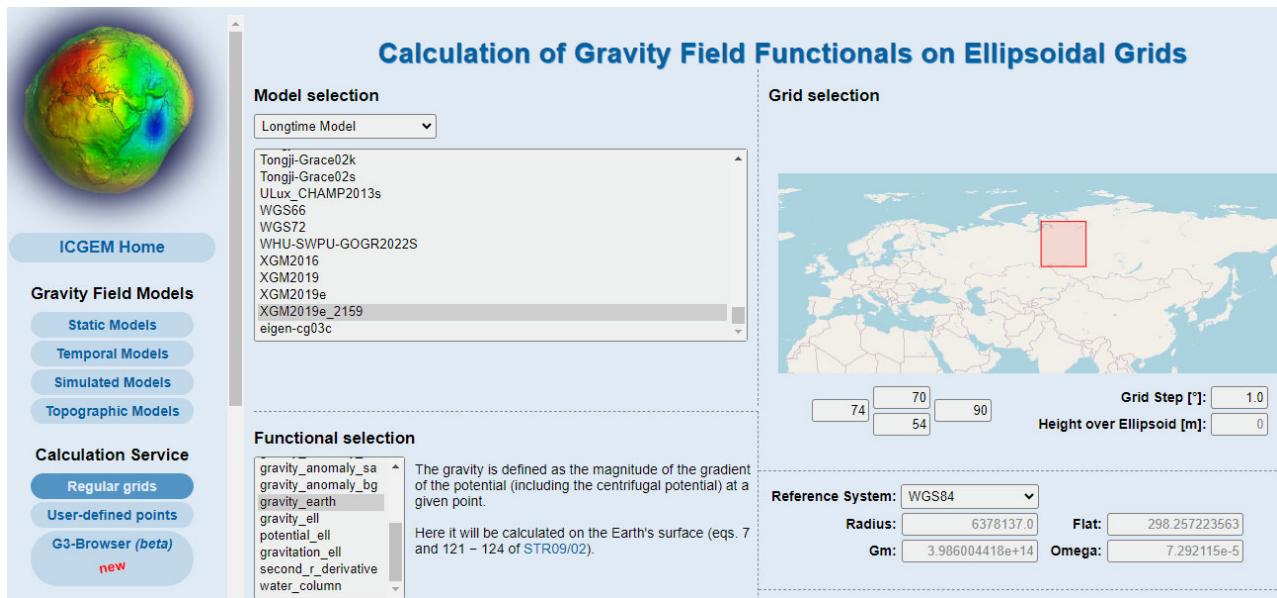


Рис. 2.3. Пользовательский интерфейс калькулятора для вычисления характеристик гравитационного поля Земли

	longitude [deg.]	latitude [deg.]	h_over_geoid [meter]	gravity_earth [mgal]
<hr/>				
end_of_head	74.0000	70.0000	17.00	982609.442243117606
	74.5000	70.0000	34.00	982609.739609456272
	75.0000	70.0000	40.00	982604.808842579834
	75.5000	70.0000	19.00	982602.361083650962
	76.0000	70.0000	60.00	982588.911548742908
	76.5000	70.0000	50.00	982590.749627952697
	77.0000	70.0000	72.00	982589.407101305085
	77.5000	70.0000	41.00	982600.392558072461
	78.0000	70.0000	41.00	982596.371197517379
	78.5000	70.0000	30.00	982593.903952926863
	79.0000	70.0000	16.00	982594.724840848241
	79.5000	70.0000	20.00	982592.090561347781
	80.0000	70.0000	29.00	982587.263226478477

Рис. 2.4. Результаты вычисления характеристик ГПЗ в табличном виде

По результатам вычислений силы тяжести на заданную территорию сформированы варианты для выполнения лабораторной работы (см. прил. 4).

## Порядок и пример выполнения работы

Вычислить аномалии силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге для точек, расположенных:

- 1) на поверхности Земли в равнинном районе;
- 2) на поверхности Земли в горном районе;
- 3) на поверхности моря;
- 4) на дне моря;
- 5) над Землей;
- 6) в скважине.

Для вычисления аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге необходимо использовать формулы (2.1)–(2.10).

Исходные данные и пример вычисления аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе приведены в табл. 2.1. Значения силы тяжести на пункте приведены в миллигалах (мГал), значения высоты пункта – в метрах (м).

Таблица 2.1

Пример вычисления аномалий силы тяжести с редукцией  
за свободный воздух

№ вар.	B	H	h	g	$\gamma_0$	$(H+h)$	$\delta\gamma_1$	$\delta g_1$	$\Delta g_{\text{св.в}}$
1	52 13	5	0	981274	981248,59	5	-1,542	0,000	26,952
2	36 48	384	0	979851	979870,41	384	-118,507	0,000	99,093
3	4 22	0	0	978072,8	978045,90	0	0,000	0,000	26,897
4	25 45	0	-125	979069,3	978990,53	-125	38,586	10,792	50,971
5	67 17	143	500	982192,2	982424,72	643	-198,299	0	-34,222
6	48 50	125	-40	980924,7	980947,93	85	-26,224	8,952	11,944

При вычислении поправки  $\delta\gamma_1$  в формулу (2.3) вместо  $H$  необходимо подставить  $(H+h)$ . Поправка  $\delta g_1$  вычисляется по формуле (2.5) для точек, расположенных на дне моря и в скважине.

Пример вычисления аномалий силы тяжести с редукцией Буге приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Пример вычисления аномалий силы тяжести с редукцией Буге

№ вар.	$B$	$H$	$h$	$g$	$\Delta g_{\text{св.в}}$	$\delta g_2$	$\Delta g_B$
1	52 13	5	0	981274	26,952	-0,559	26,393
2	36 48	384	0	979851	99,093	-42,959	56,134
3	4 22	0	0	978072,8	26,897	0,000	26,897
4	25 45	0	-125	979069,3	50,971	8,590	59,560
5	67 17	143	500	982192,2	-34,222	-15,998	-50,220
6	48 50	125	-40	980924,7	11,944	-9,509	2,435

Для вычисления аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге необходимо использовать формулы (2.1)–(2.4), (2.7), (2.8). Вычисления выполняются для 25 гравиметрических пунктов в соответствии с номером варианта

Исходные данные приведены в табл. 2.3. Значения силы тяжести на пункте приведены в миллигалах (мГал), значения высоты пункта – в метрах (м).

Таблица 2.3

Исходные данные

Вариант 40			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
74,00	54,00	96,00	981 377,28
74,00	54,50	89,00	981 421,70
74,00	55,00	107,00	981 457,94
74,00	55,50	114,00	981 502,86
74,00	56,00	100,00	981 549,01
74,50	54,00	99,00	981 376,09
74,50	54,50	108,00	981 413,99
74,50	55,00	105,00	981 455,10
74,50	55,50	107,00	981 491,46
74,50	56,00	78,00	981 558,96
75,00	54,00	102,00	981 375,57
75,00	54,50	98,00	981 415,56
75,00	55,00	107,00	981 452,75
75,00	55,50	105,00	981 487,11
75,00	56,00	139,00	981 555,56
75,50	54,00	107,00	981 372,35

*Окончание табл. 2.3*

Вариант 40			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H$ , м	$g$ , мГал
75,50	54,50	96,00	981 404,60
75,50	55,00	108,00	981 452,93
75,50	55,50	91,00	981 509,75
75,50	56,00	116,00	981 555,33
76,00	54,00	101,00	981 365,93
76,00	54,50	89,00	981 410,05
76,00	55,00	110,00	981 461,46
76,00	55,50	95,00	981 512,54
76,00	56,00	121,00	981 542,98

Последовательность выполнения работы.

1. Вычислить нормальные значения ускорения силы тяжести на поверхности эллипсоида  $\gamma$  по формуле Гельмерта (2.4). Результаты вычисления представлены в табл. 2.4.

*Таблица 2.4*

Результаты вычисления значений ускорения силы тяжести на поверхности эллипсоида по формуле Гельмерта, мГал

№ п/п	Широта, $^\circ$	Нормальные значения силы тяжести на поверхности эллипсоида $\gamma$ , мГал
1	56	981 574,1
2	55,5	981 532,0
3	55	981 489,5
4	54,5	981 446,8
5	54	981 403,8

Нормальные значения ускорения силы тяжести на поверхности эллипсоида можно получить с помощью таблицы, приведенной в прил. 5.

2. Вычислить поправку за высоту точки над уровнем моря  $\delta\gamma_1$  по формуле (2.3). Результаты вычисления приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты вычисления поправки за высоту точки  
над уровнем моря  $\delta\gamma_1$ , мГал

Геодезич- ская широта, $B^\circ$	Геодезическая долгота, $L^\circ$				
	74	74,5	75	75,5	76
56	-30,85	-24,06	-42,88	-35,78	-37,32
55,5	-35,17	-33,01	-32,39	-28,07	-29,30
55	-33,01	-32,39	-33,01	-33,32	-33,93
54,5	-27,45	-33,32	-30,23	-29,61	-27,45
54	-29,61	-30,54	-31,47	-33,01	-31,16

3. Вычислить аномалии силы тяжести с редукцией за свободный воздух  $\Delta g_{\text{св.в}}$  по формуле (2.2). Результаты вычисления приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты вычисления аномалии силы тяжести с редукцией  
за свободный воздух  $\Delta g_{\text{св.в}}$ , мГал

Геодезическая широта, $B^\circ$	Геодезическая долгота, $L^\circ$				
	74	74,5	75	75,5	76
56	5,72	8,88	24,30	16,98	6,17
55,5	6,07	-7,49	-12,45	5,87	9,89
55	1,45	-1,99	-3,74	-3,24	5,90
54,5	2,39	0,55	-0,97	-12,54	-9,25
54	3,12	2,86	3,27	1,59	-6,69

4. Вычислить поправку  $\delta g_2$ , учитывающую влияние масс, заключенных между уровнем точки наблюдения и поверхностью геоида, по формуле (2.8). Плотность масс промежуточного слоя принять равной  $2,67 \text{ г/см}^3$ . Результаты вычисления приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты вычисления поправки  $\delta g_2$ , мГал

Геодезическая широта, $B^\circ$	Геодезическая долгота, $L^\circ$				
	74	74,5	75	75,5	76
56	-11,19	-8,73	-15,55	-12,98	-13,54
55,5	-12,75	-11,97	-11,75	-10,18	-10,63
55	-11,97	-11,75	-11,97	-12,08	-12,31
54,5	-9,96	-12,08	-10,96	-10,74	-9,96
54	-10,74	-11,08	-11,41	-11,97	-11,30

5. Вычислить аномалии силы тяжести с редукцией Буге по формуле (2.7). Результаты вычисления приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Результаты вычисления аномалии силы тяжести  
с редукцией Буге  $\Delta g_B$ , мГал

Геодезическая широта, $B^\circ$	Геодезическая долгота, $L^\circ$				
	74	74,5	75	75,5	76
56	-5,47	0,16	8,75	4,00	-7,37
55,5	-6,68	-19,46	-24,20	-4,31	-0,74
55	-10,52	-13,74	-15,71	-15,32	-6,40
54,5	-7,56	-11,53	-11,93	-23,28	-19,21
54	-7,62	-8,22	-8,15	-10,38	-17,98

6. Построить гравиметрические карты аномалий силы тяжести с редукциями за свободный воздух и Буге в программном продукте ГИС «Карта Панорама».

Для построения гравиметрических карт необходимо использовать знания и умения, полученные по дисциплине «Геоинформационные системы и технологии» [23, 24].

Исходной информацией для построения гравиметрических карт аномалий силы тяжести с редукцией в свободном воздухе и Буге являются файлы результатов вычислений, представленных в виде таблиц в формате .txt (рис. 2.5).

54,0	74,0	-7,62
54,5	74,0	-7,56
55,0	74,0	-10,52
55,5	74,0	-6,68
56,0	74,0	-5,47

Рис. 2.5. Фрагмент таблицы значений аномалии силы тяжести с редукцией Буге, созданной в формате .txt

Создание гравиметрической карты аномалий силы тяжести масштаба 1 : 1 000 000 с сечением изоаномал через 10 мГал с помощью программного продукта (ПП) ГИС «Панорама» выполняется в определенной последовательности.

1. Запустить ГИС «Панорама».
2. Импортировать файл с результатами вычислений в формате .txt (рис. 2.6).

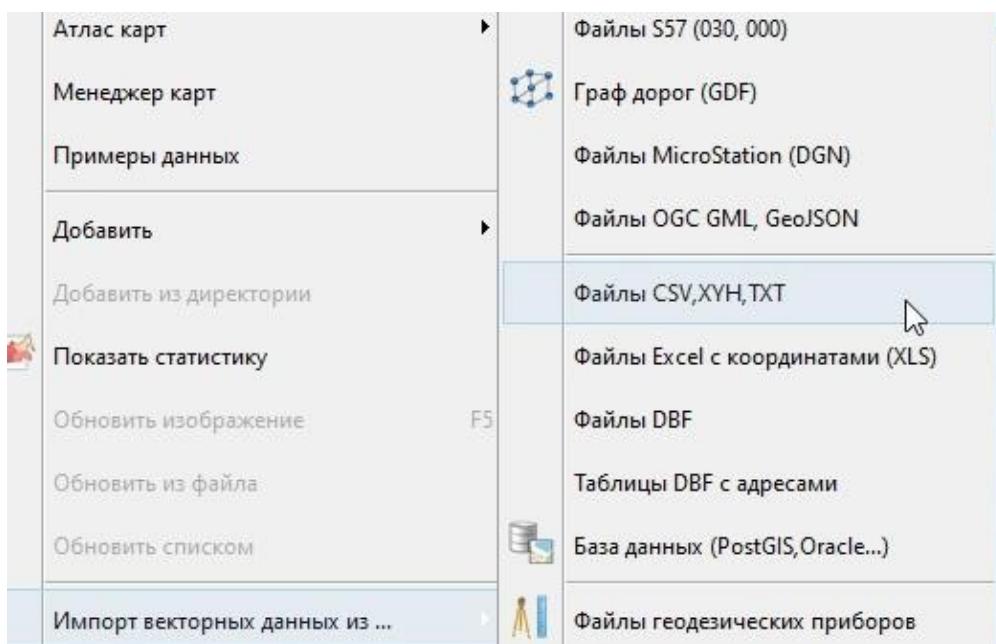


Рис. 2.6. Импорт файла в формате .txt

3. Активировать вкладку «Создание карты», задать имя карты, выбрать эллипсоид, указать классификатор, тип карты и масштаб (рис. 2.7).

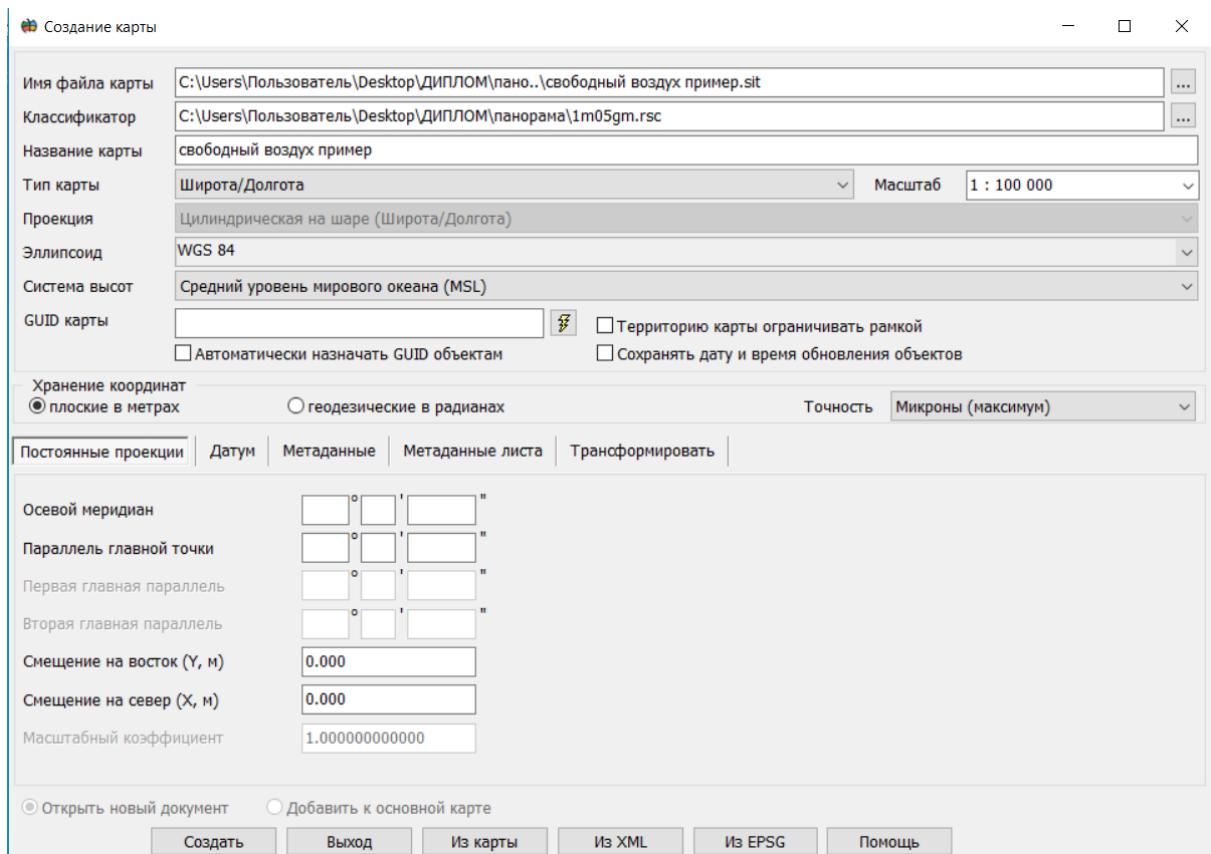


Рис. 2.7. Создание карты

4. Загрузить данные из текстового файла. В открывшемся окне необходимо просмотреть первые пять строчек исходного файла и указать в «Формат строки» – XYZ, «Система координат» – градусы WGS–84, из классификатора выбрать «Вид создаваемых объектов» – гравиметрические пункты (рис. 2.8), «Выполнить» загрузку координат (рис. 2.9).

