

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

Н. Н. Кобелева, А. В. Елагин

# **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

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

Новосибирск  
СГУГиТ  
2022

УДК 528.2/.3

К552

Рецензенты: кандидат технических наук, консультант-эксперт ООО «Гео плюс»  
*С. В. Кужелев*

кандидат технических наук, доцент СГУГиТ *И. Е. Дорогова*

**Кобелева, Н. Н.**

К552 Теоретическая геодезия : практикум / Н. Н. Кобелева, А. В. Елагин. –  
Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – 66 с. – Текст : непосредственный.  
ISBN 978-5-907513-71-6

Практикум подготовлен кандидатами технических наук, доцентами Н. Н. Кобелевой и А. В. Елагиным на кафедре космической и физической геодезии СГУГиТ.

В практикуме описана последовательность выполнения практических работ по дисциплине «Теоретическая геодезия». Рассмотрено содержание работ, даны методические рекомендации по их выполнению, сопровождающиеся краткими теоретическими сведениями, приведены требования к выполнению, оформлению и защите работ.

Практикум по дисциплине «Теоретическая геодезия» предназначен для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата).

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.2/.3

ISBN 978-5-907513-71-6

© СГУГиТ, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Общие требования к выполнению практических работ .....	6
Практическая работа № 1. Установление исходных геодезических дат и ориентирование эллипсоида по высоте .....	8
Практическая работа № 2. Нивелирование квазигеоида (вычисление высот квазигеоида над эллипсоидом) .....	15
Практическая работа № 3. Определение высот точек физической поверхности Земли .....	22
Практическая работа № 4. Редуцирование измеренных элементов геодезических сетей на поверхность референц-эллипсоида .....	29
Заключение .....	39
Библиографический список .....	40
Приложение 1. Пример оформления титульного листа .....	41
Приложение 2. Исходные данные для выполнения практических работ .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

*Теоретическая геодезия* – это раздел высшей геодезии, в котором непосредственно рассматривается теория и практика решения основной задачи геодезии – определение фигуры и внешнего гравитационного поля Земли геодезическими методами [5, 7].

Понятие фигуры Земли неоднозначно и имеет различную трактовку (шар, эллипсоид, геоид). В настоящее время под действительной фигурой Земли понимают фигуру ее физической поверхности, то есть поверхность суши и невозмущенную поверхность морей, океанов и озер [5, 8]. Как отмечено в [5], в задачи высшей геодезии не входит получение непрерывного представления фигуры физической поверхности Земли, например, в виде карт. Этим занимаются другие разделы геодезии – аэрофотогеодезия, топография и картография. Основная практическая задача высшей геодезии – построение опорных геодезических сетей на поверхности Земли (определение координат пунктов).

Наряду с фигурой физической поверхности Земли в научных исследованиях и при решении практических задач немаловажное значение имеет определение положения фигур уровенных поверхностей реального потенциала силы тяжести.

Таким образом, в разделе «Теоретическая геодезия» рассматриваются методы определения параметров земного эллипсоида, его ориентирование в теле Земли, редуцирование измеренных величин с физической поверхности Земли на эллипсоид, теоретические основы определения геодезических высот точек земной поверхности и др.

Овладение обучающимися теоретическими основами этой части курса геодезии и закрепление их самостоятельным практическим решением определенных задач даст возможность будущему специалисту правильно и научно обоснованно ставить и решать различные геодезические задачи, возникающие на производстве.

Дисциплина читается на 4-м курсе в 8-м семестре. Для ее освоения необходимы знания, умения и навыки, приобретенные при изучении дисциплин «Высшая геодезия», «Системы координат», «Спутниковые системы и технологии позиционирования», «Гравиметрия», «Теория фигуры Земли». Также необходимы навыки, полученные после прохождения летних учебной и производственной практик.

Темы практических работ отражены в табл. В.1.

*Таблица В.1*

№ практической работы	Темы практических занятий	Трудоемкость, ауд. час.
1	Установление исходных геодезических дат и ориентирование эллипсоида по высоте	4
2	Нивелирование квазигеоида (вычисление высот квазигеоида над эллипсоидом)	6
3	Вычисление высот точек физической поверхности Земли	6
4	Редуцирование измеренных элементов геодезических сетей на поверхность референц-эллипсоида	8
	Всего	24

Структура описания каждой практической работы: название, краткие теоретические сведения, цель и задачи работы, исходные данные, порядок выполнения работы, ответы на контрольные вопросы.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование профиля «Геодезия» предусмотрено выполнение обучающимися 4-го курса практических работ по дисциплине «Теоретическая геодезия».

Целью работ является углубление и закрепление теоретических знаний, полученных обучающимися на лекциях и в процессе самостоятельного изучения учебного материала и, следовательно, формирование у них определенных умений и навыков.

В ходе практических занятий преподавателем даются подробные рекомендации по выполнению практических работ, обучающимся в этот момент рекомендуется внимательно слушать и фиксировать основные моменты в тетради, задавать уточняющие вопросы. Затем обучающиеся приступают к выполнению заданий, для некоторых работ требуется привлечение компьютерной техники. Работы выполняются по вариантам. Контроль со стороны преподавателя осуществляется на протяжении всего периода выполнения работы.

Поскольку работы рассчитаны на несколько занятий, преподаватель разбивает работу на части и в начале каждого занятия поясняет, какая часть работы должна быть выполнена к концу занятия. Для своевременного обнаружения вопросов и ошибок и их устранения обучающимся рекомендуется показывать выполненную часть работы после каждого занятия.

Результаты, полученные в практической работе, должны быть проанализированы, оформлены выводы, что позволяет выявить способность обучающегося к анализу и интерпретации результатов собственной деятельности.

По каждой практической работе должен быть представлен оформленный отчет, содержащий:

- титульный лист, пример оформления которого дан в прил. 1;

- задания к практическим работам;
- исходные данные, в соответствии с номером варианта – для всех практических работ даны в прил. 2;
- описание разделов работы с рабочими формулами, результатами и пояснениями;
- выводы по работе или заключение;
- ответы на контрольные вопросы.

При необходимости обучающийся может дополнить работу приложениями.

Работа оформляется на листах формата А4 в редакторе Word, вычислительной программе MathCAD или Excel. Обязательное требование к оформлению работы: исходные данные и результаты вычислений должны быть представлены с необходимым и обоснованным количеством значащих цифр, с указанием размерностей величин.

Выполненную практическую работу обучающийся сдает на проверку преподавателю и после исправления замечаний защищает ее. Защита практической работы заключается в собеседовании по контрольным вопросам. После оценки преподавателем практическая работа выкладывается в личный кабинет обучающегося в электронно-информационной образовательной среде (ЭИОС) СГУГиТ.

**Практическая работа № 1.**  
**УСТАНОВЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАТ**  
**И ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЭЛЛИПСОИДА ПО ВЫСОТЕ**

**Цель работы:** освоить методику установления исходных геодезических дат в случае применения при обработке геодезических сетей метода развертывания.

**Время выполнения:** 4 часа аудиторной работы.

**Краткие теоретические сведения**

Для правильной постановки задачи построения Государственной опорной геодезической сети и ее последующей математической обработки необходимо располагать референц-эллипсоидом. *Референц-эллипсоидом* называется эллипсоид с определенными размерами и определенным образом ориентированный (расположенный) в теле Земли [1].

Ориентирование эллипсоида в теле Земли выполняется путем *установления исходных геодезических дат*, определяющихся значениями геодезических координат в исходном пункте  $(B_0, L_0, H_0)$  и геодезического азимута  $A_0$  начального направления сети. Они могут быть получены из выражений:

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \varphi_0 - \xi_0; \\ L_0 &= \lambda_0 - \frac{\eta_0}{\cos \varphi_0}; \\ A_0 &= \alpha_0 - \eta_0 \operatorname{tg} \varphi_0; \\ H_0 &= H_0^y + \zeta_0, \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где  $\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0$  – астрономические широты, долготы и азимуты соответственно;

$H_0^y$  – нормальная высота;

$\zeta_0$  – превышение квазигеоида над референц-эллипсоидом (рис. 1.1);



$\xi_0, \eta_0$  – слагающие астрономо-геодезических уклонений отвесных линий в плоскости меридиана и первого вертикала для исходного пункта сети.

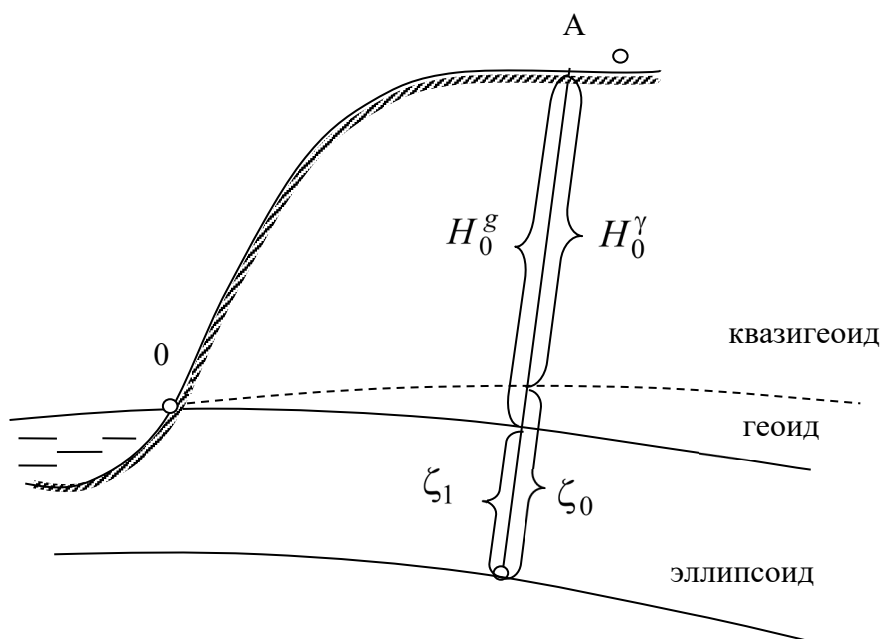


Рис. 1.1. Нормальные и ортометрические высоты

Таким образом, для установления формы и размеров  $(a, e^2)$  референц-эллипсоида и его ориентирования в теле Земли необходимо знать девять величин:

$$a, e^2, \varphi_0, \lambda_0, \alpha_0, H_0^\gamma, \xi_0, \eta_0, \zeta_0.$$

Значения  $\varphi_0, \lambda_0, \alpha_0$  определяют непосредственно из астрономических наблюдений, нормальная высота  $H_0^\gamma$  определяется из высокоточного геометрического нивелирования, а остальные параметры  $a, e^2, \xi_0, \eta_0, \zeta_0$  определяются по результатам математической обработки астрономо-геодезических построений (геометрический метод определения параметров земного эллипсоида), или по результатам гравиметрических измерений (физический метод), или используя совместно и тот и другой способы. Наилучшее решение дает третий путь.

В настоящее время для этих целей используются современные методы космической геодезии.

При выводе размеров и ориентировки эллипсоида геометрическим методом различают метод дуг и метод площадей.