В результате выполнения команды появится окно с информацией «Обработка информации завершена. Нанесено 25 объектов. Ошибок – 0». На карте появится 25 точек.



Рис. 2.8. Вид создаваемых объектов – гравиметрический пункт

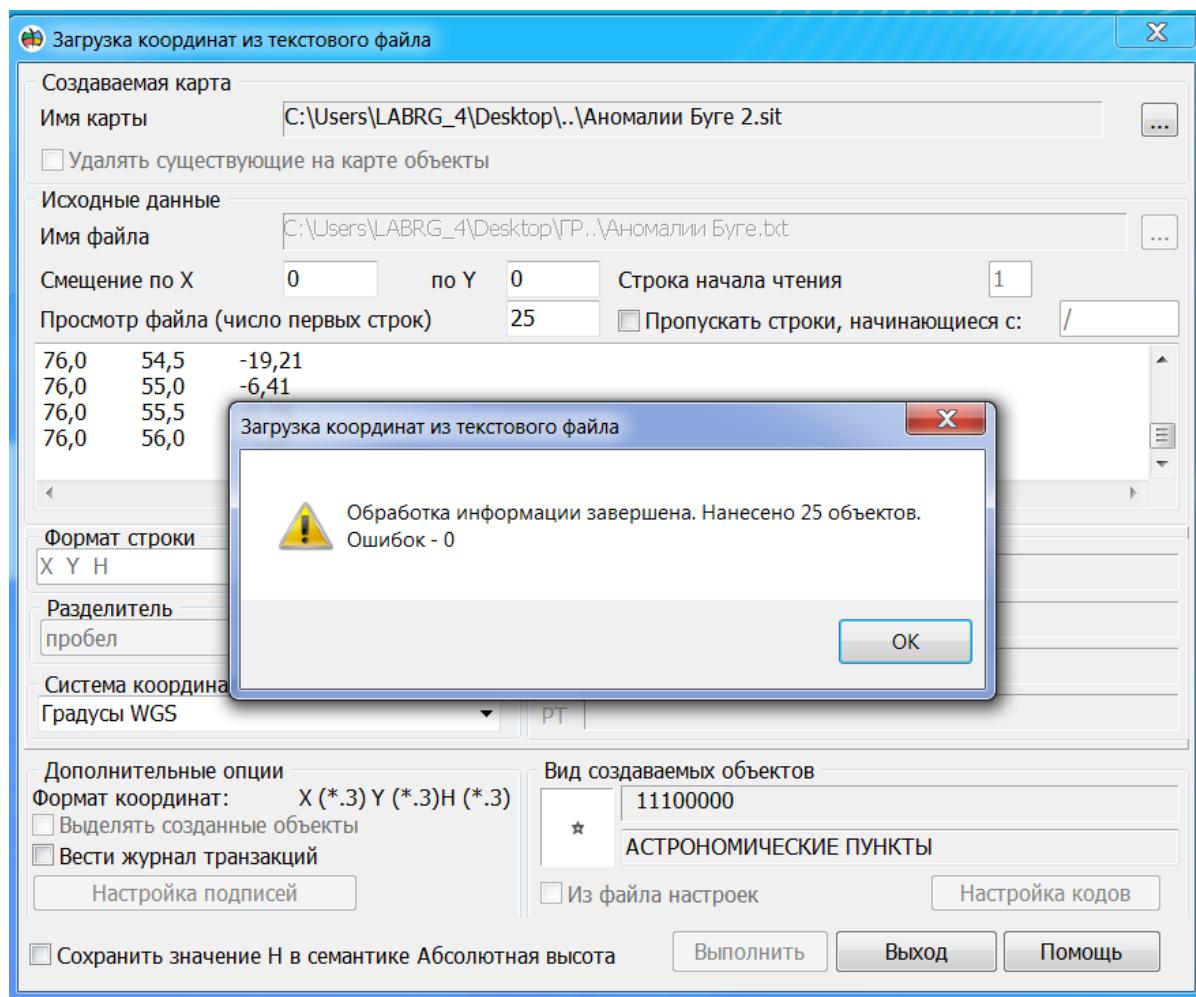


Рис. 2.9. Загрузка данных из текстового файла

5. Построение изолиний. Точки, которые нанесли на карту, необходимо выделить «По условному знаку», и открыть окно «Запуск приложений», используя клавишу F12, выбрать задачу «Построение изолиний по точечным объектам» (рис. 2.10).

Для построения изолиний необходимо указать параметры: третью координату метрики, шаг и форму изолиний, а также выбрать из классификатора утолщенные и основные линии (рис. 2.11).

Выбор кнопки «Выполнить» позволяет построить изолинии. В результате выполнения задачи на экране появятся изолинии, построенные по исходным данным. Для получения сглаженных линий можно применить «Редактирование точки», предварительно выполнив сшивку отрезков каждой изолинии (рис. 2.12).

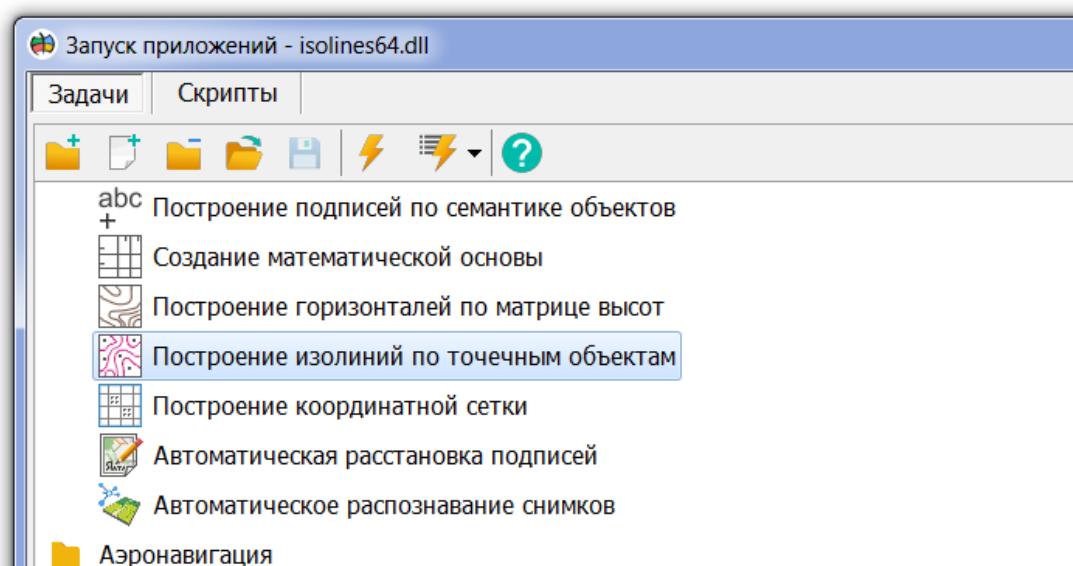


Рис. 2.10. Построение изолиний по точечным объектам

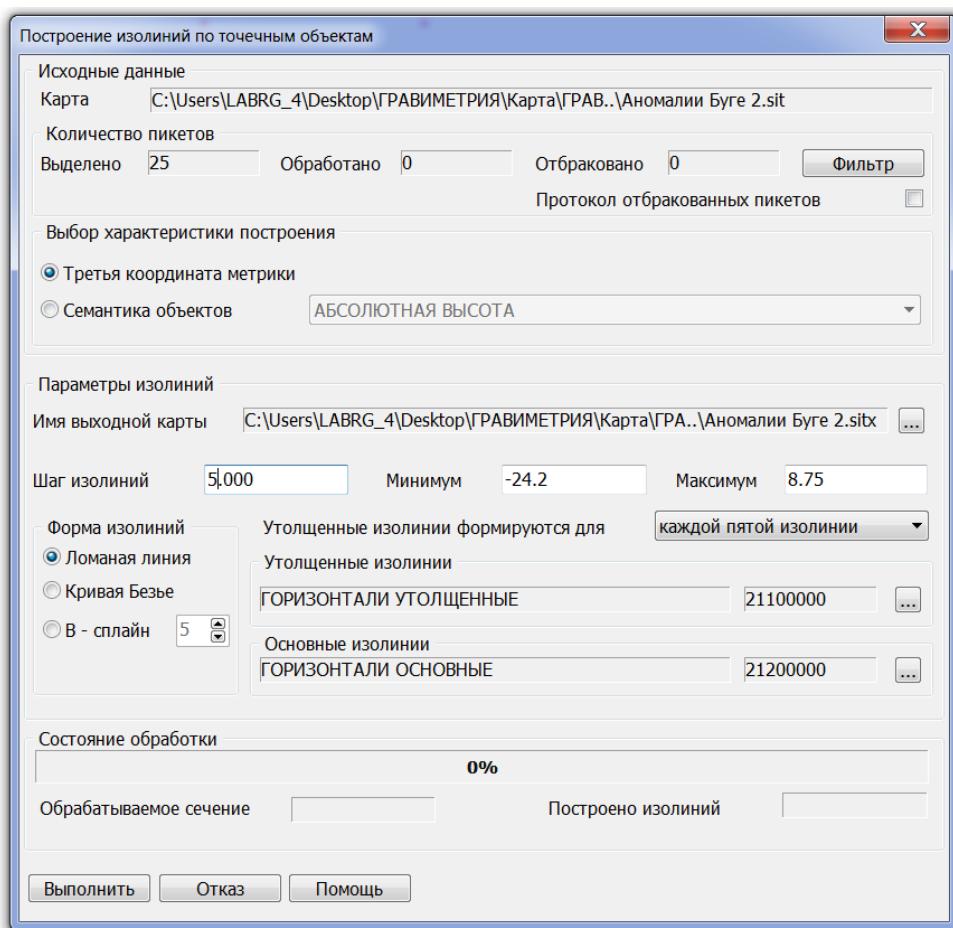


Рис. 2.11. Параметры для построения изолиний

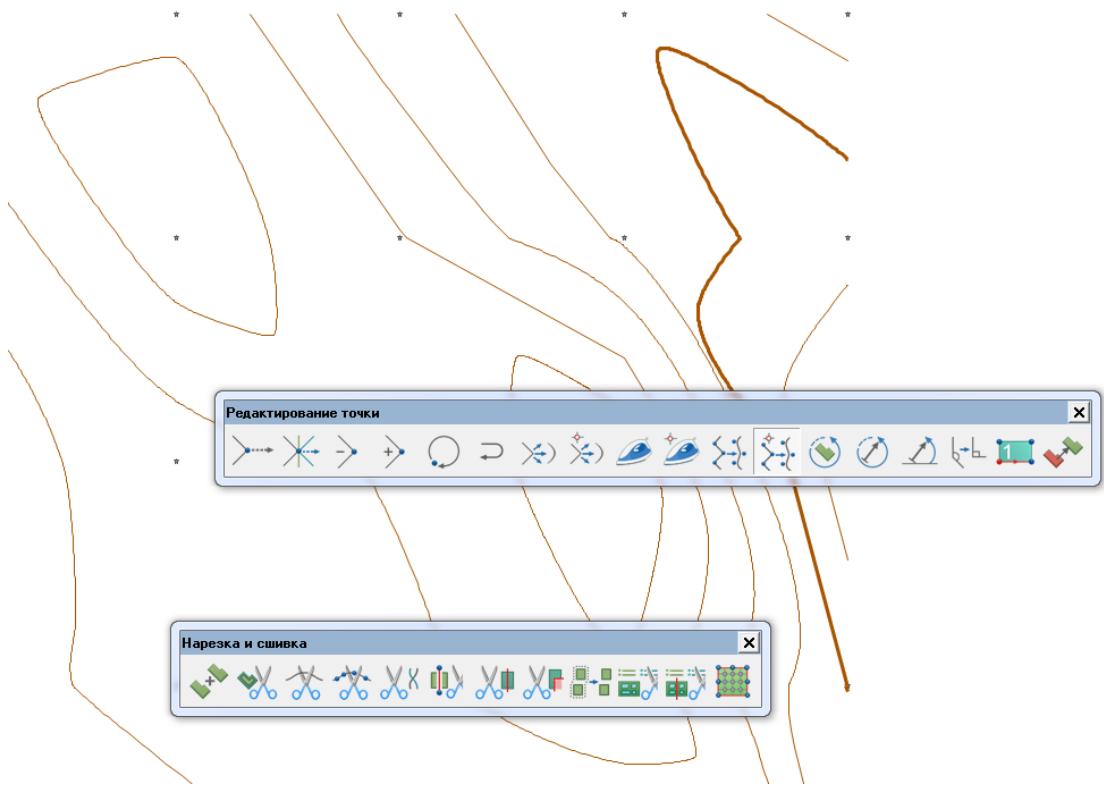


Рис. 2.12. Редактирование построенных изолиний

6. Открыть окно «Запуск приложений», используя клавишу F12, выбрать задачу «Построение координатной сетки» и задать параметры для построения координатной сетки: вид создаваемой сетки – геодезическая, шаг по горизонтали и вертикали – 30 минут, выбрать вид создаваемых объектов. Предварительно можно задать область построения – контур объекта.

На рис. 2.13 представлены изолинии, построенные по вычисленным аномалиям силы тяжести с редукцией Буге, с наложением координатной сетки.

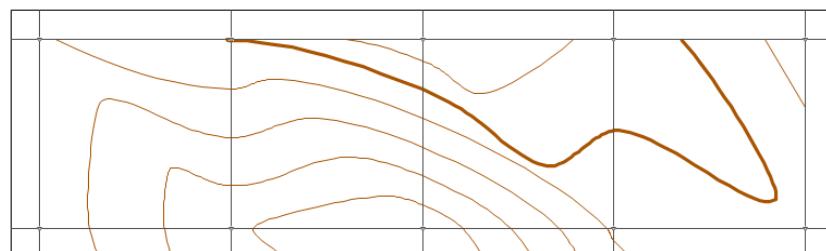


Рис. 2.13. Изолинии, построенные по вычисленным аномалиям силы тяжести с редукцией Буге, с наложением координатной сетки

7. Задать параметры проекции гравиметрической карты (рис. 2.14) и создать зарамочное оформление (рис. 2.15).

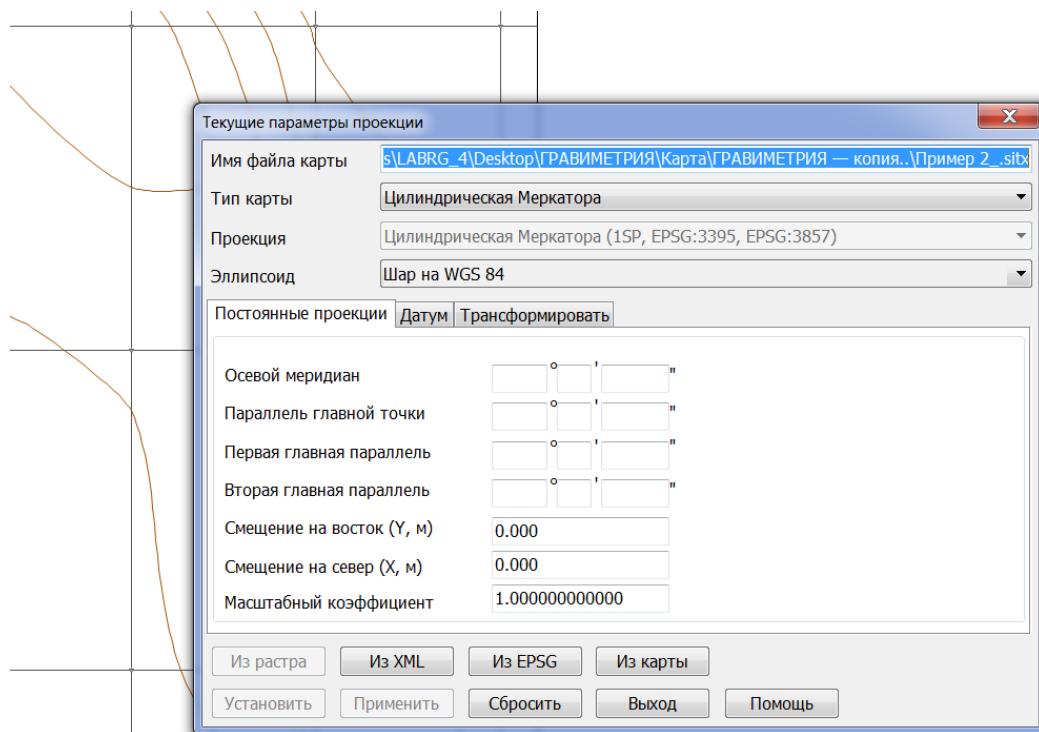


Рис. 2.14. Установки параметров проекции

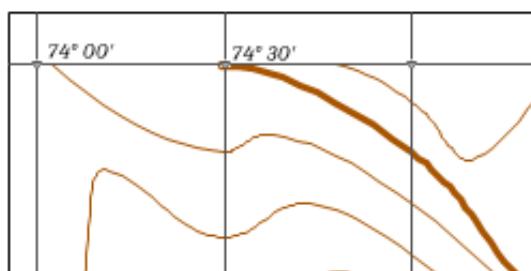


Рис. 2.15. Зарамочное оформление гравиметрической карты

8. Сохранить гравиметрическую карту с редукцией Буге в заданном масштабе, используя вкладку «Сохранение карты в формате TIFF» (рис. 2.16).

На рис. 2.17 представлена гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией Буге в масштабе 1 : 1 000 000.

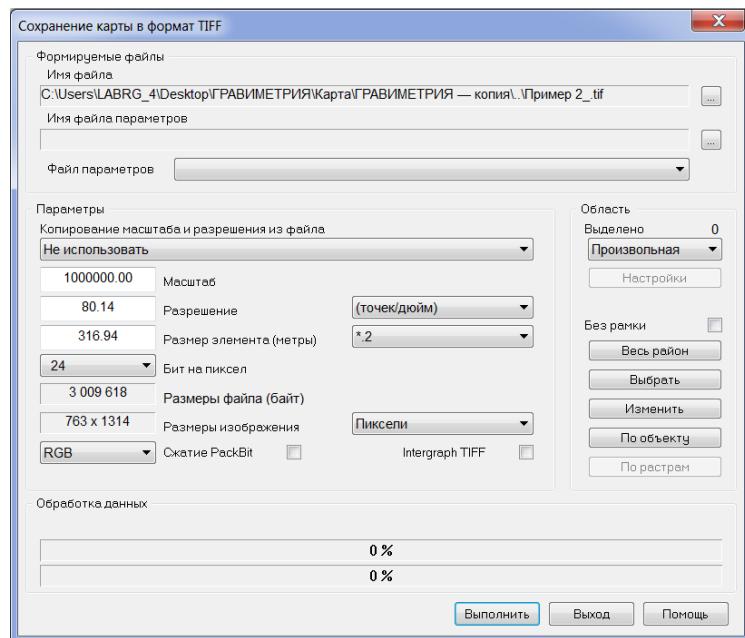
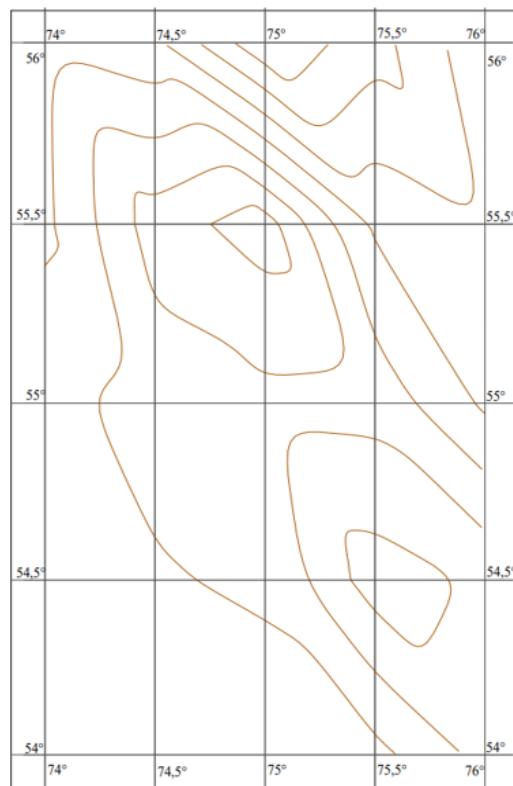


Рис. 2.16. Сохранение карты в выбранном формате



M 1:1 000 000  
Изоаномалии проведены через 5 мГал

Выполнил: ст. гр. БГ-41  
Антоненко Г. В.

Проверил: Ганагина И. Г.

Рис. 2.17. Гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией Буге в масштабе 1 : 1 000 000

## **Материалы, представляемые в отчете**

1. Последовательность вычислений аномалий силы тяжести с редукцией за свободный воздух и редукцией Буге.
2. Результаты вычисления аномалий силы тяжести с редукцией за свободный воздух и редукцией Буге.
3. Гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией за свободный воздух и гравиметрическая карта аномалий силы тяжести с редукцией Буге.

## **Контрольные вопросы**

1. Сила тяжести, ее размерность в системе СИ.
2. Размерность ускорения силы тяжести.
3. Аномалии силы тяжести.
4. Объясните понятия «смешанная аномалия» и «чистая аномалия».
5. Редукции силы тяжести.
6. Объясните физический смысл редукций Буге и за свободный воздух.
7. Гравиметрические карты. Виды гравиметрических карт.
8. Назначение и сферы применения гравиметрических карт.

## **Лабораторная работа № 3**

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

**Цель лабораторной работы.** Освоить метод определения фундаментальных геодезических постоянных – коэффициентов первой формулы Клеро и сжатия уровенного эллипсоида по гравиметрическим данным.

### **Содержание лабораторной работы**

Определить коэффициенты первой формулы Клеро и сжатия уровенного эллипсоида по гравиметрическим данным: измерениям силы тяжести на земной поверхности и значению коэффициента второй зональной гармоники разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям  $J_2$ .

Исходные данные для выполнения лабораторной работы № 3 приведены в прил. 6. Значение  $J_2 = 0,001\,082\,6N$ , где  $N$  – номер варианта.

**Время выполнения:** аудиторные занятия – 8 часов, самостоятельная работа – 8 часов.

### **Основные теоретические сведения**

Фундаментальные геодезические постоянные – взаимосогласованные геодезические постоянные, однозначно определяющие параметры общеземного эллипсоида и нормальное гравитационное поле Земли [28].

Фундаментальные геодезические постоянные, а также параметры общего земного эллипсоида, применяемые в государственных системах координат, приведены в Постановлении Правительства Российской Федерации «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы» от 24 ноября 2016 г. № 1240 [29].

К фундаментальным геодезическим постоянным относятся [29, 30]:

–  $a_e$  – большая полуось уровенного эллипсоида ( $a_e = 6\,378\,136,5$  м);

–  $fM$  – геоцентрическая гравитационная постоянная ( $fM = 398\ 600,441\ 5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ );

- $w$  – угловая скорость вращения Земли ( $w = 7,292\ 115 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$ );
- $\alpha$  – сжатие ( $\alpha = 1/298,2\ 564\ 151$ ).

К физическим постоянным относятся [29, 30]:

–  $U_0$  – потенциал нормальной силы тяжести на поверхности нормальной Земли ( $62\ 636\ 856,75 \text{ м}^2/\text{с}^2$ );

–  $J_2$  – коэффициент второй зональной гармоники нормального потенциала ( $J_2 = 1\ 082,636\ 14 \cdot 10^{-6}$ );

–  $\gamma_e$  – значение нормальной силы тяжести на экваторе ( $\gamma_e = 978\ 032,696 \text{ мГал}$ );

–  $\beta$  и  $\beta_1$  – коэффициенты в первой формуле Клеро с членами второго порядка, которая описывает закон распределения нормальной силы тяжести  $\gamma_0$  на поверхности уровенного эллипсоида

$$\gamma_0 = \gamma_e \left( 1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin 2B \right), \quad (3.1)$$

где  $\beta$  – коэффициент порядка сжатия ( $\beta = 0,005\ 302$ );

$\beta_1$  – коэффициент высшего порядка ( $\beta_1 = 0,000\ 005\ 85$ ), определяемый формулой

$$\beta_1 = \frac{\alpha^2}{8} + \frac{\alpha\beta}{4}. \quad (3.2)$$

Первая формула Алекси Клода Клеро (3.1) дает строгую зависимость изменения ускорения нормальной силы тяжести от широты.

Из приведенных параметров необходимо знать только четыре ( $a_e$ ,  $fM$ ,  $J_2$ ,  $w$ ), остальные параметры можно вычислить [11].

Полярное сжатие  $\alpha$  можно выразить через второй зональный коэффициент разложения потенциала силы тяжести в ряд сферических функций  $J_{20}$  с точностью до малых величин первого порядка [11]:

$$\alpha = \frac{3}{2} J_{20} + \frac{q}{2}, \quad (3.3)$$

$$\text{где } q = \frac{w^2 \alpha}{\gamma_e}.$$

Вторая формула Клеро с членами второго порядка позволяет получить сжатие эллипсоида

$$\alpha = \frac{5}{2}q - \beta. \quad (3.4)$$

Нормальное значение силы тяжести  $\gamma_0$  в формуле (3.1) можно выразить через результаты измерений силы тяжести, используя формулу (2.2).

Теорема Клеро, доказанная в 1743 г., содержит первую и вторую формулы Клеро. После опубликования теоремы Клеро гравиметрия стала неотъемлемой частью геодезии.

### **Порядок выполнения работы**

Для определения фундаментальных постоянных по гравиметрическим данным необходимо располагать измеренными значениями силы тяжести в точках физической поверхности, равномерно покрывающих всю территорию земного шара. В исходных данных (см. прил. 6) приведены значения силы тяжести  $g$  и высоты в десяти точках, расположенных и в северном, и в южном полушариях. Исходные данные смоделированы на основе результатов вычисления онлайн-калькулятора на сайте ICGEM [7].

Определение фундаментальных постоянных, к которым относятся коэффициенты первой формулы Клеро: нормальное значение силы тяжести на экваторе  $\gamma_e$  и коэффициент порядка сжатия  $\beta$  и сжатие уровенного эллипсоида. Сжатие эллипсоида необходимо получить по гравиметрическим данным – измерениям силы тяжести на земной поверхности – и значению коэффициента второй зональной гармоники разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям  $J_2$ .

Для выполнения работы необходимо воспользоваться знаниями и умениями, полученными при выполнении лабораторной работы № 2 и составить уравнения поправок с учетом формул (2.1)–(2.10).

Последовательность выполнения определения фундаментальных постоянных.

1. Выражение (3.1) с учетом формул (2.2)–(2.4) приведем к виду

$$\gamma_0 = \gamma_e \left( 1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B \right) - 14 = g - \delta\gamma_1 - (g - \gamma)_{\text{св.в}} - 14, \quad (3.5)$$

разрешим относительно  $\Delta g_{\text{св.в}}$  и получим

$$\Delta g_{\text{св.в}} = \gamma_e + \gamma_e \beta \sin^2 B - \left( g - 978\,000 - \delta\gamma_1 + \gamma_e \beta \sin^2 B \right) - 978\,000. \quad (3.6)$$

2. Введем обозначения в формуле (3.6):

$$\left. \begin{array}{l} a_i = 1 \\ b_i = \sin^2 Bi \\ l_i = - \left( g_i - 978\,000 - (\delta\gamma_1)_i + \gamma_e \beta_1 \sin^2 2Bi \right) \\ v_i = -\Delta g_{\text{св.в}} \\ x_1 = \gamma_e - 978\,000 \\ x_2 = \gamma_e \beta \end{array} \right\}, \quad (3.7)$$

получим уравнение поправок

$$v_i = a_i x_1 + b_i x_2 + l_i. \quad (3.8)$$

Уравнения поправок запишем в матричном виде

$$AX + \mathbf{l} = V, \quad (3.9)$$

где векторы  $X$ ,  $\mathbf{l}$  и  $V$  представлены в виде

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{l} = \begin{Bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{Bmatrix}, \quad V = \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{Bmatrix}, \quad (3.10)$$

а матрица  $A$  –

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ a_n & b_n \end{pmatrix}. \quad (3.11)$$

3. Составим систему нормальных уравнений под условием

$$[vv] = \min.$$

Число нормальных уравнений равно числу неизвестных:

$$\mathbf{N}\mathbf{X} + \mathbf{L} = 0, \quad (3.12)$$

где матрица  $\mathbf{N}$

$$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{A}, \quad (3.13)$$

$$\mathbf{A}^T = \begin{pmatrix} a_1 & a_1 & \cdots & a_n \\ b_1 & b_2 & \cdots & b_n \end{pmatrix}, \quad (3.14)$$

а вектор свободных членов

$$\mathbf{L} = \mathbf{A}^T \mathbf{l}. \quad (3.15)$$

4. Решение системы нормальных уравнений позволит определить вектор неизвестных

$$\mathbf{X} = -\mathbf{N}^{-1} \mathbf{L} = \mathbf{Q} \mathbf{L}, \quad (3.16)$$

где  $\mathbf{Q}$  – обратная по отношению к  $\mathbf{N}$  матрица:

$$\mathbf{Q} = -\mathbf{N}^{-1} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

5. Определение коэффициентов первой формулы Клеро: нормальное значение силы тяжести на экваторе  $\gamma_e$  и коэффициент порядка сжатия  $\beta$ :

$$\gamma_e = (x_1 + 987\ 000) \text{ (мГал)}, \quad (3.18)$$

$$\beta = \frac{x_2}{\gamma_e}. \quad (3.19)$$

6. Определение сжатия уровенного эллипсоида по формуле (3.4).

7. Определение сжатия уровенного эллипсоида по формуле (3.3) через коэффициент второй зональной гармоники разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям  $J_2$ .

8. Выполнение оценки точности полученных результатов по формулам:

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-k}}, \ m_{\gamma_e} = \mu \sqrt{Q_{11}}, \ m_{\gamma_e \beta} = \mu \sqrt{Q_{22}}, \ m_{\beta} = \frac{m_{\gamma_e \beta}}{m_{\gamma_e}}, \ m_{1/\alpha} = \frac{m_{\beta}}{\alpha^2}. \quad (3.20)$$

### Пример выполнения работы

Исходные данные для выполнения лабораторной работы приведены в табл. 3.1.

*Таблица 3.1*

#### Исходные данные

№ п/п	<i>B</i>		$H^\gamma$ , м	<i>g</i> , мГал
	°	'		
1	57	32	235	981 605,9
2	43	18	3100	979 469,1
3	67	55	0	982 511,6
4	-25	00	0	978 943,9
5	29	30	213	979 180,6
6	5	00	358	977 950,9
7	-55	30	0	981 559,8
8	-17	15	117	978 429,3
9	-28	24	963	978 894,8
10	0	12	174	977 979,70

Вычислить:

- поправки в нормальное поле за высоту пунктов над эллипсоидом  $\delta\gamma_1$  по формуле (2.3);
- из таблицы прил. 7 по значению широты выбрать поправку  $\gamma_e \beta \sin^2 B_i$  ;
- значения  $l_i$  и  $b_i$ , вычисленные по формулам (3.7);
- результаты вычислений привести в табл. 3.2.