Метод дуг основан на использовании измеренных длин дуг на земной поверхности и астрономических определений широт и долгот на концах этих дуг. Определение размеров и ориентировки земного эллипсоида из измерений длин дуг по меридианам и параллелям называют градусными измерениями. Дуги могут быть связаны между собой и не иметь между собой связи. Из результатов определений по методу дуг определяют размеры эллипсоида и ориентировку эллипсоида, наилучше подходящего не к фигуре геоида на какой-либо площади, а к профилю геоида по использованным дугам градусных измерений [1].

Метод площадей основан на использовании результатов совместной математической обработки астрономо-геодезической сети, по возможности равномерно покрывающей территорию, притом с некоторой определенной густотой. Густота пунктов астрономо-геодезической сети для применения метода площадей должна удовлетворять основному требованию – возможности вывода размеров и ориентировки эллипсоида, наилучше подходящего к поверхности геоида на принятой территории, и одновременно выявлению формы, рельефа геоида на этой территории [1, 5].

При выполнении настоящего задания следует исходить из предположения, что определение параметров референц-эллипсоида и его ориентирование в теле Земли осуществляется из обработки «градусных измерений» по методу площадей. При этом результаты измерений в астрономо-геодезической сети редуцировались по методу развертывания.

Теоретический материал по редуцированию элементов астрономо-геодезических сетей на поверхность референц-эллипсоида рассмотрен в практической работе № 4.

Из обработки «градусных измерений» при применении метода развертывания определяются  $\xi_0$ ,  $\eta_0$ ,  $a$ ,  $e^2$ , но еще не определена  $\zeta_0$  – высота квазигеоида над референц-эллипсоидом, поэтому вначале следует определить  $\zeta_0$ .

## Порядок выполнения работы

1. По данным разностям высот квазигеоида узловых точек 4-х полигонов астрономо-геодезической сети (АГС) выполнить ориентирование эллипсоида по высоте в точке «1» сети. Ориентирование выполнить под условием наибольшей близости поверхности квазигеоида к эллипсоиду ( $\sum \zeta_i = 0$ ).

Если для некоторой астрономо-геодезической сети (рис. 1.2) известны разности высот квазигеоида над эллипсоидом

$$\Delta\zeta_{i,j} = \zeta_j - \zeta_i, \quad (1.2)$$

то исходя из условия максимальной близости поверхностей квазигеоида и референц-эллипсоида ( $\sum \zeta_i = 0, i = 1, 2, \dots, 9$ ) нетрудно получить  $\zeta_0$  для исходного пункта сети.

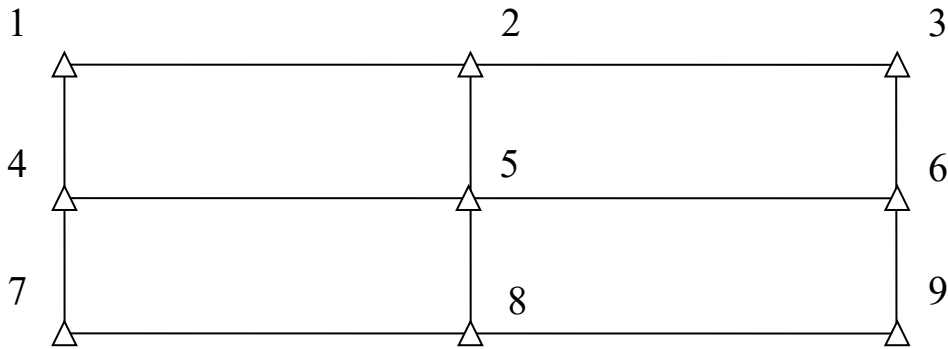


Рис. 1.2. Астрономо-геодезическая сеть

Действительно для сети (см. рис. 1.2) имеем [6]

$$\left. \begin{array}{l} \zeta_1 = \zeta_0; \\ \zeta_2 = \zeta_0 + \Delta\zeta_{12}; \\ \zeta_3 = \zeta_0 + \Delta\zeta_{12} + \Delta\zeta_{23}; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \zeta_9 = \zeta_0 + \Delta\zeta_{12} + \dots + \Delta\zeta_{69}; \\ \hline \sum_{i=1}^9 \zeta_i = n\zeta_0 + \sum(\Delta\zeta_{ij}). \end{array} \right\} \quad (1.3)$$

Принимая  $\sum_{i=1}^9 \zeta_i = 0$ , находим

$$\zeta_0 = -\frac{\sum(\Delta\zeta_{ij})}{n}. \quad (1.4)$$

Используя данные своего варианта (прил. 2, табл. П.2.1) составить уравнения (1.3) для всех пунктов астрономо-геодезической сети (рис. 1.2) и определить по формуле 1.4 высоту  $\zeta_0$  – квазигеоида над эллипсоидом в исходном пункте – 1.

2. Вычислить высоты квазигеоида над эллипсоидом для всех узловых пунктов своей сети и построить по ним карту высот квазигеоида.

По составленным уравнениям (1.3) вычислить  $\zeta_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ )

$$\zeta_i = \zeta_0 + \Delta\zeta_{1,i} \quad (1.5)$$

для пунктов 2, 3, ..., 9 своей сети и построить карту высот квазигеоида (рис. 1.3). Масштаб и выбор высоты сечения горизонталей произвольные. Однако их следует выбирать так, чтобы карта умещалась на листе бумаги стандартных размеров с хорошо читаемыми горизонталями.

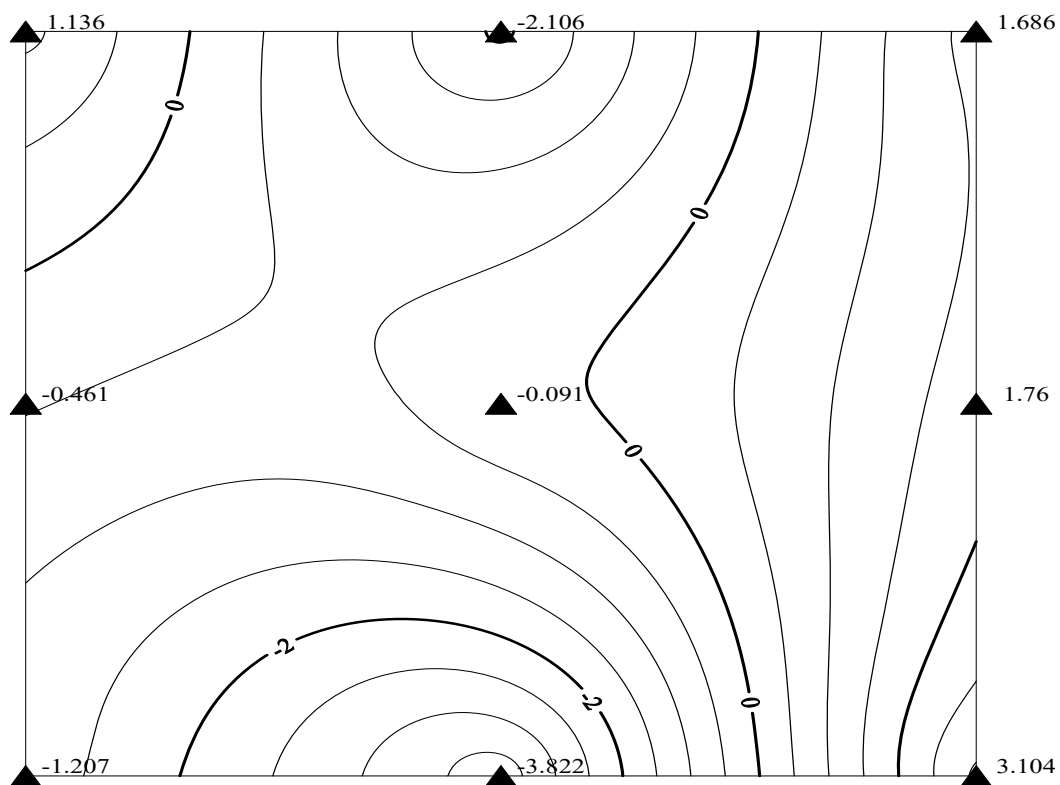


Рис. 1.3. Карта высот квазигеоида

Карту высот квазигеоида можно строить вручную или в программах Mathcad или Surfer.

3. Установить исходные геодезические даты для пункта «1» своего хода.

Используя рабочие формулы (1.1), занести результаты преобразования координат в табл. 1.1. При вычислении широт, долгот и азимутов следует учесть, что в исходных данных (прил. 2, табл. П.2.2) приведены астрономо-геодезические уклонения отвесных линий  $\xi$  и  $\eta$ .

Таблица 1.1

Исходные данные		Результаты вычислений	
$\varphi_0$	63°40'51,558"	$B_0$	63°40'45,508"
$\lambda_0$	47°50'11,606"	$L_0$	47°50'17,8085"
$\alpha_0$	334°54'54,324"	$A_0$	334°54'59,8836"
$H_0^y$	467,224 м	$H_0$	468,3601 м
$\zeta_0$	1,1361 м		
$\xi_0$	6,05"		
$\eta_0$	-2,75"		

### Контрольные вопросы

1. Что такое исходные геодезические даты и как они устанавливаются?
2. Сколько элементов и каких требуется для определения формы, размеров и ориентировки эллипсоида (в исходном пункте)?
3. Для какой цели производится ориентирование эллипсоида по высоте и в каких случаях?
4. Можно ли произвести ориентирование эллипсоида по высоте, не накладывая условие  $\sum \zeta_i = 0$ , если обработка геодезической сети выполняется по методу развертывания?
5. Что такое уклонение отвесных линий?

6. Как влияют отклонения отвесных линий на астрономические координаты и азимуты?

7. Что такое азимуты Лапласа, их точность, и какое значение они имеют в геодезии?

## Практическая работа № 2. НИВЕЛИРОВАНИЕ КВАЗИГЕОИДА (ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСОТ КВАЗИГЕОИДА НАД ЭЛЛИПСОИДОМ)

**Цель работы:** освоить методику вычислительных работ при астрономо-геодезическом методе нивелирования квазигеоида.

**Время выполнения:** 6 часов аудиторной работы.

### Краткие теоретические сведения

Для определения положения точки в пространстве (на земной поверхности) и для редуцирования измерений на поверхность эллипсоида необходимо знать геодезические высоты  $H$ . Геодезическая высота точек физической поверхности Земли (см. рис. 1.1) складывается из двух составляющих:  $H^{\gamma}$  – нормальной высоты и  $\zeta$  – высоты квазигеоида над эллипсоидом

$$H = H^{\gamma} + \zeta. \quad (2.1)$$

Аномалия высоты  $\zeta$  вычисляется из специальных геодезических работ, которые получили название «нивелирование квазигеоида».

В настоящее время можно указать четыре метода нивелирования квазигеоида [1, 4, 5, 7].

1. Астрономо-геодезический.
2. Астрономо-гравиметрический.
3. По спутниковым альтиметрическим измерениям.
4. По нивелирным и GPS-измерениям.

В данной практической работе рассмотрена методика вычислительных работ при астрономо-геодезическом методе нивелирования квазигеоида. Теоретический материал по 2–4 методам нивелирования квазигеоида представлен в [1, 4, 5, 7, 9].

Рабочая формула астрономо-геодезического нивелирования квазигеоида имеет вид (рис. 2.1)

$$\Delta\zeta_{12} = \zeta_2 - \zeta_1 = -\frac{\vartheta'_1 + \vartheta'_2}{2\rho''} S, \quad (2.2)$$

где  $\vartheta'_1$  – уклонение отвесной линии в точке 1;  
 $\vartheta'_2$  – уклонение отвесной линии в точке 2;  
 $S$  – расстояние между точками 1 и 2 на эллипсоиде;  
 $\rho = 206\,264,806\,2''$ .

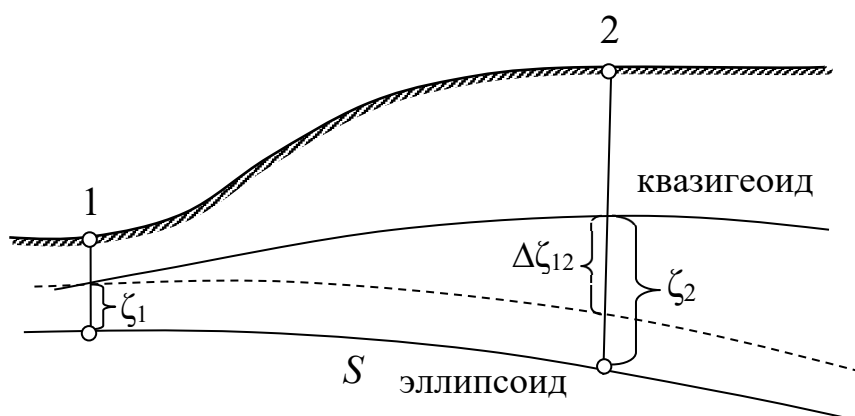


Рис. 2.1. Нивелирование квазигеоида

*Уклонение отвесной линии (УОЛ)* – это угол, составленный отвесной линией и нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке.

Для изучения УОЛ или вычисления поправок за уклонение отвесных линий недостаточно знать только угол  $u$ , который в геодезии принято называть полным УОЛ; необходимо знать также ориентировку в пространстве плоскости, в которой расположен этот угол. Ориентирование плоскости обычно задается с помощью азимута и обозначается буквой  $\theta$  (рис. 2.2). Однако на практике очень часто оказывается более удобным для характеристики УОЛ использовать две другие величины – составляющие  $\xi$  и  $\eta$  ( $\xi$  – это проекция полного УОЛ  $u$  на плоскость меридиана, а  $\eta$  – проекция УОЛ  $u$  на плоскость первого вертикала) [7].

УОЛ невелики. Максимальные УОЛ на земной поверхности не превосходят полутора минут.



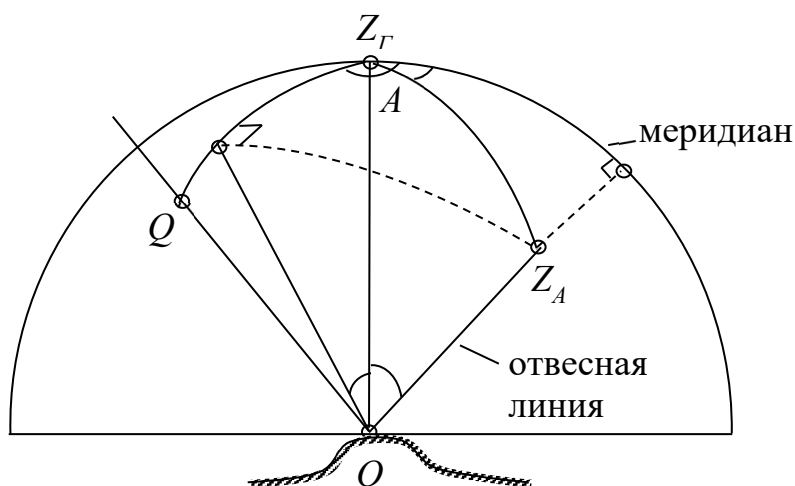


Рис. 2.2. Уклонение отвесной линии

Вдоль профиля трассы нивелирования квазигеоида через определенное расстояние  $S$  закладываются пункты (рис. 2.3), на которых с целью определения уклонов отвесных линий «измеряются» и астрономические и геодезические координаты. Тогда для каждого такого пункта вычисляются уклоны отвесных линий

$$\vartheta'_i = (\varphi_i - B_i - 0.171'' H_i^{\text{KM}} \sin 2B) \cos A + \eta_i \sin A \quad (2.3)$$

и по формуле (2.2) определяются превышения  $\Delta\zeta_{i,i+1}$ . Затем находятся «высоты» квазигеоида над эллипсоидом в соответствующих точках:

$$\zeta_{i+1} = \zeta_i + \Delta\zeta_{i,i+1}. \quad (2.4)$$

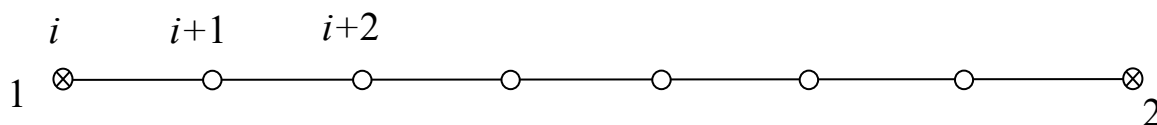


Рис. 2.3. Разбиение длинной нивелирной линии на короткие участки

Точность определения превышения будет зависеть в основном от точности определения на пунктах УОЛ. Эта ошибка может быть получена по эмпирической формуле [6]

$$m_{g'} = 0,17\sqrt{S_{\text{км}}} . \quad (2.5)$$

Тогда ошибка определения  $\Delta\zeta$

$$m_{\Delta\zeta} = m_{g'} \cdot \frac{S}{\rho} , \quad (2.6)$$

а ошибка определения высот квазигеоида в наиболее слабом месте

$$M_{\zeta} = m_{\Delta\zeta} \cdot \sqrt{\frac{L_{\text{км}}}{S_{\text{км}}}} , \quad (2.7)$$

где  $L$  – удаленность точки от исходной.

Астрономо-геодезический метод дорогостоящий, так как на пунктах через каждые 30–35 км необходимо выполнять астрономические наблюдения для вычисления УОЛ.

### Порядок выполнения работы

1. По данным уклонениям отвесных линий и расстояниям вычислить для условного звена (в виде хода полигонометрии 1-го класса (рис. 2.4)) приращения высот квазигеоида относительно эллипсоида астрономо-геодезическим способом.

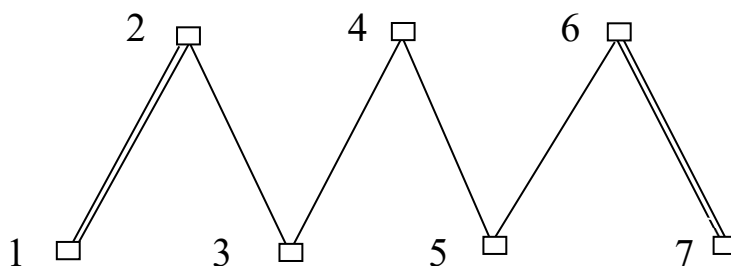


Рис. 2.4. Условное звено хода полигонометрии 1-го класса

Рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\zeta_{i,i+1} &= -\frac{\vartheta'_{i,i+1} + \vartheta'_{i+1,i}}{2\rho} S; \\ \vartheta'_{i,i+1} &= (\xi_i - 0,171H_i^{\text{KM}} \sin 2B_i) \cos A_{i,i+1} + \eta_i \sin A_{i,i+1}; \\ \vartheta'_{i+1,i} &= (\xi_{i+1} - 0,171H_{i+1}^{\text{KM}} \sin 2B_{i+1}) \cos A_{i+1,i} + \eta_{i+1} \sin A'_{i+1,i}; \\ A'_{i+1,i} &= A_{i+1,i} \pm 180^\circ; \\ H_{i+1} &= H_i + h_{i,i+1}. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Используя рабочие формулы (2.8), занести результаты вычислений в табл. 2.1.

В табл. 2.1 широты пунктов  $B$ , составляющие уклонения отвесных линий  $\eta$  и  $\xi$ , левые углы поворота  $\beta$  выбираются в соответствии со своим вариантом из прил. 2, табл. П.2.4. Расстояния  $S$ , геодезические азимуты  $A_{i,i+1}$ , превышения  $h$  выбираются из прил. 2, табл. П.2.5.

2. Используя высоту квазигеоида над эллипсоидом в исходной точке «1» хода (прил. 2, табл. П.2.2), вычислить высоты квазигеоида для всех определяемых пунктов сети. Вычисления выполняются по формулам (2.8), результаты записать в табл. 2.1.

3. Рассчитать ошибку определения высоты квазигеоида для конечной точки хода, если ошибка определения высоты в начальной точке равна 0,2 м.

Согласно формуле (2.4), средняя квадратическая ошибка определения превышения квазигеоида над эллипсоидом для конечной точки хода будет определяться

$$m_{\zeta_7}^2 = m_{\zeta_1}^2 + \sum m_{\Delta\zeta_{ij}}^2. \quad (2.9)$$

Средняя квадратическая ошибка определения высоты в начальной точке  $m_{\zeta_1}$  задана условиями задачи, а ошибки определения превышений  $m_{\Delta\zeta_{ij}}$  могут быть определены на основании (2.2)

$$m_{\Delta\zeta} = \frac{S}{\rho} m_{\vartheta_{\text{ср.}}}. \quad (2.10)$$

Таблица 2.1

Элементы формул	Название пунктов						
	1	2	3	4	5	6	7
$B$	63°40'46"	63°55'13"	64°07'56"	64°13'11"	64°27'31"	64°20'09"	64°29'53"
$H, \text{ м}$	468,360 1	449,043 5	500,217 4	472,868 4	511,581	470,898 9	503,798 2
$S, \text{ м}$	29 678,057		30 852,899	33 544,183	26 645,210	25 321,965	32 548,321
$A_{i,i+1}$	334°54'	39°51'	287°14'	357°38'	237°31'	304°00'	
$A_{i+1,i}$	334°41'	40°13'	286°37'	357°37'	237°07'	303°30'	
$\eta_i''$	-2,75	-2,82	-3,53	-3,97	-3,68	-4,57	-5,08
$\xi_i''$	6,05	6,86	5,89	4,98	4,21	4,45	5,17
$\vartheta'_{i,i+1}$	6,587 6	3,413	5,096 6	5,076 4	0,879 8	6,242	
$\vartheta'_{i+1,i}$	7,352 2	2,166 7	5,210 6	4,291 3	1,456 3	7,052 8	
$\Delta\zeta, \text{ м}$	-1,002 9	-0,417 3	-0,838 1	-0,605 1	-0,143 4	-1,048 9	
$\zeta, \text{ м}$	1,136 1	0,133 3	-0,284	-1,122 2	-1,727 2	-1,870 6	-2,919 6

Таким образом, решение задачи сводится к определению  $m_{\vartheta_{\text{ср.}}}$ . В данном случае ошибка  $m_{\vartheta_{\text{ср.}}}$  представляет собой уклонение среднего значения астрономо-геодезического уклонения от среднеинтегрального значения на отрезке интегрирования (сторона хода), т. е.

$$m_{\vartheta_{\text{ср.}}} = \vartheta_{\text{ср.}} - \bar{\vartheta}, \quad (2.11)$$

где  $\bar{\vartheta}$  – среднеинтегральное значение.