*Таблица 3.2*

**Результаты вычислений**

№ п/п	<i>B</i> ,		$(g - 978\ 000)$ , мГал	$\delta\gamma_1$ , мГал	$\gamma_e \beta \sin^2 B$ , мГал	<i>l</i> , мГал	$\gamma_e \beta b$ , мГал	<i>v</i> , мГал	<i>b</i> , мГал
	°	'							
1	57	32	3 605,9	-72,5	6	-3 684	3 691	32,8	0,711 84
2	43	18	1 469,1	-956,5	7	-2 433	2 439	28,2	0,470 35
3	67	55	4 511,6	0,0	3	-4 515	4 455	-32,3	0,859 06
4	-25	00	943,9	0,0	4	-948	926	-4,7	0,178 61
5	29	30	1 180,6	-65,7	5	-1 251	1 257	24,0	0,242 48
6	5	00	-49,1	-110,5	0	-62	39	-7,9	0,007 60
7	-55	30	3 559,8	0,0	6	-3 566	3 522	-18,8	0,679 18
8	-17	15	429,3	-36,1	2	-468	456	4,0	0,087 94
9	-28	24	894,8	-297,2	5	-1 197	1 173	-6,0	0,226 22
10	0	12	-20,30	-53,7	0	-33	0	-19,2	0,000 01

Используя данные табл. 3.2, записать уравнения поправок в виде

$$\left. \begin{array}{l} x_1 + 0,711\,84x_2 - 3\,684 = v_1 \\ x_1 + 0,470\,35x_2 - 2\,433 = v_2 \\ x_1 + 0,859\,06x_2 - 4\,515 = v_3 \\ x_1 + 0,178\,61x_2 - 948 = v_4 \\ x_1 + 0,242\,48x_2 - 1\,251 = v_5 \\ x_1 + 0,007\,60x_2 - 62 = v_6 \\ x_1 + 0,679\,18x_2 - 3\,566 = v_7 \\ x_1 + 0,087\,94x_2 - 468 = v_8 \\ x_1 + 0,226\,22x_2 - 1\,197 = v_9 \\ x_1 + 0,000\,01x_2 - 33 = v_{10} \end{array} \right\}$$

и сформировать матрицу  $A$ :

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0,71184 \\ 1 & 0,47035 \\ 1 & 0,85906 \\ 1 & 0,17861 \\ 1 & 0,24248 \\ 1 & 0,00760 \\ 1 & 0,67918 \\ 1 & 0,08794 \\ 1 & 0,22622 \\ 1 & 0,00001 \end{vmatrix}.$$

Получить систему нормальных уравнений с учетом нормальной матрицы  $N$  и вектора свободных членов  $l$ , составленных по формулам (3.13)–(3.15):

$$N = \begin{bmatrix} 10 & 3,46328 \\ 3,46328 & 2,07688 \end{bmatrix},$$

$$l = \begin{bmatrix} -18156,5 \\ -10852,2 \end{bmatrix},$$

$$\begin{aligned} 10x_1 + 3,46328x_2 - 18156,5 &= 0; \\ 3,46328x_1 + 2,07688x_2 - 10852,2 &= 0. \end{aligned}$$

Получить обратную матрицу  $Q$  и вектор неизвестных  $X$  по формулам (3.16) и (3.17):

$$Q = \begin{bmatrix} 0,23669 & -0,39470 \\ -0,39470 & 1,13967 \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{Bmatrix} 14,194 \\ 5201,595 \end{Bmatrix}.$$

Определить нормальное значение силы тяжести на экваторе  $\gamma_e$  и коэффициент порядка сжатия  $\beta$  по гравиметрическим данным:

$$\gamma_e = x_1 + 978\,000 = 978\,014,2 \text{ мГал},$$

$$\beta = \frac{x_2}{\gamma_e} = 0,005\,318.$$

Приняв  $q = 0,003\,468$ , определить сжатие уровенного эллипсоида по формуле (3.4)

$$\alpha = 0,003\,351, \quad \alpha = \frac{1}{298,3}.$$

Определить сжатие уровенного эллипсоида по коэффициенту второй зональной гармоники разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям  $J_2$  по формуле (3.3)

$$q = 0,003\,468, \quad \alpha' = 0,003\,358, \quad \alpha = \frac{1}{297,8}.$$

Выполнить оценку точности полученных результатов по формулам (3.20)

$$\mu = 21,8 \text{ мГал},$$

где  $n$  – количество измерений ( $n=10$ );

$k$  – количество неизвестных ( $k=2$ );

$$m_{\gamma_e} = 21,8 \sqrt{0,236\,69} = 10,6 \text{ мГал},$$

$$m_{\gamma_e \beta} = 21,8 \sqrt{1,139\,67} = 23,2 \text{ мГал},$$

$$m_\beta = \frac{23,2}{978\,014,2} = 2,4 \cdot 10^{-5},$$

$$m_{\frac{1}{\alpha}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-5}}{(0,003\,351)^2} = 0,007.$$

Проанализировать полученные результаты, сравнить с фундаментальными постоянными, рекомендованными для решения задач геодезии, сделать вывод.

### **Материалы, представляемые в отчете**

1. Результаты определения коэффициентов первой формулы Клеро и сжатие уровенного эллипсоида по гравиметрическим данным: измерениям силы тяжести на земной поверхности и значению коэффициента второй зональной гармоники разложения геопотенциала в ряд по сферическим функциям  $J_2$ .

2. Анализ полученных результатов. Выводы по лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Фундаментальные геодезические постоянные: определение, величины и их значения.

2. Теорема Клеро. Ее значение для геодезии.

3. Поясните связь между динамическими и геометрическими параметрами, характеризующими фигуру Земли.

4. При решении каких задач геодезии необходимо знание фундаментальных постоянных: геодезических и физических постоянных?

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Геодезия, картография, топография, фотограмметрия, геоинформационные системы, пространственные данные. Справочник стандартных (нормативных) терминов / под общ. ред. В. Г. Плешкова, Г. Г. Побединского . – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Проспект, 2015. – 672 с.
2. Сосновская М. В. Учебная практика по гравиметрии. – Новосибирск : НИИГАиК, 1981. – 33 с.
3. Кузьмин В. И., Ганагина И. Г. Гравиметрия : метод. указания. – Новосибирск : СГГА, 2000. – 34 с.
4. Кузьмин В. И., Ганагина И. Г. Гравиметрия : метод. указания. – Новосибирск : СГГА, 2001. – 56 с.
5. Кузьмин В. И., Ганагина И. Г. Гравиметрия : метод. указания. – Новосибирск : СГГА, 2005. – 39 с.
6. Кузьмин В. И. Гравиметрия: практикум по гравиметрии : метод. пособие к выполнению лабораторных работ для студ. геодезических специальностей всех форм обучения. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 170 с.
7. International Centre for Global Earth Models (ICGEM) – [Электронный ресурс]. – URL: <http://icgem.gfz-potsdam.de/calcgrid> (дата обращения 26.01.2024).
8. СТО СМК СГУГиТ 8–06–2021. Стандарт организации. Государственная итоговая аттестация выпускников СГУГиТ. Структура и правила оформления. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 68 с.
9. Инструкция по гравиразведке. Единые технические требования. Ч. 5. – М. : Недра, 1980. – 80 с.
10. Гравиметрия : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1–56 01 02 «Геодезия» / сост. и общ. ред. Г. А. Шароглазовой. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 196 с.
11. Огородова Л. В., Шимбиров Б. П., Юзефович А. П. Гравиметрия. – М. : Недра, 1978. – 325 с.

12. CG-6 AUTOGRAV™ GRAVITY METER. Operation Manual [Электронный ресурс]. – URL: <https://6c3ae8.a2cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2019/03/CG-6-Operations-Manual-RevC.pdf> (дата обращения 09.08.2024).
13. ГОСТ 13017–83. Гравиметры наземные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 36 с.
14. Ладынин А. В. Эталонирование гравиметров методом наклона : метод. пособие. – Новосибирск : НГУ, 2010. – 19 с.
15. ГОСТ Р 52334–2005. Гравиразведка. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2005. – 28 с.
16. ГКИИП(ГНТА)-04-122–03. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России. Утверждена Роскарографией 29.12.2003. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 218 с.
17. Канушин В. Ф., Ганагина И. Г., Голдобин Д. Н. Определение вертикального градиента силы тяжести на территории Западной Сибири // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сборник материалов VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной празднованию 90-летия НИИГАиК – СГГА – СГУГиТ, 23–25 ноября 2022 г., Новосибирск. В 3 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. Ч. 2. – С. 101–107. – DOI10.33764/2687-041X-2021-2-101-107.
18. CG-6 AUTOGRAV™ GRAVITY METER [Электронный ресурс]. – URL: <https://scintrexltd.com/product/cg-6-autograv-gravity-meter/> (дата обращения 09.08.2024).
19. Пугин А. В. Гравиразведка. В 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие. – Пермь : ПГНИУ, 2019. – 110 с.
20. Пугин А. В. Гравиразведка. В 2 ч. Ч. 2 : учеб. пособие. – Пермь : ПГНИУ, 2019. – 94 с.
21. Горожанцев А. В., Огородова И. В., Пугин А. В. Профильная геофизическая практика (гравиразведка) : учеб.-метод. пособие. – Пермь : ПГНИУ, 2022. – 95 с.
22. Костицын В. И. Методы и задачи детальной гравиразведки. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1989. – 128 с.

23. Опритова О. А. Геоинформационные системы и технологии : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 150 с.
24. КБ ГИС «Панорама» [Электронный ресурс]. – URL: <https://gisinfo.ru/?yclid=2534721075156877311> (дата обращения 07.09.2024).
25. Огородова Л. В., Юзефович А. П. Методические указания, программа и контрольная работа № 1 по курсу «Гравиметрия». – М. : МИИГАиК, 1983. – 30 с.
26. Попадьёв В. В., Юзефович А. П. Методические указания, программа и контрольная работа № 1 по курсу «Теория фигур планет и гравиметрия». – М. : МИИГАиК, 2017. – 44 с.
27. Ганагина И. Г., Зверев И. В. Современные технологии определения характеристик гравитационного поля Земли для создания экспериментальной образовательной базы [Электронный ресурс] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 5 (131). – URL: <https://research-journal.org/archive/5-131-2023-may/10.23670/IRJ.2023.131.46> (дата обращения: 17.05.2023). – DOI 10.23670/IRJ.2023.131.46.
28. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек [Электронный ресурс] : приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.09.2017 № 1055-ст. – Доступ из справ-правовой системы «Гарант».
29. Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240. – Доступ из справ-правовой системы «Гарант».
30. Горобец В. П., Ефимов Г. Н., Столяров И. А. Опыт Российской Федерации по установлению государственной системы координат 2011 года // Вестник СГУГиТ – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 24–37.

**Приложение 1**

**ПОЛЕВОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

Гравиметрическая партия \_\_\_\_\_

Гравиметр \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Район работ \_\_\_\_\_

Цена оборота микрометра  $C =$  \_\_\_\_ мГал/обор.

Рейс № \_\_\_\_\_

Наблюдал \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Вычислил \_\_\_\_\_

Наименование пункта	Время отсчета, $T_i$	Температура, $t^{\circ}\text{C}$	Отсчет, $S_i$	Средний отсчет, $\bar{S}_i$	Примечание, $S_1$
1	2	3	4	5	6
ОГП 0165					
3-й этаж					
5-й этаж					
6-й этаж					
5-й этаж					
3-й этаж					
ОГП 0165					

## Приложение 2

Таблица П.2.1

## ЖУРНАЛ ОБРАБОТКИ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Район работ \_\_\_\_\_

Гравиметровая партия \_\_\_\_\_

Название (номер) рейса \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Гравиметр \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Цена оборота микрометра  $C =$  \_\_\_\_\_ мГал/обор.

Наблюдал \_\_\_\_\_

Вычислил \_\_\_\_\_

Наименование пунктов	Время наблюдений, $T_i$ , час	$\Delta T_i$ , час	Отсчет микрометра, $S_i$ , обор.	Отчет, $g^S_i$ , мГал	Шкаловая поправка, $f^S_i$ , мГал	Исправление отсчета за смещение нуль-пункта			Исправленный отчет $g_i$ , мГал	Значение силы тяжести $\Delta g_{i,\text{ср.}}$ , мГал	Приращение силы тяжести $\Delta g_i$ , мГал	Значение силы тяжести на пункте, $g^a_i$ , мГал	Высота, $h$ , м	Вертикальный градиент, мГал/м
						$\Delta G_i$ , мГал	$\Delta t_i$ , час	Поправка за смещение нуль-пункта, $\delta g^{\text{ни}}_i$ , мГал						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ОГП 0165														
3-й этаж														
5-й этаж														
6-й этаж														
5-й этаж														
3-й этаж														
ОГП 0165														

Вычисление коэффициента смещения нуль-пункта:  $k =$  \_\_\_\_\_

Таблица П.2.2

Шкаловые поправки  $f(s)$ , мкГал

Номер гравиметра	Обороты микрометренного винта													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
584	1	1	0	4	1	-1	0	6	-2	-5	-5	-10	0	3
73	0	-5	-3	-13	-10	27	-3	-22	0	-17	12	14	24	10
164	0	21	10	7	10	-18	26	-17	19	-37	17	0	-43	-15
474	2	-12	-2	0	-13	8	-18	-2	-22	8	-6	14	36	0
778	0	-3	-2	0	0	2	-1	-2	3	-1	1	0	2	2
1039	13	3	-2	0	4	-7	-8	-3	2	-5	0	7	-1	3

### Приложение 3

#### Гравиметрический рейс с гравиметром CG-6 AUTOGRAV

Вариант 1			Вариант 2		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:27:32	5619,5479	ОГП 0165	5:28:17	5619,5465
ОГП 0165	5:27:47	5619,5458	ОГП 0165	5:28:32	5619,5473
ОГП 0165	5:28:02	5619,5488	ОГП 0165	5:28:47	5619,5456
п.3	5:48:41	5616,5051	п.3	5:49:26	5616,4961
п.3	5:48:56	5616,4926	п.3	5:49:41	5616,4917
п.3	5:49:11	5616,4939	п.3	5:49:56	5616,4944
п.5	6:03:40	5614,2827	п.5	6:04:25	5614,2881
п.5	6:03:55	5614,2831	п.5	6:04:40	5614,2861
п.5	6:04:10	5614,2820	п.5	6:04:55	5614,2960
п.6	6:18:03	5613,1788	п.6	6:18:48	5613,1774
п.6	6:18:18	5613,1801	п.6	6:19:03	5613,1777
п.6	6:18:33	5613,1783	п.6	6:19:18	5613,1787
п.5	6:33:00	5614,3102	п.5	6:33:45	5614,2952
п.5	6:33:15	5614,2960	п.5	6:34:00	5614,2854
п.5	6:33:30	5614,2975	п.5	6:34:15	5614,2917
ОГП 0165	6:50:39	5619,5681	ОГП 0165	6:51:24	5619,5703
ОГП 0165	6:50:54	5619,5683	ОГП 0165	6:51:39	5619,5720
ОГП 0165	6:51:09	5619,5688	ОГП 0165	6:51:54	5619,5714
Вариант 3			Вариант 4		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:29:02	5619,5462	ОГП 0165	5:29:47	5619,5462
ОГП 0165	5:29:17	5619,5493	ОГП 0165	5:30:02	5619,5479
ОГП 0165	5:29:32	5619,5486	ОГП 0165	5:30:17	5619,5481
п.3	5:50:11	5616,4944	п.3	5:50:56	5616,4919
п.3	5:50:26	5616,4941	п.3	5:51:11	5616,4904
п.3	5:50:41	5616,4920	п.3	5:51:26	5616,4931
п.5	6:05:10	5614,2931	п.5	6:05:55	5614,2874
п.5	6:05:25	5614,2917	п.5	6:06:10	5614,2900
п.5	6:05:40	5614,2893	п.5	6:06:25	5614,2899
п.6	6:19:33	5613,1773	п.6	6:20:18	5613,1776
п.6	6:19:48	5613,1822	п.6	6:20:33	5613,1781
п.6	6:20:03	5613,1787	п.6	6:20:48	5613,1768
п.5	6:34:30	5614,2918	п.5	6:35:15	5614,2975
п.5	6:34:45	5614,2939	п.5	6:35:30	5614,2968
п.5	6:35:00	5614,2953	п.5	6:35:45	5614,2959
ОГП 0165	6:52:09	5619,5689	ОГП 0165	6:52:54	5619,5712
ОГП 0165	6:52:24	5619,5714	ОГП 0165	6:53:09	5619,5715
ОГП 0165	6:52:39	5619,5707	ОГП 0165	6:53:24	5619,5696
Вариант 5			Вариант 6		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:30:32	5619,5471	ОГП 0165	5:31:17	5619,5470
ОГП 0165	5:30:47	5619,5477	ОГП 0165	5:31:32	5619,5480
ОГП 0165	5:31:02	5619,5473	ОГП 0165	5:31:47	5619,5482

п.3	5:51:41	5616,4931	п.3	5:52:26	5616,4945
п.3	5:51:56	5616,4972	п.3	5:52:41	5616,4956
п.3	5:52:11	5616,4959	п.3	5:52:56	5616,4944
п.5	6:06:40	5614,2888	п.5	6:07:25	5614,2964
п.5	6:06:55	5614,2886	п.5	6:07:40	5614,2947
п.5	6:07:10	5614,2937	п.5	6:07:55	5614,2922
п.6	6:21:03	5613,1789	п.6	6:21:48	5613,1773
п.6	6:21:18	5613,1745	п.6	6:22:03	5613,1797
п.6	6:21:33	5613,1784	п.6	6:22:18	5613,1734
п.5	6:36:00	5614,2970	п.5	6:36:45	5614,2954
п.5	6:36:15	5614,2976	п.5	6:37:00	5614,2998
п.5	6:36:30	5614,2954	п.5	6:37:15	5614,2992
ОГП 0165	6:53:39	5619,5725	ОГП 0165	6:54:24	5619,5713
ОГП 0165	6:53:54	5619,5738	ОГП 0165	6:54:39	5619,5748
ОГП 0165	6:54:09	5619,5704	ОГП 0165	6:54:54	5619,5716
Вариант 7			Вариант 8		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:32:02	5619,5491	ОГП 0165	5:32:47	5619,5447
ОГП 0165	5:32:17	5619,5477	ОГП 0165	5:33:02	5619,5488
ОГП 0165	5:32:32	5619,5489	ОГП 0165	5:33:17	5619,5488
п.3	5:53:11	5616,4927	п.3	5:53:56	5616,4944
п.3	5:53:26	5616,4963	п.3	5:54:11	5616,4947
п.3	5:53:41	5616,4939	п.3	5:54:26	5616,4955
п.5	6:08:10	5614,2933	п.5	6:08:55	5614,2866
п.5	6:08:25	5614,2922	п.5	6:09:10	5614,2853
п.5	6:08:40	5614,2933	п.5	6:09:25	5614,2887
п.6	6:22:33	5613,1759	п.6	6:23:18	5613,1735
п.6	6:22:48	5613,1751	п.6	6:23:33	5613,1722
п.6	6:23:03	5613,1757	п.6	6:23:48	5613,1738
п.5	6:37:30	5614,2949	п.5	6:38:15	5614,2971
п.5	6:37:45	5614,2975	п.5	6:38:30	5614,2972
п.5	6:38:00	5614,2980	п.5	6:38:45	5614,2982
ОГП 0165	6:55:09	5619,5726	ОГП 0165	6:55:54	5619,5706
ОГП 0165	6:55:24	5619,5736	ОГП 0165	6:56:09	5619,5719
ОГП 0165	6:55:39	5619,5704	ОГП 0165	6:56:24	5619,5723
Вариант 9			Вариант 10		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:33:32	5619,5497	ОГП 0165	5:34:17	5619,5474
ОГП 0165	5:33:47	5619,5480	ОГП 0165	5:34:32	5619,5464
ОГП 0165	5:34:02	5619,5492	ОГП 0165	5:34:47	5619,5474
п.3	5:54:41	5616,4927	п.3	5:55:26	5616,4927
п.3	5:54:56	5616,4934	п.3	5:55:41	5616,4955
п.3	5:55:11	5616,4951	п.3	5:55:56	5616,4921
п.5	6:09:40	5614,2900	п.5	6:10:25	5614,2877
п.5	6:09:55	5614,2897	п.5	6:10:40	5614,2904
п.5	6:10:10	5614,2901	п.5	6:10:55	5614,2947
п.6	6:24:03	5613,1770	п.6	6:24:48	5613,1766
п.6	6:24:18	5613,1749	п.6	6:25:03	5613,1746