Строго говоря, оценить уклонения (2.11) для конкретной стороны хода очень сложно. Однако для приближенного (достаточного для решения данной задачи) оценивания можно воспользоваться эмпирической формулой [6]

$$m''_{\vartheta_{\text{ср.}}} = 0,17\sqrt{S_{\text{км}}}. \quad (2.12)$$

Формулы (2.9), (2.10) и (2.12) решают поставленную задачу.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое нивелирование квазигеоида?
2. Для каких целей необходимо знать высоты квазигеоида?
3. Какие способы нивелирования квазигеоида существуют и чем они отличаются?
4. В чем заключаются трудности практического применения астрономо-геодезического метода нивелирования?
5. В чем заключается основная идея астрономо-гравиметрического метода нивелирования?
6. Что такое точность астрономо-геодезического и астрономо-гравиметрического методов нивелирования квазигеоида?

### Практическая работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК ФИЗИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

**Цель работы:** освоить методику вычисления высот точек физической поверхности в гравитационном поле Земли.

**Время выполнения:** 6 часов аудиторной работы.

#### Краткие теоретические сведения

Положение точки однозначно определяется на поверхности Земли, если известны три пространственные геодезические координаты  $B$ ,  $L$ ,  $H$  (рис. 3.1).

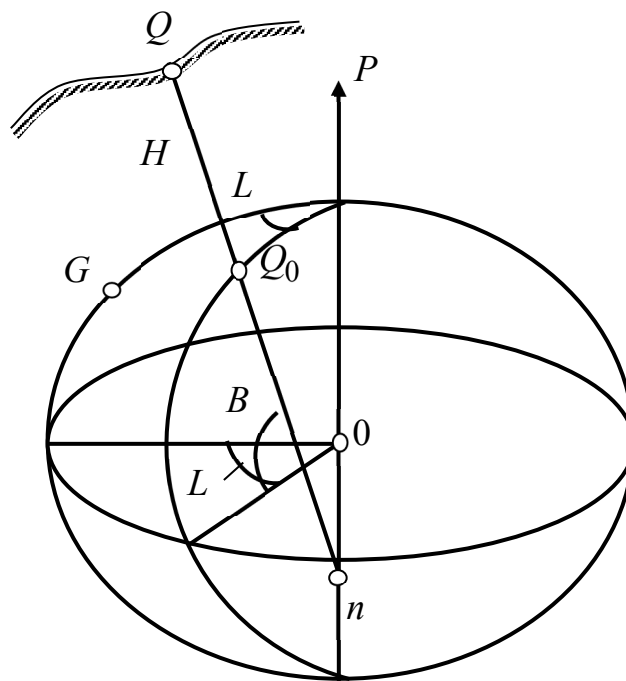


Рис. 3.1. Система геодезических широт и долгот

Широта ( $B$ ) и долгота ( $L$ ) точки определяют положение нормали, проходящей через точку физической поверхности Земли, а не положение этой

точки. Поэтому для определения положения точки на нормали необходимо знать третью величину – отрезок нормали от поверхности эллипсоида до точек физической поверхности Земли. В геодезии эта величина обозначается буквой  $H$  и называется геодезической высотой [7].

Высоты точек физической поверхности Земли необходимы для [1, 5, 7]:

- 1) изучения отступления физической поверхности Земли от поверхности референц-эллипсоида;
- 2) редуцирования измерений на координатную поверхность (эллипсоид);
- 3) изображения рельефа на различных топографических картах способом горизонталей или с помощью цифровой модели местности;
- 4) изыскания, проектирования и эксплуатации сложных инженерно-технических сооружений;
- 5) изучения вертикальных движений земной коры и т. д.

Для решения вышеперечисленных задач требуется различная точность определения высот, колеблющаяся в большом диапазоне, но для большинства задач требуется точность на миллиметровом диапазоне. Поэтому при определении высот точек Земли необходимо учитывать все факторы, влияющие на точность определения высот.

Высоты точек наземными методами измерить нельзя. Из измерений можно получить превышение одной точки над другой. Если известна высота начальной точки, то высоту следующей по ходу точки можно вычислить по формуле

$$H_{i+1} = H_i + \Delta H_{i,i+1}. \quad (3.1)$$

Следовательно, для построения высотной геодезической сети необходимо располагать хотя бы одной точкой с заданной высотой (отметкой). Такой точкой в России является нуль Кронштадского футштока (в переводе с немецкого это рейка). На рейке нулевой отметке соответствует риска, которая указывает на средний уровень моря за многолетний период наблюдений. Высоты вычисляются по измеренным превышениям от этой риски, то есть от среднего уровня Балтийского моря [7].

Высоты, отсчитываемые от поверхности геоида, называются *ортометрическими высотами* и обозначаются  $H^g$  (см. рис. 1.1).

Высоты, отсчитываемые от поверхности квазигеоида, называются *нормальными высотами* и обозначаются  $H^\gamma$ . Квазигеоид – это геометрическая поверхность, которая не является уровенной поверхностью. Высоты квазигеоида над эллипсоидом обозначаются  $\zeta$ , а высоты геоида –  $\zeta_1$ . Их еще называют *аномалиями высот*.

Из рис. 1.1 видна связь различных систем высот с геодезической высотой, отсчитываемой от эллипсоида:

$$H = H^g + \zeta_1 = H^\gamma + \zeta. \quad (3.2)$$

$H^g$  и  $H^\gamma$  могут быть вычислены по превышениям, полученным из нивелирования.

Геометрия нивелирования без учета непараллельности уровенных поверхностей простая – разность отсчетов по рейкам дает превышение. Если же учесть непараллельность уровенных поверхностей, то теория становится достаточно сложной.

Вычисленные по непосредственно измеренным превышениям высоты при непараллельности уровенных поверхностей зависят от пути нивелирования, и невязка в замкнутом полигоне не будет равна нулю. В геодезии получены формулы, которые дают возможность вычислять однозначно высоты независимо от пути нивелирования [1, 5, 7, 9]. Но эту задачу можно решить, лишь зная гравитационное поле, и на его основе учесть непараллельность уровенных поверхностей.

Формула (3.3) позволяет определить высоты точек физической поверхности Земли с учетом непараллельности уровенных поверхностей. Высоты, вычисленные по этой формуле, не зависят от пути нивелирования.

$$H_A = \frac{W_0 - W_A}{\tilde{g}} = \frac{\int_{OA} g dH}{\tilde{g}}, \quad (3.3)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести по линии нивелирования;

$\tilde{g}$  – среднее интегральное значение ускорения силы тяжести по силовой линии от геоида до точки на поверхности Земли.

В числителе (3.3) содержится приращение потенциала, не зависящее от пути нивелирования. Знаменатель не зависит от пути нивелирования.



Равенство (3.3) является основной формулой теории высот. В зависимости от того, какое ускорение силы тяжести будет стоять в знаменателе, мы будем иметь различные системы высот: ортометрическую, нормальную или динамическую.

### Порядок выполнения работы

1. По данным своего варианта вычислить сначала нормальные высоты точек хода высокоточного нивелирования, а затем, используя ранее вычисленные (предыдущее задание) высоты квазигеоида над эллипсоидом в точках хода, определить их геодезические высоты.

#### Вычисление нормальных высот

Рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} H_{i+1}^\gamma &= H_i^\gamma + \Delta H_{i,i+1}^\gamma; \\ \Delta H_{i,i+1}^\gamma &= h_i + \frac{1}{\gamma_{\text{ср.}}} (\gamma_0^i - \gamma_0^{i+1}) H_{\text{ср.}}^{i,i+1} + \frac{1}{\gamma_{\text{ср.}}} (g - \gamma)_{\text{ср.}} h_i; \\ \gamma_0 &= 978\,030 (1 + 0,005\,302 \sin^2 B - 0,000\,007 \sin^2 2B); \\ (g - \gamma) &= (g - \gamma)_B + 2\pi f \delta H'. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$H^\gamma$  – нормальная высота;

$H'$  – измеренная высота (вычисленная по неисправленным превышениям);

$\gamma_0$  – нормальное ускорение силы тяжести на эллипсоиде;

$(g - \gamma)$  – аномалия силы тяжести в свободном воздухе;

$(g - \gamma)_B$  – аномалия силы тяжести в редукциях Буге;

$\delta$  – плотность поверхности Земли;

$\gamma_{\text{ср.}}$  – среднее значение ускорения силы тяжести для хода.

При  $\delta = 2,3 \text{ г/см}^3$ ,  $\kappa = 2\pi f \delta = 0,0961 \text{ мГал/м}$ .

Результаты вычислений представлены в табл. 3.1. Широты пунктов  $B$ , аномалии силы тяжести в редукциях Буге  $\Delta g_B$  выбираются в соответствии со своим вариантом из прил. 2, табл. П.2.4.

Таблица 3.1

Название пунктов	Элементы формул									
	широта $B$	$h$ , м	$H'$ , м	$(g - \gamma)_B$ , мГал	$(g - \gamma)$ , мГал	$\gamma_0$ , мГал	$(\gamma_0^i - \gamma_0^{i+1}) \frac{H^{i,i+1}}{\gamma_{cp.}}$ , м	$(g - \gamma)_{cp.} \frac{h_i}{\gamma_{cp.}}$ , м	$\Delta H^\gamma$ , м	$H^\gamma$ , м
1	63°40'46"		467,224	-71	-26,1	982 191,73				467,224
		-19,316 6					-0,008 1	0,000 7	-19,324	
2	63°55'13"		447,907 4	-84	-41,0	982 209,06				447,9
		51,173 9					-0,007 3	-0,001 4	51,165 2	
3	64°07'56"		499,081 3	-60	-12,0	982 224,21				499,065 2
		-27,349 0					-0,003 1	0,000 7	-27,351 4	
4	64°13'11"		471,732 3	-84	-38,7	982 230,44				471,713 8
		38,712 6					-0,008 5	-0,001	38,703 1	
5	64°27'31"		510,444 9	-63	-14,0	982 247,38				510,416 9
		-40,682 1					0,004 3	0,001 1	-40,676 7	
6	64°20'09"		469,762 8	-83	-37,9	982 238,69				469,740 2
		32,899 3					-0,005 7	-0,000 9	32,892 7	
7	64°29'53"		502,662 1	-65	-16,7	982 250,16				502,632 9

## Вычисление геодезических высот

Вычисление геодезических высот выполняется по формуле

$$H_i = H_i^\gamma + \zeta_i. \quad (3.5)$$

Исходными являются нормальные высоты точек сети, полученные по формуле (3.4) в табл. 3.1, высоты квазигеоида берутся из табл. 2.1. Результаты вычислений представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Название пунктов	Элементы формул		
	$H^\gamma$ , м	$\zeta$ , м	$H$ , м
1	467,224	1,136 1	468,360 1
2	447,9	0,133 3	448,033 2
3	499,065 2	-0,284 0	498,781 1
4	471,713 8	-1,122 2	470,591 6
5	510,416 9	-1,727 2	508,689 7
6	469,740 2	-1,870 6	467,869 6
7	502,632 9	-2,919 6	499,713 3

2. Путем вычисления коэффициентов динамических высот осуществить переход от нормальных к динамическим высотам для соответствующих точек своего хода. Результаты представлены в табл. 3.3.

Рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} H_i^d &= H_i^\gamma - q_i H_i^\gamma; \\ q_i &= 1 - (10,197\ 671\ \gamma_0^i - 1,573\ 5\ H^{\gamma(i)}) \cdot 10^{-7}. \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Таблица 3.3

Название пунктов	Элементы формул		
	$H^\gamma$ , м	$q_i$	$H^d$ , м
1	467,224	-0,001 5	467,940 3
2	447,9	-0,001 6	448,594 5
3	499,065 2	-0,001 6	499,846 8
4	471,713 8	-0,001 6	472,455 6
5	510,416 9	-0,001 6	511,228 3
6	469,740 2	-0,001 6	470,482 8
7	502,632 9	-0,001 6	503,433 4

## Контрольные вопросы

1. Какое практическое значение имеют высоты?
2. Перечислить системы высот и указать их особенности.
3. Какими причинами вызывается непараллельность уровенных поверхностей?
4. Чем объясняется зависимость непосредственно измеренных превышений между пунктами от пути нивелирования?
5. Почему в настоящее время невозможно практически строго определить ортометрическую высоту?
6. Какие измерения необходимо произвести для определения нормальных высот точек высокоточного нивелирования?
7. Какова величина поправочных членов в формуле вычисления разности нормальных высот точек высокоточного нивелирного хода?
8. Как вычисляется невязка замкнутого нивелирного хода?
9. Одинаковы ли значения динамических, ортометрических и нормальных высот для точек одной и той же уровенной поверхности?
10. Как определить разность нормальных высот для точек одной и той же уровенной поверхности?

**Практическая работа № 4.**  
**РЕДУЦИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**  
**НА ПОВЕРХНОСТЬ РЕФЕРЕНЦ-ЭЛЛИПСОИДА**

**Цель работы:** освоить методику редуцирования элементов высокоточных геодезических сетей на поверхность эллипсоида.

**Время выполнения:** 8 часов аудиторной работы.

**Краткие теоретические сведения**

Построение опорных геодезических сетей производится на физической поверхности Земли, а их математическая обработка – на поверхности принятого референц-эллипсоида. Поэтому для правильной математической обработки вначале необходимо измеренные на поверхности Земли элементы геодезической сети (длины сторон, горизонтальные направления) редуцировать на эллипсоид, то есть выполнить переход от непосредственно измеренных на земной поверхности величин геодезических сетей к соответствующим им величинам на поверхности эллипсоида [6, 7].

Совокупность геодезических задач, связанных с вычислением различных поправок в результате измерений при переносе их с физической поверхности Земли на поверхность референц-эллипсоида или общеземного эллипсоида, принято называть *редукционной проблемой (задачей) геодезии* [1, 5, 7–9].

Можно указать два принципиально различных метода редуцирования измерений:

- 1) метод развертывания;
- 2) метод проектирования.

*Метод развертывания* заключается в том, что результаты измерений с физической поверхности Земли переносятся на геоид по отвесным линиям, а затем предполагается, что эллипсоид совпадает с геоидом, то есть результаты, отнесенные на геоид, как бы разворачиваются на эллипсоид без

введения дополнительных поправок. Отсюда и название – метод развертывания. Это приближенный метод. Его нестрогость будет зависеть от того, насколько геоид по высоте не совпадает с эллипсоидом. Так как различие по высоте геоида с эллипсоидом для нашего государства может достигать до 150 м, то редуцированные по методу развертывания измерения приобретут значительные погрешности, которые будут иметь систематический характер. Поэтому в настоящее время в России применяется второй метод – метод проектирования [6, 7].

*Метод проектирования* был разработан Ф. Н. Красовским и М. С. Молоденским в 40-е гг. XX столетия и заключается в том, что результаты измерений с физической поверхности Земли переносятся на эллипсоид по нормальям к нему. Для этого используются формулы связи искомых поправок с параметрами (высоты, УОЛ), характеризующими отступление по высоте и наклону земной поверхности и эллипсоида. Так как метод развертывания в настоящее время практически не применяется, то ниже будем рассматривать только метод проектирования [6, 7].

### *Редуцирование измеренных расстояний*

Высокоточные измерения расстояний при построении наземных геодезических сетей могут выполняться либо с помощью инварных проволок, либо радиодальномерами или светодальномерами. В настоящее время расстояние инварными проволоками почти не измеряют. В данном практикуме приведем формулы для редуцирования наклонных дальностей, измеренных радиодальномерами или светодальномерами.

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= S + \frac{S^3}{24R_A^2} + \frac{3}{640} \frac{S^5}{R_A^4} + \dots; \\ S &= \sqrt{\frac{D^2 - (H_2 - H_1)^2}{\left(1 + \frac{H_1}{R_A}\right)\left(1 + \frac{H_2}{R_A}\right)}}. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$D$  – измеренное значение наклонной дальности;

$H_i$  – геодезические высоты конечных точек наклонной дальности;

$R_A$  – радиус нормального сечения, проведенного под азимутом  $A$ .

Радиус нормального сечения можно вычислить по одной из формул:

$$R_A = a(1 + 0,5e^2 \sin^2 B - e^2 \cos^2 B \cos^2 A); \quad (4.2)$$

$$R_A = \frac{N}{1 + \eta^2 \cos^2 A}, \quad (4.3)$$

где  $N$  – радиус кривизны первого вертикала [2]:

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{c}{V}; \\ V &= \sqrt{1 + \eta^2}; \\ \eta^2 &= e'^2 \cos^2 B. \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$a$  – большая полуось референц-эллипсоида,  $a = 6\,378\,245,0$  м;

$e^2$  – квадрат первого эксцентриситета,  $e^2 = 0,006\,693\,421\,623$ ;

$e'^2$  – квадрат второго эксцентриситета,  $e'^2 = 0,006\,738\,525$ ;

$V$  – вторая сфероидическая функция широты;

$c$  – полярный радиус кривизны,  $c = 6\,399\,698,90$  м.

### *Редуцирование горизонтальных направлений*

*Горизонтальное направление* – это отсчет по горизонтальному кругу при определенной ориентировке нулевого диаметра лимба [7]. Так как любой горизонтальный угол определяется как разность двух горизонтальных направлений, то рассмотрим только порядок редуцирования горизонтальных направлений.

В случае же редуцирования углов поправка за переход на эллипсоид может быть получена как разность поправок редуцирования правого и левого направлений данного угла.

При редуцировании горизонтальных направлений на эллипсоид по методу проектирования необходимо ввести в непосредственно измеренные направления три поправки [3–9]:

- поправку за уклонение отвесных линий;
- поправку за высоту пункта, на который измерено горизонтальное направление;
- поправку за переход от азимута нормального сечения к азимуту геодезической линии.

В процессе измерения горизонтальных направлений ось теодолита располагается по отвесной линии, а коллимационная плоскость, определяющая направление на наблюдаемый пункт, является вертикальной плоскостью. Между тем, для определения соответствующего направления на поверхности эллипсоида необходимо использовать нормальную плоскость. Следовательно, для редуцирования горизонтального направления на эллипсоид необходимо учесть несовпадение отвесной линии и нормали, что осуществляется введением в горизонтальное направление *поправки за уклонение отвесной линии*.

Поправка за уклонение отвеса  $\Delta_{u(ij)}$  в направлении с пункта  $i$  на пункт  $j$  вычисляется по формуле

$$\Delta_{u(ij)} = (\eta_i \cos A_{ij} - \xi_i \sin A_{ij}) \operatorname{ctg} Z_{ij}, \quad (4.5)$$

где  $\xi_i, \eta_i$  – составляющие уклонения отвеса в пункте наблюдения;

$A_{ij}$  – азимут направления  $ij$ ;

$Z_{ij}$  – зенитное расстояние на наблюдаемый пункт  $j$ .

Поправки за уклонения отвесных линий обеспечивают переход к нормальным сечениям на поверхности эллипсоида. Как известно из [2, 6, 7], нормальные сечения обладают двойственностью, а их направления зависят от высоты наблюдаемого пункта. Для учета этих особенностей в измеренные горизонтальные направления кроме поправок за уклонение отвеса вводят поправки  $\Delta_{H(ij)}$  за высоту наблюдаемого пункта и  $\Delta_{\Gamma(ij)}$  – за переход от азимута нормального сечения к азимуту геодезической линии.



Поправки  $\Delta_{H(ij)}$  и  $\Delta_{\Gamma(ij)}$  для направления с пункта  $i$  на пункт  $j$  вычисляются по формулам [6–8]:

$$\Delta_{H(ij)} = \frac{e^2 \rho''}{2M_{\text{ср.}}} H_j \cos^2 B_j \sin 2A_{ij}; \quad (4.6)$$

$$\Delta_{\Gamma(ij)} = -\frac{e'^2 \rho''}{12N^2} S_{ij}^2 \cos^2 B_i \sin 2A_{ij}, \quad (4.7)$$

где  $M_{\text{ср.}}$  – радиус кривизны меридиана для средней широты  $B$  пунктов  $i$  и  $j$ ;

$N$  – радиус кривизны первого вертикала;

$H_j$  – высота наблюдаемого пункта над поверхностью эллипсоида;

$B_j$  – широта наблюдаемого пункта;

$S_{ij}$  – расстояние между пунктами  $i$  и  $j$ .

Зенитные расстояния на наблюдаемые пункты геодезических сетей в равнинной местности обычно близки к  $90^\circ$ . Если учесть, что составляющие отклонения отвеса не превышают  $10''$ , то значения поправок  $\Delta_{u(ij)}$  составляют доли секунд. Однако влияние отклонения отвесных линий на горизонтальные направления имеет систематический характер [3, 7]. Поэтому при обработке высокоточных угловых измерений поправки за отклонения отвесных линий обязательно вводятся в горизонтальные направления сетей 1-го и 2-го классов даже в равнинной местности. В горной местности, где зенитные расстояния значительно отличаются от  $90^\circ$ , эти поправки вносятся в направления сетей всех классов.

Поправки  $\Delta_{H(ij)}$  даже при высотах наблюдаемых визирных целей порядка 1 000 м выражаются в сотых долях секунды. Поэтому эти поправки используют при обработке сетей 1-го и 2-го классов в горной местности.

Поправки  $\Delta_{\Gamma(ij)}$  зависят от расстояний между пунктами. При расстояниях порядка 30 км они выражаются в тысячных долях секунды. Поэтому их используют при обработке только сетей 1-го класса.