п.6	6:24:33	5613,1724	п.6	6:25:18	5613,1800
п.5	6:39:00	5614,2988	п.5	6:39:45	5614,2933
п.5	6:39:15	5614,2961	п.5	6:40:00	5614,2904
п.5	6:39:30	5614,3017	п.5	6:40:15	5614,2994
ОГП 0165	6:56:39	5619,5725	ОГП 0165	6:57:24	5619,5737
ОГП 0165	6:56:54	5619,5706	ОГП 0165	6:57:39	5619,5713
ОГП 0165	6:57:09	5619,5728	ОГП 0165	6:57:54	5619,5740
Вариант 11			Вариант 12		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:35:02	5619,5482	ОГП 0165	5:35:47	5619,5491
ОГП 0165	5:35:17	5619,5489	ОГП 0165	5:36:02	5619,5478
ОГП 0165	5:35:32	5619,5484	ОГП 0165	5:36:17	5619,5485
п.3	5:56:11	5616,4942	п.3	5:56:56	5616,4930
п.3	5:56:26	5616,4963	п.3	5:57:11	5616,4925
п.3	5:56:41	5616,4928	п.3	5:57:26	5616,4973
п.5	6:11:10	5614,2904	п.5	6:11:55	5614,2903
п.5	6:11:25	5614,2920	п.5	6:12:10	5614,2931
п.5	6:11:40	5614,2888	п.5	6:12:25	5614,2886
п.6	6:25:33	5613,1736	п.6	6:26:18	5613,1725
п.6	6:25:48	5613,1771	п.6	6:26:33	5613,1741
п.6	6:26:03	5613,1739	п.6	6:26:48	5613,1723
п.5	6:40:30	5614,2992	п.5	6:41:15	5614,3049
п.5	6:40:45	5614,3049	п.5	6:41:30	5614,3082
п.5	6:41:00	5614,2964	п.5	6:41:45	5614,3062
ОГП 0165	6:56:39	5619,5725	ОГП 0165	6:57:24	5619,5737
ОГП 0165	6:56:54	5619,5706	ОГП 0165	6:57:39	5619,5713
ОГП 0165	6:57:09	5619,5728	ОГП 0165	6:57:54	5619,5740
Вариант 13			Вариант 14		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:36:32	5619,5480	ОГП 0165	5:37:17	5619,5469
ОГП 0165	5:36:47	5619,5472	ОГП 0165	5:37:32	5619,5476
ОГП 0165	5:37:02	5619,5509	ОГП 0165	5:37:47	5619,5466
п.3	5:57:41	5616,4957	п.3	5:58:26	5616,4961
п.3	5:57:56	5616,4936	п.3	5:58:41	5616,4938
п.3	5:58:11	5616,4955	п.3	5:58:56	5616,4935
п.5	6:12:40	5614,2864	п.5	6:13:25	5614,2894
п.5	6:12:55	5614,2890	п.5	6:13:40	5614,2844
п.5	6:13:10	5614,2892	п.5	6:13:55	5614,2885
п.6	6:27:03	5613,1738	п.6	6:27:48	5613,1773
п.6	6:27:18	5613,1708	п.6	6:28:03	5613,1747
п.6	6:27:33	5613,1762	п.6	6:28:18	5613,1714
п.5	6:42:00	5614,3101	п.5	6:42:45	5614,2996
п.5	6:42:15	5614,3025	п.5	6:43:00	5614,3071
п.5	6:42:30	5614,3011	п.5	6:43:15	5614,3041
ОГП 0165	6:58:09	5619,5699	ОГП 0165	6:58:54	5619,5742
ОГП 0165	6:58:24	5619,5697	ОГП 0165	6:59:09	5619,5756
ОГП 0165	6:58:39	5619,5710	ОГП 0165	6:59:24	5619,5727

Вариант 15			Вариант 16		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:38:02	5619,5465	ОГП 0165	5:27:28	5548,1742
ОГП 0165	5:38:17	5619,5465	ОГП 0165	5:27:43	5548,1761
ОГП 0165	5:38:32	5619,5469	ОГП 0165	5:27:58	5548,1736
п.3	5:59:11	5616,4954	п.3	5:48:41	5545,1037
п.3	5:59:26	5616,4941	п.3	5:48:56	5545,1119
п.3	5:59:41	5616,4854	п.3	5:49:11	5545,1103
п.5	6:14:10	5614,2920	п.5	6:03:39	5542,9137
п.5	6:14:25	5614,2814	п.5	6:03:54	5542,9129
п.5	6:14:40	5614,2837	п.5	6:04:09	5542,9147
п.6	6:28:33	5613,1684	п.6	6:17:58	5541,7910
п.6	6:28:48	5613,1795	п.6	6:18:13	5541,7981
п.6	6:29:03	5613,1721	п.6	6:18:28	5541,7918
п.5	6:43:30	5614,2974	п.5	6:32:56	5542,9168
п.5	6:43:45	5614,3025	п.5	6:33:11	5542,9071
п.5	6:44:00	5614,3030	п.5	6:33:26	5542,9197
ОГП 0165	6:59:39	5619,5746	ОГП 0165	6:50:35	5548,1827
ОГП 0165	6:59:54	5619,5727	ОГП 0165	6:50:50	5548,1850
ОГП 0165	7:00:09	5619,5722	ОГП 0165	6:51:05	5548,1816
Вариант 17			Вариант 18		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:28:13	5548,1710	ОГП 0165	5:28:58	5548,1742
ОГП 0165	5:28:28	5548,1744	ОГП 0165	5:29:13	5548,1728
ОГП 0165	5:28:43	5548,1726	ОГП 0165	5:29:28	5548,1724
п.3	5:49:26	5545,1130	п.3	5:50:11	5545,1115
п.3	5:49:41	5545,1094	п.3	5:50:26	5545,1108
п.3	5:49:56	5545,1097	п.3	5:50:41	5545,1111
п.5	6:04:24	5542,9131	п.5	6:05:09	5542,9110
п.5	6:04:39	5542,9131	п.5	6:05:24	5542,9119
п.5	6:04:54	5542,9127	п.5	6:05:39	5542,9121
п.6	6:18:43	5541,7914	п.6	6:19:28	5541,7948
п.6	6:18:58	5541,7910	п.6	6:19:43	5541,7915
п.6	6:19:13	5541,7922	п.6	6:19:58	5541,7931
п.5	6:33:41	5542,9164	п.5	6:34:26	5542,9169
п.5	6:33:56	5542,9135	п.5	6:34:41	5542,9144
п.5	6:34:11	5542,9113	п.5	6:34:56	5542,9148
ОГП 0165	6:51:20	5548,1833	ОГП 0165	6:52:05	5548,1822
ОГП 0165	6:51:35	5548,1851	ОГП 0165	6:52:20	5548,1841
ОГП 0165	6:51:50	5548,1823	ОГП 0165	6:52:35	5548,1822
Вариант 19			Вариант 20		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:29:43	5548,1729	ОГП 0165	5:30:28	5548,1708
ОГП 0165	5:29:58	5548,1757	ОГП 0165	5:30:43	5548,1714
ОГП 0165	5:30:13	5548,1688	ОГП 0165	5:30:58	5548,1729
п.3	5:50:56	5545,1098	п.3	5:51:41	5545,1148
п.3	5:51:11	5545,1105	п.3	5:51:56	5545,1099
п.3	5:51:26	5545,1097	п.3	5:52:11	5545,1095

п.5	6:05:54	5542,9131	п.5	6:06:39	5542,9108
п.5	6:06:09	5542,9121	п.5	6:06:54	5542,9120
п.5	6:06:24	5542,9100	п.5	6:07:09	5542,9136
п.6	6:20:13	5541,7915	п.6	6:20:58	5541,7918
п.6	6:20:28	5541,7923	п.6	6:21:13	5541,7933
п.6	6:20:43	5541,7889	п.6	6:21:28	5541,7961
п.5	6:35:11	5542,9141	п.5	6:35:56	5542,9156
п.5	6:35:26	5542,9161	п.5	6:36:11	5542,9159
п.5	6:35:41	5542,9157	п.5	6:36:26	5542,9131
ОГП 0165	6:52:50	5548,1827	ОГП 0165	6:53:35	5548,1814
ОГП 0165	6:53:05	5548,1819	ОГП 0165	6:53:50	5548,1838
ОГП 0165	6:53:20	5548,1840	ОГП 0165	6:54:05	5548,1826
Вариант 21			Вариант 22		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:31:13	5548,1725	ОГП 0165	5:31:58	5548,1725
ОГП 0165	5:31:28	5548,1723	ОГП 0165	5:32:13	5548,1732
ОГП 0165	5:31:43	5548,1707	ОГП 0165	5:32:28	5548,1730
п.3	5:52:26	5545,1088	п.3	5:53:11	5545,1114
п.3	5:52:41	5545,1107	п.3	5:53:26	5545,1094
п.3	5:52:56	5545,1128	п.3	5:53:41	5545,1107
п.5	6:07:24	5542,9132	п.5	6:08:09	5542,9118
п.5	6:07:39	5542,9108	п.5	6:08:24	5542,9099
п.5	6:07:54	5542,9118	п.5	6:08:39	5542,9130
п.6	6:21:43	5541,7926	п.6	6:22:28	5541,7928
п.6	6:21:58	5541,7926	п.6	6:22:43	5541,7947
п.6	6:22:13	5541,7903	п.6	6:22:58	5541,7959
п.5	6:36:41	5542,9137	п.5	6:37:26	5542,9151
п.5	6:36:56	5542,9119	п.5	6:37:41	5542,9150
п.5	6:37:11	5542,9169	п.5	6:37:56	5542,9169
ОГП 0165	6:54:20	5548,1828	ОГП 0165	6:55:05	5548,1818
ОГП 0165	6:54:35	5548,1838	ОГП 0165	6:55:20	5548,1838
ОГП 0165	6:54:50	5548,1821	ОГП 0165	6:55:35	5548,1829
Вариант 23			Вариант 24		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:32:43	5548,1724	ОГП 0165	5:33:28	5548,1702
ОГП 0165	5:32:58	5548,1729	ОГП 0165	5:33:43	5548,1738
ОГП 0165	5:33:13	5548,1742	ОГП 0165	5:33:58	5548,1727
п.3	5:53:56	5545,1104	п.3	5:54:41	5545,1107
п.3	5:54:11	5545,1098	п.3	5:54:56	5545,1098
п.3	5:54:26	5545,1134	п.3	5:55:11	5545,1118
п.5	6:08:54	5542,9101	п.5	6:09:39	5542,9101
п.5	6:09:09	5542,9118	п.5	6:09:54	5542,9112
п.5	6:09:24	5542,9114	п.5	6:10:09	5542,9139
п.6	6:23:13	5541,7955	п.6	6:23:58	5541,7894
п.6	6:23:28	5541,7929	п.6	6:24:13	5541,7965
п.6	6:23:43	5541,7899	п.6	6:24:28	5541,7928
п.5	6:38:11	5542,9167	п.5	6:38:56	5542,9205
п.5	6:38:26	5542,9163	п.5	6:39:11	5542,9139

п.5	6:38:41	5542,9143	п.5	6:39:26	5542,9172
ОГП 0165	6:55:50	5548,1810	ОГП 0165	6:56:35	5548,1821
ОГП 0165	6:56:05	5548,1820	ОГП 0165	6:56:50	5548,1804
ОГП 0165	6:56:20	5548,1820	ОГП 0165	6:57:05	5548,1840
Вариант 25			Вариант 26		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:34:13	5548,1728	ОГП 0165	5:34:58	5548,1732
ОГП 0165	5:34:28	5548,1732	ОГП 0165	5:35:13	5548,1706
ОГП 0165	5:34:43	5548,1719	ОГП 0165	5:35:28	5548,1725
п.3	5:55:26	5545,1108	п.3	5:56:11	5545,1095
п.3	5:55:41	5545,1119	п.3	5:56:26	5545,1104
п.3	5:55:56	5545,1093	п.3	5:56:41	5545,1110
п.5	6:10:24	5542,9141	п.5	6:11:09	5542,9118
п.5	6:10:39	5542,9129	п.5	6:11:24	5542,9106
п.5	6:10:54	5542,9114	п.5	6:11:39	5542,9142
п.6	6:24:43	5541,7987	п.6	6:25:28	5541,7975
п.6	6:24:58	5541,7975	п.6	6:25:43	5541,7979
п.6	6:25:13	5541,7962	п.6	6:25:58	5541,7954
п.5	6:39:41	5542,9144	п.5	6:40:26	5542,9167
п.5	6:39:56	5542,9184	п.5	6:40:41	5542,9194
п.5	6:40:11	5542,9155	п.5	6:40:56	5542,9065
ОГП 0165	6:57:20	5548,1857	ОГП 0165	6:58:05	5548,1825
ОГП 0165	6:57:35	5548,1833	ОГП 0165	6:58:20	5548,1846
ОГП 0165	6:57:50	5548,1831	ОГП 0165	6:58:35	5548,1813
Вариант 27			Вариант 28		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:35:43	5548,1719	ОГП 0165	5:36:28	5548,1729
ОГП 0165	5:35:58	5548,1709	ОГП 0165	5:36:43	5548,1714
ОГП 0165	5:36:13	5548,1728	ОГП 0165	5:36:58	5548,1730
п.3	5:56:56	5545,1120	п.3	5:57:41	5545,1141
п.3	5:57:11	5545,1084	п.3	5:57:56	5545,1108
п.3	5:57:26	5545,1090	п.3	5:58:11	5545,1097
п.5	6:11:54	5542,9115	п.5	6:12:39	5542,9114
п.5	6:12:09	5542,9138	п.5	6:12:54	5542,9120
п.5	6:12:24	5542,9099	п.5	6:13:09	5542,9142
п.6	6:26:13	5541,7900	п.6	6:26:58	5541,7941
п.6	6:26:28	5541,8003	п.6	6:27:13	5541,7918
п.6	6:26:43	5541,7913	п.6	6:27:28	5541,7952
п.5	6:41:11	5542,9159	п.5	6:41:56	5542,9195
п.5	6:41:26	5542,9319	п.5	6:42:11	5542,9140
п.5	6:41:41	5542,9176	п.5	6:42:26	5542,9162
ОГП 0165	6:58:50	5548,1813	ОГП 0165	6:59:35	5548,1823
ОГП 0165	6:59:05	5548,1809	ОГП 0165	6:59:50	5548,1817
ОГП 0165	6:59:20	5548,1807	ОГП 0165	7:00:05	5548,1810
Вариант 29			Вариант 30		
Station	Time	CorrGrav	Station	Time	CorrGrav
ОГП 0165	5:37:13	5548,1703	ОГП 0165	5:37:58	5548,1704
ОГП 0165	5:37:28	5548,1715	ОГП 0165	5:38:13	5548,1702

ОГП 0165	5:37:43	5548,1703	ОГП 0165	5:38:28	5548,1717
п.3	5:58:26	5545,1114	п.3	5:59:11	5545,1103
п.3	5:58:41	5545,1086	п.3	5:59:26	5545,1073
п.3	5:58:56	5545,1095	п.3	5:59:41	5545,1065
п.5	6:13:24	5542,9126	п.5	6:14:09	5542,9146
п.5	6:13:39	5542,9121	п.5	6:14:24	5542,9086
п.5	6:13:54	5542,9130	п.5	6:14:39	5542,9126
п.6	6:27:43	5541,7989	п.6	6:28:28	5541,7903
п.6	6:27:58	5541,7945	п.6	6:28:43	5541,7937
п.6	6:28:13	5541,7941	п.6	6:28:58	5541,7925
п.5	6:42:41	5542,9084	п.5	6:43:26	5542,9113
п.5	6:42:56	5542,9243	п.5	6:43:41	5542,9139
п.5	6:43:11	5542,9206	п.5	6:43:56	5542,9130
ОГП 0165	7:00:20	5548,1819	ОГП 0165	7:01:05	5548,1793
ОГП 0165	7:00:35	5548,1826	ОГП 0165	7:01:20	5548,1813
ОГП 0165	7:00:50	5548,1828	ОГП 0165	7:01:35	5548,1807

## Приложение 4

### Исходные данные для выполнения лабораторной работы № 2

Вариант 1				Вариант 2			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
74,00	54,00	96,00	981 377,28	74,00	56,50	86,00	981 593,85
74,00	54,50	89,00	981 421,70	74,00	57,00	68,00	981 644,83
74,00	55,00	107,00	981 457,94	74,00	57,50	143,00	981 665,02
74,00	55,50	114,00	981 502,86	74,00	58,00	119,00	981 703,22
74,00	56,00	100,00	981 549,01	74,00	58,50	94,00	981 742,84
74,50	54,00	99,00	981 376,09	74,50	56,50	78,00	981 609,82
74,50	54,50	108,00	981 413,99	74,50	57,00	121,00	981 630,61
74,50	55,00	105,00	981 455,10	74,50	57,50	117,00	981 671,02
74,50	55,50	107,00	981 491,46	74,50	58,00	129,00	981 698,97
74,50	56,00	78,00	981 558,96	74,50	58,50	93,00	981 751,63
75,00	54,00	102,00	981 375,57	75,00	56,50	123,00	981 596,33
75,00	54,50	98,00	981 415,56	75,00	57,00	85,00	981 648,28
75,00	55,00	107,00	981 452,75	75,00	57,50	133,00	981 667,07
75,00	55,50	105,00	981 487,11	75,00	58,00	117,00	981 710,73
75,00	56,00	139,00	981 555,56	75,00	58,50	121,00	981 747,34
75,50	54,00	107,00	981 372,35	75,50	56,50	121,00	981 597,41
75,50	54,50	96,00	981 404,60	75,50	57,00	131,00	981 629,01
75,50	55,00	108,00	981 452,93	75,50	57,50	132,00	981 665,70
75,50	55,50	91,00	981 509,75	75,50	58,00	117,00	981 711,30
75,50	56,00	116,00	981 555,33	75,50	58,50	111,00	981 751,73
76,00	54,00	101,00	981 365,93	76,00	56,50	121,00	981 575,29
76,00	54,50	89,00	981 410,05	76,00	57,00	123,00	981 637,53
76,00	55,00	110,00	981 461,46	76,00	57,50	129,00	981 673,57
76,00	55,50	95,00	981 512,54	76,00	58,00	115,00	981 704,77
76,00	56,00	121,00	981 542,98	76,00	58,50	100,00	981 755,47
Вариант 3				Вариант 4			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
74,00	59,00	70,00	981 795,82	74,00	61,50	47,00	982 006,04
74,00	59,50	98,00	981 824,32	74,00	62,00	54,00	982 049,57
74,00	60,00	90,00	981 874,34	74,00	62,50	82,00	982 071,48
74,00	60,50	36,00	981 935,16	74,00	63,00	101,00	982 106,09
74,00	61,00	49,00	981 977,87	74,00	63,50	100,00	982 129,84
74,50	59,00	91,00	981 796,03	74,50	61,50	43,00	982 029,72
74,50	59,50	96,00	981 832,54	74,50	62,00	74,00	982 051,38
74,50	60,00	91,00	981 876,16	74,50	62,50	82,00	982 071,42
74,50	60,50	60,00	981 928,38	74,50	63,00	108,00	982 097,38
74,50	61,00	64,00	981 984,02	74,50	63,50	72,00	982 144,40
75,00	59,00	105,00	981 779,47	75,00	61,50	52,00	982 011,24

75,00	59,50	90,00	981 836,04	75,00	62,00	77,00	982 041,77
75,00	60,00	81,00	981 887,55	75,00	62,50	70,00	982 080,40
75,00	60,50	78,00	981 928,49	75,00	63,00	116,00	982 101,75
75,00	61,00	47,00	981 976,62	75,00	63,50	75,00	982 151,44
75,50	59,00	105,00	981 785,68	75,50	61,50	56,00	981 999,23
75,50	59,50	89,00	981 836,48	75,50	62,00	56,00	982 048,77
75,50	60,00	102,00	981 887,03	75,50	62,50	74,00	982 083,02
75,50	60,50	65,00	981 928,88	75,50	63,00	127,00	982 102,71
75,50	61,00	19,00	981 976,08	75,50	63,50	92,00	982 142,15
76,00	59,00	99,00	981 787,58	76,00	61,50	103,00	981 978,71
76,00	59,50	94,00	981 833,13	76,00	62,00	61,00	982 048,20
76,00	60,00	91,00	981 879,31	76,00	62,50	81,00	982 077,06
76,00	60,50	88,00	981 902,89	76,00	63,00	121,00	982 097,92
76,00	61,00	29,00	981 956,70	76,00	63,50	83,00	982 145,19
Вариант 5				Вариант 6			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
74,00	64,00	116,00	982 172,39	74,00	66,50	36,00	982 366,33
74,00	64,50	77,00	982 209,68	74,00	67,00	25,00	982 398,70
74,00	65,00	32,00	982 272,19	74,00	67,50	0,00	982 440,62
74,00	65,50	48,00	982 284,18	74,00	68,00	0,00	982 476,60
74,00	66,00	70,00	982 306,27	74,00	68,50	0,00	982 509,45
74,50	64,00	91,00	982 171,36	74,50	66,50	44,00	982 373,77
74,50	64,50	101,00	982 211,21	74,50	67,00	40,00	982 394,08
74,50	65,00	48,00	982 273,99	74,50	67,50	58,00	982 426,15
74,50	65,50	73,00	982 280,61	74,50	68,00	0,00	982 477,44
74,50	66,00	54,00	982 308,80	74,50	68,50	31,00	982 501,51
75,00	64,00	80,00	982 162,74	75,00	66,50	50,00	982 376,18
75,00	64,50	91,00	982 199,03	75,00	67,00	67,00	982 386,67
75,00	65,00	77,00	982 252,98	75,00	67,50	52,00	982 424,13
75,00	65,50	80,00	982 278,00	75,00	68,00	20,00	982 472,69
75,00	66,00	74,00	982 308,67	75,00	68,50	68,00	982 491,45
75,50	64,00	58,00	982 169,47	75,50	66,50	51,00	982 379,69
75,50	64,50	60,00	982 201,11	75,50	67,00	71,00	982 389,05
75,50	65,00	61,00	982 247,59	75,50	67,50	42,00	982 436,44
75,50	65,50	109,00	982 269,58	75,50	68,00	25,00	982 455,82
75,50	66,00	86,00	982 314,65	75,50	68,50	54,00	982 498,30
76,00	64,00	43,00	982 187,70	76,00	66,50	48,00	982 375,30
76,00	64,50	62,00	982 201,34	76,00	67,00	59,00	982 393,21
76,00	65,00	77,00	982 250,60	76,00	67,50	32,00	982 444,83
76,00	65,50	88,00	982 284,31	76,00	68,00	19,00	982 453,39
76,00	66,00	79,00	982 322,46	76,00	68,50	33,00	982 507,31
Вариант 7				Вариант 8			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
76,50	54,00	105,00	981 365,12	76,50	56,50	89,00	981 588,53

76,50	54,50	98,00	981 420,64	76,50	57,00	129,00	981 633,22
76,50	55,00	102,00	981 468,11	76,50	57,50	108,00	981 680,75
76,50	55,50	105,00	981 506,28	76,50	58,00	114,00	981 711,09
76,50	56,00	106,00	981 540,19	76,50	58,50	76,00	981 765,46
77,00	54,00	98,00	981 371,04	77,00	56,50	121,00	981 583,76
77,00	54,50	102,00	981 424,98	77,00	57,00	129,00	981 621,83
77,00	55,00	107,00	981 454,26	77,00	57,50	133,00	981 666,55
77,00	55,50	102,00	981 489,94	77,00	58,00	98,00	981 727,81
77,00	56,00	111,00	981 547,37	77,00	58,50	110,00	981 759,68
77,50	54,00	100,00	981 364,12	77,50	56,50	125,00	981 570,36
77,50	54,50	104,00	981 417,48	77,50	57,00	131,00	981 620,54
77,50	55,00	101,00	981 463,20	77,50	57,50	130,00	981 658,35
77,50	55,50	107,00	981 508,24	77,50	58,00	127,00	981 722,32
77,50	56,00	114,00	981 544,08	77,50	58,50	97,00	981 749,47
78,00	54,00	106,00	981 353,49	78,00	56,50	127,00	981 550,89
78,00	54,50	101,00	981 413,23	78,00	57,00	132,00	981 614,12
78,00	55,00	101,00	981 468,30	78,00	57,50	138,00	981 656,51
78,00	55,50	109,00	981 516,48	78,00	58,00	128,00	981 716,70
78,00	56,00	125,00	981 545,66	78,00	58,50	106,00	981 740,17
78,50	54,00	114,00	981 359,35	78,50	56,50	129,00	981 570,78
78,50	54,50	110,00	981 403,80	78,50	57,00	134,00	981 611,71
78,50	55,00	103,00	981 464,35	78,50	57,50	100,00	981 664,43
78,50	55,50	110,00	981 497,58	78,50	58,00	118,00	981 705,30
78,50	56,00	131,00	981 540,91	78,50	58,50	112,00	981 744,66
Вариант 9				Вариант 10			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
76,50	59,00	81,00	981 797,12	76,50	61,50	101,00	981 975,44
76,50	59,50	90,00	981 826,05	76,50	62,00	63,00	982 043,97
76,50	60,00	91,00	981 864,71	76,50	62,50	80,00	982 071,44
76,50	60,50	61,00	981 905,00	76,50	63,00	120,00	982 082,87
76,50	61,00	48,00	981 944,90	76,50	63,50	71,00	982 141,73
77,00	59,00	99,00	981 801,85	77,00	61,50	101,00	981 973,89
77,00	59,50	94,00	981 835,77	77,00	62,00	66,00	982 025,49
77,00	60,00	93,00	981 867,51	77,00	62,50	89,00	982 070,34
77,00	60,50	35,00	981 910,91	77,00	63,00	126,00	982 088,03
77,00	61,00	36,00	981 946,76	77,00	63,50	60,00	982 144,87
77,50	59,00	95,00	981 787,57	77,50	61,50	86,00	981 983,99
77,50	59,50	96,00	981 842,93	77,50	62,00	81,00	982 018,73
77,50	60,00	90,00	981 893,08	77,50	62,50	99,00	982 068,53
77,50	60,50	44,00	981 925,84	77,50	63,00	79,00	982 116,79
77,50	61,00	43,00	981 955,15	77,50	63,50	61,00	982 153,55
78,00	59,00	71,00	981 784,22	78,00	61,50	55,00	982 003,75
78,00	59,50	97,00	981 827,65	78,00	62,00	80,00	982 035,71
78,00	60,00	81,00	981 889,08	78,00	62,50	105,00	982 062,97

78,00	60,50	38,00	981 942,90	78,00	63,00	63,00	982 118,84
78,00	61,00	48,00	981 975,74	78,00	63,50	55,00	982 163,20
78,50	59,00	69,00	981 795,81	78,50	61,50	67,00	982 014,86
78,50	59,50	97,00	981 833,66	78,50	62,00	94,00	982 040,18
78,50	60,00	42,00	981 886,03	78,50	62,50	89,00	982 075,04
78,50	60,50	53,00	981 930,50	78,50	63,00	79,00	982 116,91
78,50	61,00	43,00	981 983,60	78,50	63,50	61,00	982 161,54
Вариант 11				Вариант 12			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
76,50	64,00	63,00	982 182,61	76,50	66,50	54,00	982 360,71
76,50	64,50	64,00	982 207,46	76,50	67,00	46,00	982 398,04
76,50	65,00	35,00	982 260,95	76,50	67,50	21,00	982 446,60
76,50	65,50	58,00	982 304,85	76,50	68,00	26,00	982 466,26
76,50	66,00	72,00	982 325,97	76,50	68,50	39,00	982 506,42
77,00	64,00	53,00	982 184,58	77,00	66,50	51,00	982 360,15
77,00	64,50	34,00	982 225,76	77,00	67,00	26,00	982 404,77
77,00	65,00	35,00	982 259,38	77,00	67,50	6,00	982 454,54
77,00	65,50	35,00	982 308,37	77,00	68,00	17,00	982 481,39
77,00	66,00	39,00	982 325,75	77,00	68,50	5,00	982 514,04
77,50	64,00	75,00	982 191,19	77,50	66,50	35,00	982 381,24
77,50	64,50	56,00	982 221,09	77,50	67,00	26,00	982 417,34
77,50	65,00	31,00	982 260,57	77,50	67,50	1,00	982 459,64
77,50	65,50	22,00	982 310,32	77,50	68,00	0,00	982 480,81
77,50	66,00	22,00	982 341,33	77,50	68,50	0,00	982 507,79
78,00	64,00	28,00	982 209,53	78,00	66,50	7,00	982 402,53
78,00	64,50	35,00	982 236,02	78,00	67,00	11,00	982 431,28
78,00	65,00	19,00	982 268,48	78,00	67,50	9,00	982 460,59
78,00	65,50	14,00	982 319,69	78,00	68,00	23,00	982 467,16
78,00	66,00	25,00	982 362,94	78,00	68,50	29,00	982 506,68
78,50	64,00	40,00	982 203,87	78,50	66,50	12,00	982 397,61
78,50	64,50	43,00	982 244,20	78,50	67,00	40,00	982 419,31
78,50	65,00	39,00	982 276,47	78,50	67,50	15,00	982 458,19
78,50	65,50	42,00	982 321,29	78,50	68,00	14,00	982 472,27
78,50	66,00	24,00	982 353,76	78,50	68,50	43,00	982 508,01
Вариант 13				Вариант 14			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
79,00	54,00	126,00	981 361,95	79,00	56,50	129,00	981 581,16
79,00	54,50	115,00	981 406,50	79,00	57,00	134,00	981 611,96
79,00	55,00	116,00	981 462,54	79,00	57,50	133,00	981 652,18
79,00	55,50	126,00	981 494,15	79,00	58,00	99,00	981 700,99
79,00	56,00	124,00	981 538,20	79,00	58,50	107,00	981 752,39
79,50	54,00	138,00	981 348,31	79,50	56,50	127,00	981 577,69
79,50	54,50	130,00	981 400,74	79,50	57,00	139,00	981 621,14
79,50	55,00	115,00	981 451,39	79,50	57,50	125,00	981 658,43

79,50	55,50	132,00	981 494,46	79,50	58,00	122,00	981 702,61
79,50	56,00	132,00	981 539,27	79,50	58,50	93,00	981 762,23
80,00	54,00	177,00	981 329,75	80,00	56,50	134,00	981 583,21
80,00	54,50	132,00	981 406,71	80,00	57,00	135,00	981 626,72
80,00	55,00	144,00	981 454,34	80,00	57,50	135,00	981 659,31
80,00	55,50	129,00	981 505,17	80,00	58,00	111,00	981 711,86
80,00	56,00	130,00	981 546,75	80,00	58,50	103,00	981 744,41
80,50	54,00	212,00	981 318,57	80,50	56,50	140,00	981 580,64
80,50	54,50	158,00	981 419,12	80,50	57,00	135,00	981 620,66
80,50	55,00	143,00	981 466,85	80,50	57,50	132,00	981 659,46
80,50	55,50	142,00	981 483,23	80,50	58,00	68,00	981 713,64
80,50	56,00	136,00	981 540,49	80,50	58,50	70,00	981 740,43
81,00	54,00	183,00	981 332,85	81,00	56,50	141,00	981 573,74
81,00	54,50	177,00	981 420,63	81,00	57,00	106,00	981 630,90
81,00	55,00	152,00	981 467,54	81,00	57,50	101,00	981 678,33
81,00	55,50	134,00	981 510,16	81,00	58,00	121,00	981 703,16
81,00	56,00	133,00	981 540,05	81,00	58,50	108,00	981 741,66
Вариант 15				Вариант 16			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
79,00	59,00	95,00	981 799,56	79,00	61,50	50,00	982 011,65
79,00	59,50	91,00	981 831,95	79,00	62,00	94,00	982 040,82
79,00	60,00	44,00	981 879,49	79,00	62,50	91,00	982 076,45
79,00	60,50	58,00	981 922,85	79,00	63,00	77,00	982 120,72
79,00	61,00	51,00	981 966,05	79,00	63,50	76,00	982 151,27
79,50	59,00	58,00	981 803,26	79,50	61,50	70,00	981 986,27
79,50	59,50	43,00	981 850,71	79,50	62,00	60,00	982 041,42
79,50	60,00	54,00	981 877,26	79,50	62,50	96,00	982 064,82
79,50	60,50	82,00	981 907,47	79,50	63,00	113,00	982 100,61
79,50	61,00	49,00	981 954,73	79,50	63,50	81,00	982 154,29
80,00	59,00	49,00	981 792,46	80,00	61,50	67,00	981 991,90
80,00	59,50	46,00	981 847,39	80,00	62,00	75,00	982 030,98
80,00	60,00	58,00	981 877,46	80,00	62,50	130,00	982 050,69
80,00	60,50	95,00	981 901,63	80,00	63,00	124,00	982 091,21
80,00	61,00	72,00	981 954,14	80,00	63,50	79,00	982 162,09
80,50	59,00	50,00	981 806,13	80,50	61,50	84,00	981 987,40
80,50	59,50	58,00	981 850,12	80,50	62,00	100,00	982 017,78
80,50	60,00	89,00	981 874,80	80,50	62,50	105,00	982 051,63
80,50	60,50	87,00	981 907,54	80,50	63,00	172,00	982 087,55
80,50	61,00	81,00	981 947,72	80,50	63,50	82,00	982 158,99
81,00	59,00	48,00	981 807,29	81,00	61,50	66,00	981 990,94
81,00	59,50	75,00	981 844,00	81,00	62,00	98,00	982 020,00
81,00	60,00	73,00	981 875,34	81,00	62,50	124,00	982 057,54
81,00	60,50	83,00	981 906,72	81,00	63,00	187,00	982 091,20
81,00	61,00	101,00	981 936,90	81,00	63,50	145,00	982 139,25