## Порядок выполнения работы

1. Редуцировать на поверхность референц-эллипсоида по методу проектирования базис, измеренный радио-, светодальномерами. Исходные данные для выполнения работы выписываются из табл. П.2.3–П.2.5 прил. 2.

Алгоритм и формулы (4.1)–(4.4) для редуцирования базиса рассмотрены в кратких теоретических сведениях. Результаты вычислений представлены в табл. 4.1.

*Таблица 4.1*

Исходные данные		Результаты вычислений	
$B$	63°40'46"	$R_A$	6 388 511,681 2
$A$	334°54'	$S$	29 678,029 5 м
$D$	29 680,165 м	$S_0$	29 678,056 2 м
$H_1$	468,360 1 м		
$H_2$	448,033 2 м		

2. Редуцировать на поверхность эллипсоида методом проектирования измеренные горизонтальные углы в звене 1-го класса.

Условное звено хода полигонометрии 1-го класса изображено на рис. 2.4.

### *Вычисление поправок за уклонения отвесных линий*

Рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{u(ij)} &= (\eta_i \cos A_{ij} - \xi_i \sin A_{ij}) \operatorname{ctg} Z_{ij}; \\ \operatorname{ctg} Z_{ij} &= \frac{(H_j - H_i) - i_i + v_j - r_{ij}}{S}; \\ r_{ij} &= \frac{1-k}{2R} S^2 \approx \frac{S^2}{15}, \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

где  $H_i$  и  $H_j$  – геодезические высоты пунктов;

$i_i$  – высоты инструмента (относительно центра знака);

$v_j$  – высота визирной цели (относительно своего центра знака);

$r$  – поправка за кривизну Земли и рефракцию;

$\xi$  и  $\eta$  – соответствующие уклоны отвесных линий в плоскости меридиана и первого вертикала;

$Z_{ij}$  – зенитное расстояние;

$A$  – азимут геодезический;

$S$  – расстояние между пунктами, км.

Результаты вычислений представлены в табл. 4.2.

*Вычисление поправок  $\Delta_{H(ij)}$  за высоту наблюдаемого пункта и  $\Delta_{\Gamma(ij)}$  – за переход от азимута нормального сечения к азимуту геодезической линии*

Для вычисления поправок можно воспользоваться точными формулами (4.6) и (4.7). Либо найти поправки по приближенным формулам (4.9), (4.10):

$$\Delta_{H(ij)} = 0,108 H_j^{\text{км}} \cos^2 B_j \sin 2A_{ij}; \quad (4.9)$$

$$\Delta_{\Gamma(ij)} = -0,0282 S_{(100\text{км})}^2 \cos^2 B_i \sin 2A_{ij}. \quad (4.10)$$

Результаты вычислений поправок представлены в табл. 4.3.

*Вычисление редуцированных углов  $\beta$  сети*

Рабочие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \beta_i &= \beta'_i + \Delta_{\beta_i}; \\ \Delta_{\beta_i} &= \sum \text{пр.} - \sum \text{лев.} = (\Delta_u + \Delta_H + \Delta_r)_{\text{пр.}} - (\Delta_u + \Delta_H + \Delta_r)_{\text{лев.}} \end{aligned} \right\} (4.11)$$

В формулах приняты следующие обозначения:

$\beta$  – редуцированное значение угла;

$\beta'$  – измеренное значение угла;

$\Delta_{\beta}$  – поправка в угол за редуцирование;

$\Sigma \text{пр.}$ ,  $\Sigma \text{лев.}$  – суммы поправок правого и левого направлений, образующих угол  $\beta$ .

Результаты вычислений приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.2

$i$	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
$j$	2	1	3	2	4	3	5	4	6	5	7	6
$A_{ij}$	334°54'	154°41'	39°51'	220°13'	287°14'	106°37'	357°38'	177°37'	237°31'	57°07'	304°00'	123°30'
$S_{ij}, \text{ м}$	29678,057		30852,899		33544,183		26645,210		25321,965		32548,321	
$\xi_i''$	6,05	6,86	6,86	5,89	5,89	4,98	4,98	4,21	4,21	4,45	4,45	5,17
$\eta_i''$	-2,75	-2,82	-2,82	-3,53	-3,53	-3,97	-3,97	-3,68	-3,68	-4,57	-4,57	-5,08
$H_j, \text{ м}$	448,0332	468,3601	498,7811	448,0332	470,5916	498,7811	508,6897	470,5916	467,8696	508,6897	499,7133	467,8696
$H_i, \text{ м}$	468,3601	448,0332	448,0332	498,7811	498,7811	470,5916	470,5916	508,6897	508,6897	467,8696	467,8696	499,7133
$i_i, \text{ м}$	27,17	23,90	23,90	22,64	22,64	17,21	17,21	12,26	12,26	26,10	26,10	27,42
$v_j, \text{ м}$	27,38	30,47	25,81	27,38	21,01	25,81	15,83	21,01	29,12	15,83	30,77	29,12
$r_{ij}, \text{ м}$	58,7191		63,4601		75,0141		47,3311		70,6262		42,7468	
$ctgZ_{ij}$	-0,0027	-0,0011	-0,0004	-0,0035	-0,0031	-0,0011	-0,0004	-0,0029	-0,0026	-0,0005	-0,001	-0,0031
$\Delta_{u(ij)}''$ $\Delta_{u''ij}$	-0,0002	0,0004	0,0023	-0,0231	-0,0143	0,0041	0,0015	-0,0101	-0,0146	0,003	-0,0012	0,0047

Таблица 4.3

$i$	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
$j$	2	1	3	2	4	3	5	4	6	5	7	6
$A_{ij}$	334°54'	154°41'	39°51'	220°13'	287°14'	106°37'	357°38'	177°37'	237°31'	57°07'	304°00'	123°30'
$B_j$	63°55'	63°41'	64°08'	63°55'	64°13'	64°08'	64°28'	64°13'	64°20'	64°28'	64°30'	64°20'
$S_{ij(100\text{км})}$	0,2968		0,3085		0,3354		0,2665		0,2532		0,3255	
$H_j, \text{км}$	0,448	0,4684	0,4988	0,448	0,4706	0,4988	0,5087	0,4706	0,4679	0,5087	0,4997	0,4679
$\Delta''_{H(ij)}$	-0,0072	-0,0077	0,0101	0,0092	-0,0054	-0,0056	-0,0008	-0,0008	0,0086	0,0093	-0,0093	-0,0087
$\Delta''_{\Gamma(ij)}$	0,0004	0,0004	-0,0005	-0,0005	0,0003	0,0003	0	0	-0,0003	-0,0003	0,0005	0,0005

37

Таблица 4.4

		2		3		4		5		6		
$i$	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
$j$	2	1	3	2	4	3	5	4	6	5	7	6
$\Delta''_{u(ij)}$	-0,0002	0,0004	0,0023	-0,0231	-0,0143	0,0041	0,0015	-0,0101	-0,0146	0,003	-0,0012	0,0047
$\Delta''_{H(ij)}$	-0,0072	-0,0077	0,0101	0,0092	-0,0054	-0,0056	-0,0008	-0,0008	0,0086	0,0093	-0,0093	-0,0087
$\Delta''_{\Gamma(ij)}$	0,0004	0,0004	-0,0005	-0,0005	0,0003	0,0003	0	0	-0,0003	-0,0003	0,0005	0,0005
$\Sigma''_{(ij)}$	-0,007	-0,0069	0,0119	-0,0144	-0,0194	-0,0012	0,0007	-0,0109	-0,0063	0,012	-0,01	-0,0035
$\Sigma_{\text{пр.}} - \Sigma_{\text{лев.}}$			0,0188		-0,0050		0,0019		0,0046		-0,022	
$\beta'$		245°10'09,36"		67°00'46,17"		251°00'36,98"		59°53'52,66"		246°52'44,23"		
$\beta$		245°10'09,3788"		67°00'46,165"		251°00'36,9819"		59°53'52,6646"		246°52'44,208"		

3. Дать ответ с обоснованием на вопрос: «Какие поправки следует вводить в горизонтальные направления при редуцировании их по методу развертывания» [1, 4–9].

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое уклонение отвесных линий?
2. Какое значение имеют уклонения отвесных линий для геодезии?
3. Какие вы знаете методы определения уклонения отвесных линий и какова их точность?
4. Какие поправки вводят в измеренные направления при редуцировании и их геометрический смысл?
5. В чем принципиальное отличие способов редуцирования базисов, измеренных подвесными мерными приборами, и свето- и радиодальномерами?
6. На каком этапе математической обработки геодезической сети должны вводиться поправки за редуцирование на референц-эллипсоид?
7. Почему на практике не редуцируют измеренные зенитные расстояния на эллипсоид?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий практикум подготовлен в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего образования и рабочей программой дисциплины для обучающихся по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата).

В работе рассмотрены и приведены решения только тех задач, которые обучающиеся изучают в курсе «Теоретическая геодезия» и которые решаются с использованием в основном наземных геодезических измерений.

В практикуме представлены:

- 1) содержание практической составляющей дисциплины «Теоретическая геодезия»;
- 2) описание разделов работы с рабочими формулами, полученными результатами и пояснениями;
- 3) указания и требования, предъявляемые к оформлению и выполнению работ с приведением кратких теоретических сведений;
- 4) задания и исходные данные для выполнения индивидуальных практических работ по дисциплине.

Целью рассмотренных в практикуме работ является углубление и закрепление теоретических знаний, полученных обучающимися на лекциях и в процессе самостоятельного изучения учебного материала и, следовательно, формирование у них определенных умений и навыков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. – 3-е изд. – М. : Недра, 1976. – 512 с.
2. Кобелева Н. Н., Елагин А. В. Сфероидическая геодезия : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 64 с.
3. Мазуров Б. Т. Высшая геодезия : учеб. для вузов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 203 с.
4. Машимов М. М. Геодезия. Теоретическая геодезия : справ. пособие. – М. : Недра, 1991. – 268 с.
5. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия. – М. : Недра, 1978. – 264 с.
6. Телеганов Н. А. Программа и лабораторно-практические работы по курсу «Высшая геодезия». Ч. 3. Теоретическая геодезия. – Новосибирск : НИИГАиК, 1991.
7. Телеганов Н. А., Елагин А. В. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 238 с.
8. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учеб. для вузов / под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.
9. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учеб. пособие для вузов / Н. В. Яковлев, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М. : Недра, 1982. – 368 с.



## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»  
(СГУГиТ)

Кафедра космической и физической геодезии

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

#### УСТАНОВЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАТ И ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЭЛЛИПСОИДА ПО ВЫСОТЕ

Выполнил \_\_\_\_\_ Сидоров А. В.  
(подпись)

Обучающийся группы БГ-41.

Проверил \_\_\_\_\_ Елагин А. В.  
(подпись)

Доцент каф. КиФГ, к. т. н.