Вариант 17				Вариант 18			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
79,00	64,00	36,00	982 193,92	79,00	66,50	57,00	982 374,92
79,00	64,50	31,00	982 248,62	79,00	67,00	73,00	982 394,68
79,00	65,00	38,00	982 285,14	79,00	67,50	4,00	982 450,08
79,00	65,50	32,00	982 325,33	79,00	68,00	46,00	982 473,90
79,00	66,00	54,00	982 338,21	79,00	68,50	18,00	982 518,58
79,50	64,00	49,00	982 182,82	79,50	66,50	37,00	982 364,59
79,50	64,50	48,00	982 249,20	79,50	67,00	24,00	982 400,38
79,50	65,00	33,00	982 283,50	79,50	67,50	28,00	982 437,41
79,50	65,50	34,00	982 316,35	79,50	68,00	50,00	982 471,37
79,50	66,00	62,00	982 335,35	79,50	68,50	19,00	982 516,43
80,00	64,00	54,00	982 201,28	80,00	66,50	45,00	982 365,92
80,00	64,50	61,00	982 244,59	80,00	67,00	34,00	982 405,50
80,00	65,00	29,00	982 267,27	80,00	67,50	21,00	982 442,14
80,00	65,50	61,00	982 293,63	80,00	68,00	47,00	982 464,84
80,00	66,00	47,00	982 331,10	80,00	68,50	23,00	982 515,19
80,50	64,00	37,00	982 216,10	80,50	66,50	31,00	982 379,44
80,50	64,50	38,00	982 234,78	80,50	67,00	6,00	982 423,23
80,50	65,00	21,00	982 259,64	80,50	67,50	21,00	982 444,03
80,50	65,50	46,00	982 283,35	80,50	68,00	37,00	982 468,46
80,50	66,00	42,00	982 327,74	80,50	68,50	26,00	982 508,73
81,00	64,00	55,00	982 197,81	81,00	66,50	24,00	982 373,39
81,00	64,50	61,00	982 215,91	81,00	67,00	8,00	982 422,74
81,00	65,00	21,00	982 258,39	81,00	67,50	48,00	982 431,64
81,00	65,50	15,00	982 295,06	81,00	68,00	35,00	982 467,76
81,00	66,00	21,00	982 333,41	81,00	68,50	18,00	982 509,37
Вариант 19				Вариант 20			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
81,50	54,00	162,00	981 351,68	81,50	56,50	143,00	981 577,87
81,50	54,50	212,00	981 397,49	81,50	57,00	127,00	981 629,29
81,50	55,00	156,00	981 470,05	81,50	57,50	118,00	981 670,90
81,50	55,50	143,00	981 509,00	81,50	58,00	116,00	981 707,35
81,50	56,00	144,00	981 535,75	81,50	58,50	78,00	981 754,16
82,00	54,00	276,00	981 316,76	82,00	56,50	136,00	981 577,43
82,00	54,50	170,00	981 408,87	82,00	57,00	106,00	981 623,05
82,00	55,00	165,00	981 468,67	82,00	57,50	99,00	981 676,31
82,00	55,50	154,00	981 505,65	82,00	58,00	104,00	981 708,37
82,00	56,00	148,00	981 541,27	82,00	58,50	71,00	981 754,64
82,50	54,00	195,00	981 336,59	82,50	56,50	124,00	981 581,47
82,50	54,50	163,00	981 413,89	82,50	57,00	109,00	981 625,68
82,50	55,00	122,00	981 468,08	82,50	57,50	113,00	981 670,85
82,50	55,50	144,00	981 507,52	82,50	58,00	75,00	981 708,19
82,50	56,00	146,00	981 532,30	82,50	58,50	55,00	981 755,42

83,00	54,00	200,00	981 351,85	83,00	56,50	115,00	981 591,51
83,00	54,50	243,00	981 383,30	83,00	57,00	120,00	981 620,54
83,00	55,00	138,00	981 464,33	83,00	57,50	112,00	981 664,48
83,00	55,50	98,00	981 507,99	83,00	58,00	60,00	981 710,80
83,00	56,00	126,00	981 548,84	83,00	58,50	68,00	981 748,87
83,50	54,00	181,00	981 351,32	83,50	56,50	105,00	981 592,85
83,50	54,50	257,00	981 373,44	83,50	57,00	122,00	981 621,70
83,50	55,00	216,00	981 454,24	83,50	57,50	119,00	981 660,76
83,50	55,50	141,00	981 489,06	83,50	58,00	71,00	981 711,25
83,50	56,00	128,00	981 554,06	83,50	58,50	64,00	981 744,16
Вариант 21				Вариант 22			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
81,50	59,00	50,00	981 809,65	81,50	61,50	72,00	981 995,39
81,50	59,50	94,00	981 835,76	81,50	62,00	81,00	982 022,48
81,50	60,00	101,00	981 868,78	81,50	62,50	109,00	982 063,72
81,50	60,50	79,00	981 906,07	81,50	63,00	160,00	982 089,88
81,50	61,00	71,00	981 942,42	81,50	63,50	145,00	982 141,37
82,00	59,00	59,00	981 807,50	82,00	61,50	68,00	982 000,80
82,00	59,50	98,00	981 827,32	82,00	62,00	87,00	982 012,42
82,00	60,00	77,00	981 866,07	82,00	62,50	105,00	982 059,83
82,00	60,50	107,00	981 902,91	82,00	63,00	175,00	982 078,68
82,00	61,00	91,00	981 953,51	82,00	63,50	79,00	982 149,19
82,50	59,00	75,00	981 795,92	82,50	61,50	94,00	981 988,89
82,50	59,50	118,00	981 818,61	82,50	62,00	110,00	982 015,15
82,50	60,00	73,00	981 873,10	82,50	62,50	146,00	982 050,35
82,50	60,50	113,00	981 907,78	82,50	63,00	101,00	982 094,15
82,50	61,00	82,00	981 964,36	82,50	63,50	55,00	982 149,44
83,00	59,00	95,00	981 779,62	83,00	61,50	82,00	981 987,67
83,00	59,50	112,00	981 813,35	83,00	62,00	122,00	982 010,41
83,00	60,00	112,00	981 861,92	83,00	62,50	150,00	982 043,14
83,00	60,50	128,00	981 907,15	83,00	63,00	66,00	982 114,38
83,00	61,00	145,00	981 940,95	83,00	63,50	66,00	982 153,31
83,50	59,00	111,00	981 778,05	83,50	61,50	111,00	981 978,55
83,50	59,50	99,00	981 820,44	83,50	62,00	126,00	982 004,14
83,50	60,00	144,00	981 865,48	83,50	62,50	174,00	982 044,62
83,50	60,50	122,00	981 915,42	83,50	63,00	112,00	982 113,04
83,50	61,00	146,00	981 931,21	83,50	63,50	66,00	982 166,88
Вариант 23				Вариант 24			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
81,50	64,00	80,00	982 174,21	81,50	66,50	15,00	982 369,28
81,50	64,50	46,00	982 213,99	81,50	67,00	15,00	982 421,08
81,50	65,00	31,00	982 258,10	81,50	67,50	38,00	982 435,13
81,50	65,50	37,00	982 299,09	81,50	68,00	93,00	982 452,17
81,50	66,00	27,00	982 334,82	81,50	68,50	49,00	982 497,70

82,00	64,00	43,00	982 180,65	82,00	66,50	20,00	982 370,85
82,00	64,50	66,00	982 220,93	82,00	67,00	32,00	982 412,62
82,00	65,00	31,00	982 268,85	82,00	67,50	55,00	982 433,71
82,00	65,50	18,00	982 300,13	82,00	68,00	73,00	982 458,31
82,00	66,00	17,00	982 339,70	82,00	68,50	43,00	982 496,61
82,50	64,00	94,00	982 173,10	82,50	66,50	49,00	982 366,44
82,50	64,50	105,00	982 222,42	82,50	67,00	36,00	982 401,90
82,50	65,00	27,00	982 277,09	82,50	67,50	41,00	982 435,50
82,50	65,50	32,00	982 299,97	82,50	68,00	78,00	982 453,31
82,50	66,00	34,00	982 341,59	82,50	68,50	75,00	982 487,92
83,00	64,00	74,00	982 182,08	83,00	66,50	39,00	982 377,39
83,00	64,50	119,00	982 219,04	83,00	67,00	63,00	982 404,85
83,00	65,00	47,00	982 275,72	83,00	67,50	74,00	982 434,33
83,00	65,50	13,00	982 317,76	83,00	68,00	30,00	982 466,26
83,00	66,00	33,00	982 348,16	83,00	68,50	31,00	982 497,71
83,50	64,00	80,00	982 195,46	83,50	66,50	58,00	982 383,40
83,50	64,50	121,00	982 220,99	83,50	67,00	85,00	982 411,21
83,50	65,00	51,00	982 282,74	83,50	67,50	19,00	982 452,50
83,50	65,50	57,00	982 312,68	83,50	68,00	56,00	982 465,94
83,50	66,00	45,00	982 346,38	83,50	68,50	15,00	982 504,61

Вариант 25

Вариант 26

$L^{\circ}$	$B^{\circ}$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^{\circ}$	$B^{\circ}$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
84,00	54,00	181,00	981 336,90	84,00	56,50	84,00	981 592,32
84,00	54,50	234,00	981 390,16	84,00	57,00	110,00	981 626,46
84,00	55,00	241,00	981 437,50	84,00	57,50	62,00	981 671,22
84,00	55,50	179,00	981 487,79	84,00	58,00	81,00	981 704,55
84,00	56,00	81,00	981 559,46	84,00	58,50	78,00	981 744,28
84,50	54,00	186,00	981 338,63	84,50	56,50	135,00	981 589,06
84,50	54,50	306,00	981 360,29	84,50	57,00	72,00	981 633,77
84,50	55,00	207,00	981 444,60	84,50	57,50	93,00	981 657,77
84,50	55,50	218,00	981 485,07	84,50	58,00	96,00	981 695,87
84,50	56,00	162,00	981 533,73	84,50	58,50	71,00	981 749,33
85,00	54,00	213,00	981 327,58	85,00	56,50	128,00	981 573,91
85,00	54,50	463,00	981 335,51	85,00	57,00	149,00	981 607,02
85,00	55,00	173,00	981 450,60	85,00	57,50	159,00	981 632,96
85,00	55,50	204,00	981 487,85	85,00	58,00	116,00	981 693,44
85,00	56,00	165,00	981 524,86	85,00	58,50	72,00	981 750,18
85,50	54,00	323,00	981 311,73	85,50	56,50	211,00	981 568,29
85,50	54,50	284,00	981 372,65	85,50	57,00	177,00	981 604,67
85,50	55,00	150,00	981 445,39	85,50	57,50	134,00	981 654,36
85,50	55,50	155,00	981 499,45	85,50	58,00	155,00	981 695,86
85,50	56,00	257,00	981 520,64	85,50	58,50	84,00	981 743,53
86,00	54,00	522,00	981 270,48	86,00	56,50	139,00	981 597,47
86,00	54,50	186,00	981 373,97	86,00	57,00	147,00	981 626,62

86,00	55,00	204,00	981 425,28	86,00	57,50	106,00	981 676,81
86,00	55,50	199,00	981 470,01	86,00	58,00	127,00	981 708,20
86,00	56,00	260,00	981 515,64	86,00	58,50	93,00	981 745,72
Вариант 27				Вариант 28			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
84,00	59,00	110,00	981 778,14	84,00	61,50	96,00	981 985,36
84,00	59,50	144,00	981 824,26	84,00	62,00	127,00	982 011,55
84,00	60,00	148,00	981 866,96	84,00	62,50	166,00	982 055,79
84,00	60,50	123,00	981 914,58	84,00	63,00	208,00	982 099,26
84,00	61,00	129,00	981 931,62	84,00	63,50	101,00	982 157,53
84,50	59,00	116,00	981 782,08	84,50	61,50	128,00	981 989,11
84,50	59,50	146,00	981 828,18	84,50	62,00	137,00	982 021,68
84,50	60,00	149,00	981 859,58	84,50	62,50	134,00	982 068,38
84,50	60,50	115,00	981 916,62	84,50	63,00	156,00	982 113,88
84,50	61,00	142,00	981 946,66	84,50	63,50	113,00	982 148,62
85,00	59,00	123,00	981 778,35	85,00	61,50	128,00	981 989,88
85,00	59,50	132,00	981 826,51	85,00	62,00	135,00	982 025,26
85,00	60,00	142,00	981 865,95	85,00	62,50	114,00	982 069,02
85,00	60,50	111,00	981 925,42	85,00	63,00	88,00	982 109,03
85,00	61,00	140,00	981 946,12	85,00	63,50	76,00	982 145,78
85,50	59,00	111,00	981 781,58	85,50	61,50	160,00	981 992,89
85,50	59,50	134,00	981 823,86	85,50	62,00	169,00	982 010,86
85,50	60,00	152,00	981 860,63	85,50	62,50	188,00	982 035,27
85,50	60,50	154,00	981 900,12	85,50	63,00	91,00	982 100,36
85,50	61,00	103,00	981 948,13	85,50	63,50	93,00	982 137,04
86,00	59,00	105,00	981 783,37	86,00	61,50	179,00	981 998,57
86,00	59,50	129,00	981 819,84	86,00	62,00	62,00	982 042,63
86,00	60,00	167,00	981 849,52	86,00	62,50	94,00	982 061,17
86,00	60,50	127,00	981 895,55	86,00	63,00	112,00	982 093,27
86,00	61,00	121,00	981 949,71	86,00	63,50	101,00	982 135,51
Вариант 29				Вариант 30			
$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$	$L^\circ$	$B^\circ$	$H, \text{ м}$	$g, \text{ мГал}$
84,00	64,00	50,00	982 211,20	84,00	66,50	37,00	982 396,25
84,00	64,50	106,00	982 217,72	84,00	67,00	80,00	982 409,17
84,00	65,00	117,00	982 264,49	84,00	67,50	64,00	982 438,89
84,00	65,50	78,00	982 310,53	84,00	68,00	67,00	982 469,54
84,00	66,00	99,00	982 335,40	84,00	68,50	45,00	982 498,13
84,50	64,00	70,00	982 194,70	84,50	66,50	65,00	982 375,42
84,50	64,50	80,00	982 224,11	84,50	67,00	39,00	982 396,38
84,50	65,00	77,00	982 265,40	84,50	67,50	70,00	982 433,02
84,50	65,50	101,00	982 305,74	84,50	68,00	136,00	982 461,05
84,50	66,00	43,00	982 353,06	84,50	68,50	60,00	982 492,40
85,00	64,00	88,00	982 181,36	85,00	66,50	55,00	982 354,45
85,00	64,50	89,00	982 222,44	85,00	67,00	39,00	982 378,03

85,00	65,00	78,00	982 270,61	85,00	67,50	87,00	982 415,45
85,00	65,50	84,00	982 302,86	85,00	68,00	94,00	982 466,02
85,00	66,00	47,00	982 349,84	85,00	68,50	70,00	982 487,71
85,50	64,00	99,00	982 173,63	85,50	66,50	61,00	982 358,93
85,50	64,50	105,00	982 212,91	85,50	67,00	54,00	982 394,87
85,50	65,00	165,00	982 244,37	85,50	67,50	90,00	982 423,06
85,50	65,50	130,00	982 276,70	85,50	68,00	141,00	982 453,79
85,50	66,00	72,00	982 334,05	85,50	68,50	84,00	982 489,46
86,00	64,00	95,00	982 170,68	86,00	66,50	57,00	982 373,35
86,00	64,50	98,00	982 215,75	86,00	67,00	50,00	982 420,51
86,00	65,00	55,00	982 254,17	86,00	67,50	55,00	982 461,96
86,00	65,50	29,00	982 294,77	86,00	68,00	66,00	982 482,27
86,00	66,00	40,00	982 325,89	86,00	68,50	42,00	982 507,62

## Приложение 5

Нормальные значения силы тяжести  
(формула Гельмерта)

$$\gamma_0 = \gamma_e \left( 1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B - 14 \right), \text{ мГал}$$

$B, {}^\circ$	0'	10'	20'	30'	40'	50'
0 <sup>0</sup>	978 016,0	016,0	016,2	016,4	016,7	017,1
1	017,6	018,1	018,8	019,5	020,4	021,3
2	022,3	023,4	024,5	025,8	027,2	028,6
3	030,1	031,6	033,4	035,2	037,1	039,1
4	041,1	043,2	045,4	047,8	050,1	052,6
5	055,2	057,8	060,6	063,4	066,3	069,3
6	072,4	075,5	078,8	082,1	085,5	089,0
7	092,6	096,3	100,0	103,9	107,8	111,8
8	115,9	120,1	124,4	128,7	133,1	137,6
9	142,2	146,9	151,7	156,5	161,5	166,5
10	171,6	176,7	182,0	187,3	192,7	198,2
11	203,8	209,5	215,2	221,1	227,0	233,0
12	239,0	245,2	251,4	257,7	264,1	270,5
13	277,1	283,7	290,4	297,2	304,0	311,0
14	318,0	325,1	332,2	339,5	346,8	354,2
15	361,7	369,2	376,2	384,5	392,3	400,1
16	408,1	416,0	424,1	432,3	440,5	448,8
17	457,1	465,6	474,1	482,6	491,3	500,0
18	508,8	517,7	526,6	535,6	544,7	553,8
19	563,0	572,3	581,7	591,1	600,6	610,1
20	619,8	629,5	639,2	649,0	658,9	668,9
21	678,9	689,0	699,1	709,3	719,6	730,0
22	741,4	750,8	761,4	772,0	782,6	793,4
23	804,1	815,0	825,9	836,8	847,9	858,9
24	870,1	881,3	892,5	903,9	915,2	926,7
25	938,1	949,7	961,3	972,9	984,7	996,4
26	979 008,2	020,1	032,0	044,0	056,1	068,2
27	080,3	092,5	104,7	117,0	129,4	141,8
28	154,2	166,7	179,2	191,8	204,5	217,1
29	229,9	242,7	255,5	268,4	281,3	294,2
30	307,2	320,3	333,4	336,5	359,7	372,9
31	386,2	399,5	412,8	426,2	439,7	453,1

$B, {}^\circ$	0'	10'	20'	30'	40'	50'
32	466,6	480,2	493,8	507,4	521,0	534,7
33	548,5	562,2	576,0	589,9	603,8	617,7
34	631,6	645,6	659,6	673,6	687,7	701,8
35	715,9	730,1	744,3	758,5	772,8	787,0
36	801,4	815,7	830,1	844,4	858,9	873,3
37	887,8	902,3	916,8	931,3	945,9	960,5
38	975,1	989,7	004,3	019,0	033,7	048,4
39	980 063,1	077,9	092,7	107,7	122,2	137,1
40	151,9	166,7	181,6	196,5	211,4	226,3
41	241,2	256,1	271,1	286,0	301,0	316,0
42	331,0	346,0	361,0	376,0	391,0	406,0
43	421,1	436,1	451,2	466,2	481,3	496,4
44	511,4	526,5	541,6	556,7	571,7	586,8
45	601,9	617,0	632,6	647,1	662,2	677,3
46	692,4	707,5	722,6	737,6	752,7	767,8
47	782,8	797,9	812,9	827,9	843,0	858,0
48	873,0	888,0	903,0	918,0	933,0	947,9
49	962,9	977,8	992,8	007,7	022,6	037,5
50	981 052,3	067,2	082,1	096,9	111,7	126,5
51	141,3	156,0	170,8	185,5	200,2	214,9
52	229,6	244,2	258,8	273,4	288,0	302,6
53	317,3	317,3	331,6	346,1	360,5	375,0
54	403,8	418,1	432,5	446,8	461,0	475,3
55	489,5	503,7	517,8	532,0	546,0	560,1
56	574,1	588,1	602,1	616,0	629,9	643,8
57	657,6	671,4	685,2	698,9	712,6	726,2
58	739,8	753,4	766,9	780,4	793,9	807,3
59	820,7	834,1	847,4	860,6	873,8	886,9
60	900,0	913,1	926,1	939,1	952,0	964,9
61	977,8	990,6	003,3	016,1	028,7	041,3
62	982 053,9	066,4	078,9	091,3	103,7	116,0
63	128,2	140,5	152,8	164,8	176,8	188,8
64	200,8	212,7	225,5	236,3	248,0	259,7
65	244,3	282,9	294,4	305,9	317,3	328,6
66	339,9	351,1	362,2	373,4	384,4	395,4
67	406,3	417,2	428,0	438,7	449,4	460,0

$B, {}^\circ$	0'	10'	20'	30'	40'	50'
68	470,5	481,0	491,4	501,8	512,1	522,3
69	532,5	542,6	552,6	562,6	572,5	582,3
70	592,1	601,8	611,4	621,0	630,5	639,9
71	649,3	658,6	667,8	676,9	686,0	695,0
72	704,0	712,9	721,6	730,4	739,0	747,6
73	756,1	764,5	772,9	781,2	789,4	797,6
74	805,6	813,6	821,5	829,4	837,1	844,8
75	852,4	860,0	867,4	874,8	882,1	889,4
76	896,5	903,6	910,6	917,5	924,4	931,1
77	937,8	944,4	950,9	957,4	963,7	970,0
78	976,2	982,4	988,4	994,4	000,2	006,0
79	983 011,8	017,4	023,0	028,4	033,8	039,1
80	044,4	049,5	054,6	059,5	064,4	069,2
81	074,0	078,6	083,2	087,6	092,0	096,3
82	100,6	104,7	108,7	112,7	116,6	120,4
83	124,1	127,7	131,3	134,7	138,1	141,4
84	144,6	147,7	150,7	153,6	156,5	159,2
85	161,9	164,5	167,0	169,4	171,8	174,0
86	176,1	178,2	180,2	182,1	183,9	185,6
87	187,2	188,8	190,2	191,6	192,9	194,1
88	195,2	196,2	197,1	197,9	198,7	199,4
89	199,9	200,4	200,8	201,1	201,5	201,5

## Приложение 6

### Исходные данные для выполнения лабораторной работы № 3

1 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал	2 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал
1	40 37	164	980280,5	1	40 33	250	980110,4
2	42 26	1469	980489,7	2	42 24	1076	980082,1
3	69 19	0	982568,4	3	69 18	0	982572,2
4	10 07	0	978225,7	4	9 18	0	978243,3
5	35 19	436	979606	5	35 20	333	979629,6
6	17 18	82	978450,3	6	22 20	154	978658,1
7	0 00	95	978018,4	7	-2 12	62	978022,1
8	25 00	357	978863,6	8	-24 48	521	978789,2
9	10 00	1087	977893,7	9	-67 18	4	982477,5
10	67 18	370	982254,50	10	-10 00	1221	977794,20
3 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал	4 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал
1	55 45	44	981558,2	1	40 35	33	980290,5
2	43 56	1610	980007,3	2	42 29	2218	979832,7
3	67 39	0	982548,8	3	69 14	0	982590,2
4	39 38	0	980225,4	4	6 52	0	978126,3
5	42 38	85	980313,9	5	35 20	245	979658,8
6	1 23	27	978029,1	6	29 53	148	979246
7	-68 24	122	982452,5	7	-28 00	114	979201,4
8	-25 00	0	978943,9	8	-2 36	48	978043,8
9	0 00	163	978003	9	0 00	43	978033,5
10	-16 30	446	978309,3	10	-67 30	271	982377,40
5 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал	6 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал
1	59 21	45	981846,7	1	51 25	9	981195,5
2	43 32	1213	980177,4	2	43 34	355	980359,8
3	67 49	0	982544,1	3	67 50	0	982502,3
4	12 48	0	978318,2	4	14 41	0	978400,3
5	55 24	129	981483,4	5	5 000	147	977980,5
6	69 58	27	982623,7	6	69 26	150	982604,5
7	-32 00	205	979453,8	7	0 00	43	978033,5
8	-17 24	36	978459,1	8	-13 30	97	978279,5
9	-56 36	0	981633,5	9	-71 00	400	982475
10	0 00	174	977983,7	10	-28 00	126	979166,90
7 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал	8 вар.	$B$ , $^{\circ}$ ' ,	$H$ , м	$g$ , мГал
1	57 32	234	981607,8	1	61 15	48	981959,9
2	43 21	3210	979467,1	2	43 03	1420	980021,7
3	67 57	0	982509,8	3	68 17	35	982503,7
4	-25 00	0	978943,9	4	5 44	0	978090,1

5	29 30	213	979180,6	5	35 14	673	979619,9
6	5 00	358	977950,9	6	26 03	22	979051,3
7	-55 30	0	981559,8	7	-17 12	145	978429,3
8	-17 13	117	978429,3	8	-2 06	12	978030,7
9	-28 24	963	978894,8	9	-55 30	9	981555,3
10	0 12	174	977979,7	10	-28 06	320	979058,00
9 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	10 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	4 26	55	978083,30	1	38 54	302	980119,40
2	16 31	3519	977467,10	2	35 13	1023	979565,70
3	68 22	0	982528,80	3	68 23	0	982531,50
4	34 36	96	979771,40	4	8 07	0	978174,70
5	37 58	0	980030,20	5	43 18	153	980300,40
6	-32 06	205	979457,80	6	67 35	243	982432,50
7	-17 25	0	978461,1	7	-28 00	411	979068,8
8	-56 36	12	981635,5	8	-13 30	820	978004,4
9	0 00	174	977987,7	9	-55 30	0	981553,3
10	-67 48	166	982521	10	-2 30	52	978029,00
11 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	12 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	22 20	34	978802,50	1	40 31	300	980228
2	35 12	955	979590,80	2	42 12	584	980226,7
3	68 33	54	982532,40	3	69 24	0	982568,9
4	9 18	0	978242,20	4	12 21	0	978313,5
5	43 00	1577	980215,70	5	35 17	500	979598,5
6	66 58	150	982459,70	6	48 14	137	980849,1
7	-68 24	122	982452,5	7	-32 24	319	979234,8
8	-25 00	0	978943,9	8	-11 12	743	978123,7
9	0 00	163	978003	9	-53 30	0	981693,9
10	-16 30	446	978309,3	10	-0 30	25	978134,00
13 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	14 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	9 42	112	978170,4	1	40 36	68	980286,3
2	41 54	444	980172,9	2	47 24	1000	980265,50
3	66 39	0	982384,7	3	69 20	0	982598,30
4	29 14	0	979275,3	4	11 12	0	978272,70
5	35 08	111	979708,5	5	35 18	473	979599,50
6	40 30	401	980207,5	6	22 54	29	978805,10
7	53 09	110	981288,9	7	-28 30	411	979074,8
8	17 30	480	978340,7	8	-13 24	890	978025,4
9	-68 12	34	982612	9	-55 42	0	981758,3
10	27 44	0	979271,50	10	-4 30	64	978087,00
15 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	16 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	19 18	112	978559,1	1	1 18	19	978067,10
2	42 19	376	980234,1	2	41 42	1840	979884,20

3	69 18	20	982499,4	3	66 36	154	982394,40
4	23 36	0	978896,4	4	29 26	0	979358,40
5	35 00	425	979571,4	5	35 12	730	979393,20
6	48 30	20	980883,1	6	40 26	120	980222,40
7	-4 30	52	978028	7	0 00	43	978030,5
8	-16 30	446	978297,3	8	-13 28	0	978281,5
9	-53 30	0	981563,3	9	-71 00	510	982489,6
10	-28 00	126	979171,70	10	-28 06	24	979160,20
17 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	18 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	4 20	14	978033,9	1	5 15	37	978084,40
2	41 46	1285	980193,7	2	35 14	1076	979576,90
3	67 14	0	982470,2	3	67 28	0	982533,30
4	30 40	0	979516,0	4	31 58	0	979575,40
5	35 13	736	979582,2	5	41 26	347	980118,50
6	70 35	127	982674,8	6	19 16	5	978625,90
7	0 24	49	978037,5	7	-68 30	217	982452,5
8	-13 30	97	978279,5	8	-11 54	348	978153,8
9	-71 04	498	982467,1	9	-3 24	143	978037,6
10	-31 18	46	979475,9	10	-21 12	367	978562,70
19 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	20 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	14 20	10	978491,60	1	5 12	64	978059,8
2	42 11	1359	979997,90	2	41 18	1435	980116,8
3	69 56	0	982566,20	3	71 24	210	982570,1
4	25 30	0	979050,20	4	36 06	0	979903,3
5	35 16	726	979566,30	5	35 15	534	979474,7
6	42 46	7	980430,50	6	15 36	380	978303,3
7	-65 24	122	982452,5	7	-68 24	309	982450,9
8	-25 00	0	978943,9	8	-25 12	0	978943,9
9	0 48	163	978003,0	9	-7 12	245	978017
10	-16 24	446	978309,3	10	-15 06	316	978334,8
21 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	22 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	9 01	36	978244,70	1	5 54	105	978070,1
2	35 15	1128	979553,10	2	41 48	1297	980034,2
3	68 03	0	982564,30	3	67 42	41	982527,5
4	37 36	0	979995,80	4	33 03	0	980012,9
5	41 12	511	980099,00	5	35 12	29	980157,4
6	24 54	25	978962,20	6	25 42	334	978939,3
7	-32 00	205	979453,8	7	-68 24	122	982456,5
8	-17 24	0	978459,1	8	-24 06	0	978879,4
9	-56 36	0	981633,5	9	-6 24	205	978044,4
10	0 00	174	977983,7	10	-16,50	506	978737,9
23 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	24 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал

1	2 36	19	978072,30	1	52 06	523	981061,5
2	15 25	1270	978054,20	2	27 24	1242	978148,7
3	66 18	198	982433,50	3	68 48	0	982424,4
4	38 06	0	980000,00	4	38 20	0	980061,7
5	35 13	180	979663,30	5	36 12	439	979533,3
6	41 43	456	980171,20	6	12 48	15	978248,1
7	-68 24	122	982452,5	7	46 12	377	980558,4
8	-27 12	0	978943,9	8	56 30	132	981567,5
9	-0 48	76	978011,3	9	0 24	35	978172,4
10	-15 30	619	978320,1	10	41 06	0	980325,30
25 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	26 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	4 18	76	978024,4	1	5 42	12	978103,70
2	41 12	755	980086,3	2	35 18	829	979581,00
3	66 30	0	982395,2	3	67 36	0	982515,70
4	37 48	0	980020,4	4	37 36	0	980005,30
5	35 06	190	979535,7	5	41 00	170	980115,10
6	30 24	313	979310,1	6	26 50	436	978990,50
7	-32 00	205	979453,8	7	-69 24	795	982339,2
8	-17 24	23	978459,1	8	-21 12	417	978548,9
9	-56 36	0	981633,5	9	-57 12	119	981679,5
10	0 00	174	977983,70	10	-1 48	96	978023,7
27 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	28 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	35 36	135	979790	1	40 35	33	980290,5
2	42 24	1287	979958,2	2	42 29	1349	979832,7
3	65 06	0	982424,9	3	69 14	0	982590,2
4	4 48	0	978100,3	4	6 52	0	978127,9
5	35 18	23	979736,3	5	35 20	245	979658,8
6	24 24	150	979080,1	6	29 53	148	979254,3
7	-53 18	0	981378,3	7	-12 30	317	978176,1
8	-24 48	505	978895	8	58 03	119	981701,02
9	-7 36	60	978129,4	9	-69 06	26	982606,4
10	-12 30	390	978165,1	10	-0 03	46	978035,6
29 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал	30 вар.	$B$ , $^{\circ}$ '	$H$ , м	$g$ , мГал
1	40 33	250	980110,4	1	24 36	164	980270,5
2	42 24	1076	980082,1	2	42 24	1570	979989,7
3	69 18	0	982572,2	3	69 19	145	982597,8
4	9 18	0	978243,3	4	10 54	0	978225,7
5	35 20	333	979629,6	5	35 12	436	979606
6	22 20	154	978658,1	6	19 48	305	978551,4
7	-10 06	194	978141,5	7	-15 24	197	978256,2
8	-1 36	17	978041,4	8	-4 36	255	977986,8
9	-67 36	263	982443,2	9	-69 00	200	982771,5
10	-22 06	11	978787,9	10	-27 42	0	979271,5

**Приложение 7**

Поправка  $\gamma_e \beta_1 \sin^2 2B$ , мГал

$B$ , $^{\circ}$ , ,	$\gamma_e \beta_1 \sin^2 2B$ , мГал	$B$ , $^{\circ}$ , ,
0		90
	0	
7 50,4		82 09,6
	1	
13 57,3		76 02,7
	2	
18 35,3		71 24,7
	3	
22 49,3		67 10,7
	4	
27 05,0		62 55,0
	5	
31 50,3		58 09,7
	6	
38 30,1		51 29,9
	7	
45		45

*Учебное издание*

**Ганагина Ирина Геннадьевна**

# **ГРАВИМЕТРИЯ**

Редактор *O. B. Георгиевская*

Компьютерная верстка *O. И. Голиков*

Дизайн обложки *A. A. Пантелейев*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 05.12.2024. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 6,80. Тираж 80 экз. Заказ 171.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.