Новосибирск – 2022

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Таблица П.2.1

Исходные данные для выполнения пунктов 1 и 2 практической работы № 1

Разности высот квазигеоида между пунктами геодезической сети в метрах

Вариант	$\Delta\zeta_{14}$	$\Delta\zeta_{25}$	$\Delta\zeta_{36}$	$\Delta\zeta_{45}$	$\Delta\zeta_{56}$	$\Delta\zeta_{47}$	$\Delta\zeta_{58}$	$\Delta\zeta_{69}$	$\Delta\zeta_{12}$	$\Delta\zeta_{23}$	$\Delta\zeta_{78}$	$\Delta\zeta_{89}$
1	1,340	1,365	-1,819	0,434	-0,346	0,597	-0,337	0,851	0,511	2,791	-0,595	0,747
2	0,864	0,299	0,552	-2,487	1,221	0,816	0,879	0,613	-1,763	0,916	-2,254	1,125
3	-0,250	2,074	0,926	1,883	0,664	0,907	0,355	-0,939	-0,451	1,897	1,377	-0,584
4	-0,513	1,600	-0,191	0,512	0,936	1,434	1,187	-0,490	-1,727	2,544	0,355	-0,650
5	-0,415	-0,894	0,362	-1,704	1,161	-0,634	-0,334	-0,720	-1,232	-0,083	-1,439	0,739
6	-0,282	0,212	-0,316	-0,411	0,165	1,137	-1,949	-1,501	-0,843	0,879	-3,504	0,608
7	0,062	-1,643	-0,670	-0,333	1,302	0,901	0,642	-0,205	1,372	0,297	-0,537	0,509
8	-0,262	0,375	0,464	0,131	-0,248	0,142	0,434	0,992	-0,701	-0,324	0,409	0,294
9	0,119	1,288	0,287	-1,427	-0,354	-0,223	1,390	-0,522	-2,495	0,609	0,175	-2,279
10	0,766	0,443	1,395	0,446	-0,889	-0,870	0,577	-0,621	0,840	-1,806	2,071	-1,911
11	-0,703	0,219	-1,382	-1,589	-0,486	-2,375	-0,496	-1,092	-2,697	0,965	0,193	-1,178
12	0,375	0,753	0,399	-0,108	0,175	0,935	-0,600	0,597	-0,429	0,552	-1,702	1,316
13	0,251	-0,258	-1,044	-1,353	1,064	-0,121	-1,627	-0,560	-0,965	1,809	-2,778	2,211
14	1,745	0,646	-1,571	1,194	-0,952	0,151	0,424	0,313	2,399	1,323	1,563	-0,967
15	1,034	0,881	-0,001	0,840	1,969	0,109	1,304	-0,599	1,028	2,718	1,921	-0,047
16	-0,627	-2,691	0,012	-1,646	-0,204	-1,718	2,153	-1,687	0,450	-2,859	2,210	-4,059
17	-2,536	0,490	0,133	0,783	-0,695	-0,526	-0,023	-0,658	-2,293	-0,426	1,251	-1,366
18	0,978	-0,741	-0,840	-1,041	-0,490	0,280	-0,493	-1,225	0,780	-0,603	-1,729	-1,135

Вариант	$\Delta\zeta_{14}$	$\Delta\zeta_{25}$	$\Delta\zeta_{36}$	$\Delta\zeta_{45}$	$\Delta\zeta_{56}$	$\Delta\zeta_{47}$	$\Delta\zeta_{58}$	$\Delta\zeta_{69}$	$\Delta\zeta_{12}$	$\Delta\zeta_{23}$	$\Delta\zeta_{78}$	$\Delta\zeta_{89}$
19	0,999	0,149	1,258	-0,454	-0,715	0,980	-0,368	1,356	0,554	-1,820	-1,898	0,913
20	-1,506	0,907	0,887	-0,407	-0,165	-0,840	-1,617	-0,973	-2,896	-0,113	-1,139	0,523
21	-0,739	-1,746	-0,101	-0,002	0,000	-0,560	-1,514	-1,505	1,033	-1,545	-0,983	-0,018
22	-1,706	1,547	-1,155	-0,465	-0,859	-0,684	0,150	-0,643	-3,697	1,873	0,259	-1,763
23	-0,796	1,682	1,730	0,152	1,443	-0,839	-0,679	-0,098	-2,237	1,296	0,350	2,062
24	-2,240	1,224	-1,478	0,905	0,785	1,979	0,539	-0,304	-2,516	3,466	-0,429	0,045
25	-1,950	0,872	-0,918	-0,202	0,552	-0,121	-1,204	-0,888	-2,979	2,504	-1,269	0,885
26	-0,730	-0,120	0,111	0,517	-0,787	-0,767	-0,641	-1,212	-0,146	-0,876	0,576	-1,425
27	2,074	-2,314	0,482	-1,483	-0,342	-0,397	-1,879	0,166	2,907	-2,962	-2,891	1,777
28	-1,944	-0,859	0,494	-1,245	-0,156	0,189	-0,429	-3,090	-2,178	-1,563	-1,851	-2,806
29	1,778	-0,166	0,498	-1,237	0,887	0,273	-1,390	1,389	0,788	0,238	-2,863	3,705
30	0,471	-1,744	0,325	0,270	0,988	1,401	-0,216	0,478	2,506	-1,148	-1,384	1,646
31	0,039	-0,735	0,971	1,745	1,538	-0,492	-0,794	0,221	2,479	-0,107	1,575	2,685
32	-0,490	0,352	-0,213	1,678	0,532	0,541	-0,766	0,935	1,000	0,966	0,325	2,190
33	-1,605	0,490	0,448	0,255	0,573	-0,447	-0,775	0,732	-2,118	0,551	-0,141	2,012
34	-0,105	1,965	-1,347	0,605	-1,470	-1,190	0,153	2,119	-1,418	1,854	2,022	0,569
35	-0,598	-1,647	-0,666	-1,133	-0,269	0,885	0,548	-1,595	0,009	-1,365	-1,358	-2,301

## Исходные данные для выполнения пункта 3 практической работы № 1

## Исходные геодезические данные

Вариант	Астр. широта $\varphi_0$ о ' "	Астр. долгота $\lambda_0$ о ' "	Астр. азимут $\alpha_0$ о ' "	Норм. высота $H_0^y$ , м	Составляющие УОЛ		Высота квазигеоида $\zeta_0$ , м
					$\xi_0$ , "	$\eta_0$ , "	
1	55 00 27,5769	82 52 32,799 8	75 00 34,8472	399,414 9	-3,962 8	1,512 0	-1,525 4
2	55 00 26,0633	82 52 30,673 0	28 17 22,5107	404,548 8	-3,048 7	1,585 9	0,234 2
3	55 00 24,0026	82 52 27,251 0	317 16 35,8870	397,033 0	-2,777 9	0,865 7	-0,979 9
4	55 00 20,6490	82 52 22,753 1	287 29 12,0820	408,905 7	-3,896 2	-0,522 8	-0,259 7
5	55 00 20,2381	82 52 23,579 8	325 22 21,5860	406,425 5	-2,167 6	1,091 0	1,258 8
6	55 00 18,1907	82 52 22,753 6	37 27 22,4060	386,441 0	-2,171 5	1,706 0	0,683 3
7	55 00 17,2256	82 52 21,735 3	75 24 17,0438	405,515 8	-1,188 7	2,159 7	-0,688 3
8	55 00 13,7802	82 52 18,359 7	47 10 29,2556	407,467 8	-2,781 9	1,210 5	0,194 0
9	55 00 11,0051	82 52 18,387 1	335 58 49,9550	402,279 4	-3,800 3	2,162 1	1,052 4
10	55 00 10,8581	82 52 14,095 9	289 08 39,0950	422,738 9	-2,285 9	0,586 1	-0,455 5
11	55 00 07,5209	82 52 17,085 4	309 37 47,3370	399,180 7	-4,057 0	3,135 0	2,248 3
12	55 00 07,4775	82 52 13,568 5	18 29 01,0630	407,479 4	-2,629 5	1,901 5	-0,291 2
13	55 00 05,6908	82 52 13,661 0	72 18 22,4784	392,602 8	-3,040 2	2,687 5	0,440 5
14	55 00 02,8489	82 52 08,443 1	61 43 10,8288	405,121 3	-4,601 1	0,377 1	-2,293 9
15	55 00 03,5078	82 52 08,806 7	356 23 53,0650	402,300 9	-2,756 2	1,217 5	-2,083 9
16	55 00 01,8893	82 52 06,303 6	295 14 10,3520	402,957 9	-3,283 2	0,363 2	1,557 0
17	55 00 01,5925	82 52 12,108 4	296 35 26,6490	399,182 1	-2,583 3	4,223 6	2,200 7
18	55 00 01,1570	82 52 05,048 7	357 36 07,9000	398,004 0	-2,116 7	0,654 9	-0,056 1

Вариант	Астр. широта $\varphi_0$ ° ' "	Астр. долгота $\lambda_0$ ° ' "	Астр. азимут $\alpha_0$ ° ' "	Норм. высота $H_0^Y$ , м	Составляющие УОЛ		Высота квазигеоида $\zeta_0$ , м
					$\xi_0$ , "	$\eta_0$ , "	
19	55 00 00,163 0	82 52 05,543 9	61 32 38,664 3	405,513 0	-2,303 1	1,369 1	-0,413 5
20	54 59 57,273 1	82 52 07,410 7	72 27 02,561 5	407,761 2	-4,479 8	2,819 8	2,244 2
21	54 59 58,239 9	82 52 07,627 0	17 14 14,624 9	401,843 4	-2,894 1	3,273 5	0,842 7
22	54 59 58,722 1	82 52 04,467 3	308 59 51,559 0	399,441 2	-1,887 3	1,740 6	2,317 0
23	54 59 58,283 3	82 52 02,287 4	287 59 00,741 0	423,284 3	-1,895 7	0,719 5	0,662 4
24	54 59 56,183 4	82 52 03,098 6	336 33 02,278 0	414,539 4	-3,659 2	1,364 0	0,810 0
25	54 59 56,889 2	82 52 04,872 0	47 29 56,025 4	402,019 7	-2,711 3	2,510 2	1,891 8
26	54 59 56,514 8	82 52 02,895 9	76 53 25,571 8	396,684 2	-2,937 5	1,455 6	0,875 3
27	54 59 55,988 5	82 52 02,763 1	37 21 38,961 0	400,490 7	-3,409 5	1,408 4	-0,754 6
28	54 59 54,939 1	82 52 02,561 7	324 32 55,226 0	420,454 0	-4,498 6	1,271 8	2,908 2
29	54 59 55,876 9	82 52 05,928 9	287 31 44,199 0	391,257 5	-3,694 4	3,132 0	-1,077 9
30	54 59 54,593 3	82 52 04,654 7	318 06 38,454 0	408,902 0	-5,205 3	2,280 1	-1,256 0
31	54 59 57,486 0	82 52 05,822 3	27 44 28,791 1	382,141 5	-2,633 7	2,778 7	-1,608 4
32	54 59 56,965 7	82 52 06,113 2	75 59 04,525 2	396,361 7	-3,568 8	2,724 6	-0,931 1
33	54 59 58,996 5	82 52 05,401 8	54 43 27,053 3	398,667 7	-2,046 6	2,045 6	1,316 4
34	54 59 57,612 1	82 52 07,093 5	344 27 34,294 0	410,617 2	-4,033 2	2,695 2	0,092 4
35	55 00 00,743 7	82 52 06,255 1	291 49 33,368 0	413,243 9	-1,597 5	1,843 6	1,093 1

## Исходные данные для выполнения практических работ № 2, 3, 4

## Исходные данные на начальном и конечном пунктах геодезической сети

Вариант	Наклонная дальность $D_{12}$ , м	Горизонтальное проложение $S_{12}$ , м	Широта $B_7$ ° ' "	Долгота $L_7$ ° ' "	Геодезический азимут $A_{76}$ ° ' "	Высота квасигеоида $\zeta_1$ , м
1	23 389,078	23 389,090	54 26 47,0642	84 24 57,331 4	348 40 05,552	-1,525 4
2	23 371,409	23 371,418	55 18 06,8564	84 40 15,831 5	298 02 12,025	0,234 2
3	23 140,555	23 140,564	56 03 04,3338	82 53 33,629 0	229 14 07,185	-0,979 9
4	22 390,873	22 390,884	55 52 41,1596	81 52 08,188 1	191 49 00,471	-0,259 7
5	22 415,719	22 415,705	56 04 04,9088	82 55 47,112 9	213 15 17,923	1,258 8
6	23 049,458	23 049,468	55 12 29,6401	84 41 32,164 8	295 44 41,808	0,683 3
7	23 202,434	23 202,440	54 33 43,1337	84 31 38,637 7	338 16 52,232	-0,688 3
8	23 870,620	23 870,625	54 57 54,6578	84 43 21,765 1	315 38 57,936	0,194 0
9	23 103,476	23 103,488	56 00 02,3104	83 27 39,314 2	244 05 39,166	1,052 4
10	23 011,910	23 011,920	55 54 49,2521	81 57 37,919 9	191 24 20,102	-0,455 5
11	22 399,481	22 399,491	56 00 04,0882	82 21 14,427 5	194 30 20,032	2,248 3
12	22 685,275	22 685,286	55 31 20,9520	84 26 31,043 5	280 28 05,694	-0,291 2
13	23 172,440	23 172,453	54 29 48,2374	84 28 32,315 5	350 35 36,527	0,440 5
14	23 656,703	23 656,712	54 43 40,4802	84 41 38,070 8	318 52 08,675	-2,293 9
15	22 912,288	22 912,286	55 47 40,3416	84 06 07,749 0	263 28 21,977	-2,083 9
16	22 408,360	22 408,341	55 54 20,7637	81 52 24,295 3	184 01 50,644	1,557 0
17	22 540,728	22 540,740	55 55 59,3181	82 01 58,907 2	188 35 02,450	2,200 7
18	22 816,152	22 816,162	55 47 09,7820	84 06 37,301 5	268 50 53,249	-0,056 1
19	23 121,748	23 121,760	54 46 12,0952	84 42 09,284 2	319 03 47,877	-0,413 5
20	23 756,612	23 756,625	54 28 07,9717	84 25 42,933 8	348 53 38,938	2,244 2

Вариант	Наклонная дальность $D_{12}$ , м	Горизонтальное проложение $S_{12}$ , м	Широта $B_7$ ° ' "	Долгота $L_7$ ° ' "	Геодезический азимут $A_{76}$ ° ' "	Высота квазигеоида $\zeta_1$ , м
21	23 368,193	23 368,204	55 28 46,8317	84 32 13,7093	289 37 21,975	0,8427
22	22 755,655	22 755,666	56 02 08,1918	82 30 14,8437	210 35 18,851	2,3170
23	22 732,736	22 732,735	55 51 12,1813	81 43 48,5095	175 20 26,809	0,6624
24	22 743,302	22 743,313	56 00 32,6023	83 17 27,6412	229 00 14,119	0,8100
25	23 258,513	23 258,523	54 54 55,0869	84 41 53,8635	321 05 25,561	1,8918
26	23 000,465	23 000,469	54 32 57,6494	84 30 15,3913	336 05 28,193	0,8753
27	23 391,565	23 391,578	55 03 55,7753	84 41 24,3657	320 00 20,995	-0,7546
28	22 799,030	22 799,021	56 04 34,6106	82 57 42,3500	214 03 24,694	2,9082
29	21 973,587	21 973,562	55 50 31,6663	81 45 13,2529	183 36 48,623	-1,0779
30	22 692,229	22 692,240	56 03 37,3681	82 47 54,8507	216 33 29,541	-1,2560
31	23 036,406	23 036,395	55 27 37,3778	84 31 42,1843	278 13 29,814	-1,6084
32	23 404,177	23 404,188	54 22 55,8318	84 18 02,6756	1 11 28,329	-0,9311
33	23 619,084	23 619,097	54 42 02,2046	84 37 44,2509	340 52 57,145	1,3164
34	23 279,013	23 279,017	55 59 34,5979	83 35 55,9527	239 46 30,417	0,0924
35	22 512,684	22 512,694	55 50 05,6107	81 46 58,1742	165 55 03,769	1,0931

Таблица П.2.4

Исходные данные, связанные со всеми пунктами геодезической сети

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
1	1	55 00 31	82 52	-3,96	1,51		15,99	18,51	-61
	2	55 03 45	83 13	-1,99	0,68	241 37 52,56	13,77	15,46	-64
	3	54 54 25	83 28	-2,14	0,82	132 52 19,20	13,92	15,74	-57
	4	54 54 22	83 51	-2,68	1,07	247 01 54,29	13,95	16,03	-62
	5	54 42 55	83 59	-2,70	2,11	129 40 26,64	13,41	16,53	-58
	6	54 39 11	84 20	-2,32	0,75	241 11 23,21	15,65	17,41	-62
	7	54 26 47	84 24	-3,05	1,98		12,17	15,15	-58
2	1	55 00 29	82 52	-3,04	1,58		12,66	15,25	-66
	2	55 11 34	83 02	-2,46	2,81	241 58 23,24	14,16	17,98	-58
	3	55 11 26	83 24	-3,96	1,47	132 29 10,85	13,81	16,29	-57
	4	55 20 33	83 39	-4,21	3,88	241 18 22,22	14,96	19,85	-66
	5	55 17 22	84 01	-4,13	2,78	130 40 51,07	13,89	17,67	-42
	6	55 24 26	84 19	-2,32	1,14	241 49 28,44	11,79	13,93	-70
	7	55 18 06	84 40	-2,54	0,94		13,85	15,79	-59
3	1	55 00 26	82 52	-2,77	0,86		14,41	16,28	-58
	2	55 09 35	82 37	-3,92	1,86	241 18 20,14	13,68	16,55	-78
	3	55 21 20	82 44	-3,08	2,91	130 45 47,01	13,89	17,80	-47
	4	55 32 07	82 33	-4,66	2,18	242 09 51,06	14,78	17,97	-49
	5	55 42 39	82 44	-2,89	1,61	13 0 17 56,39	14,19	16,80	-69
	6	55 55 06	82 37	-0,44	2,51	247 24 34,77	14,47	17,99	-75
	7	56 03 04	82 53	-3,29	2,88		13,20	17,09	-57



Продолжение табл. П.2.4

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
4	1	55 00 24	82 52	-3,89	-0,52		13,55	14,02	-59
	2	55 04 00	82 32	-3,28	4,84	238 04 53,18	14,13	19,98	-55
	3	55 15 51	82 26	-3,80	1,59	129 51 24,56	15,72	18,32	-69
	4	55 21 09	82 06	-4,83	3,40	242 43 22,09	12,52	16,93	-42
	5	55 33 20	82 05	-2,62	2,77	129 20 38,26	13,80	17,58	-50
	6	55 41 01	81 47	-2,29	0,79	245 09 00,76	13,99	15,78	-44
	7	55 52 41	81 52	-2,10	2,50		15,07	18,57	-71
5	1	55 00 22	82 52	-2,16	1,09		14,37	16,46	-50
	2	55 10 18	82 40	-1,65	2,29	237 21 51,83	13,95	17,25	-49
	3	55 21 48	82 48	-2,72	3,91	130 48 40,56	12,16	17,08	-55
	4	55 32 44	82 39	-3,31	3,04	238 43 30,35	14,43	18,48	-53
	5	55 43 07	82 50	-2,59	1,34	128 49 37,36	14,78	17,12	-71
	6	55 54 00	82 44	-1,45	1,09	232 06 23,39	15,51	17,61	-33
	7	56 04 04	82 55	-2,35	1,76		13,27	16,03	-62
6	1	55 00 20	82 52	-2,17	1,70		13,54	16,25	-69
	2	55 10 11	83 05	-4,64	1,69	240 13 37,24	13,21	15,91	-67
	3	55 08 24	83 27	-2,70	1,99	132 38 12,42	15,08	18,07	-68
	4	55 16 19	83 44	-4,21	0,53	241 21 27,12	15,61	17,14	-58
	5	55 11 41	84 04	-2,16	0,99	126 28 18,67	13,28	15,28	-64
	6	55 17 49	84 22	-3,07	1,77	236 06 05,86	12,02	14,79	-57
	7	55 12 29	84 41	-4,35	1,14		14,25	16,39	-70

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
7	1	55 00 18	82 52	-1,18	2,15		12,87	16,03	-54
	2	55 03 25	83 13	-3,39	2,25	239 45 07,97	14,39	17,65	-57
	3	54 54 31	83 28	-3,19	2,40	129 23 18,75	13,74	17,14	-59
	4	54 55 34	83 50	-4,17	2,20	239 47 22,42	15,01	18,21	-54
	5	54 45 14	84 02	-1,10	0,43	130 22 24,35	14,86	16,29	-65
	6	54 43 56	84 24	-1,39	2,58	242 13 09,03	13,77	17,35	-48
	7	54 33 43	84 31	-2,44	1,25		14,14	16,39	-55
8	1	55 00 16	82 52	-2,78	1,21		13,72	15,93	-46
	2	55 09 00	83 08	-2,19	4,38	244 38 47,34	13,22	18,61	-31
	3	55 04 27	83 28	-3,53	2,11	126 57 50,72	14,11	17,22	-58
	4	55 10 46	83 46	-3,20	0,44	240 18 10,22	13,69	15,14	-72
	5	55 04 19	84 06	-3,76	1,40	135 16 01,58	13,29	15,69	-53
	6	55 07 24	84 27	-2,32	2,58	239 46 33,89	13,59	17,17	-57
	7	54 57 54	84 43	-2,25	0,15		15,28	16,44	-72
9	1	55 00 14	82 52	-3,80	2,16		14,01	17,17	-73
	2	55 11 36	82 43	-2,91	3,34	241 10 57,90	15,90	20,25	-61
	3	55 21 16	82 56	-1,25	0,45	128 32 35,29	13,83	15,29	-67
	4	55 33 13	82 50	-2,17	2,83	240 05 18,45	14,11	17,95	-70
	5	55 42 14	83 07	-2,20	2,60	136 23 35,37	14,33	17,94	-46
	6	55 54 42	83 08	-2,42	3,56	241 25 07,06	14,07	18,63	-64
	7	56 00 02	83 27	-2,77	0,85		14,82	16,67	-55

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
10	1	55 00 13	82 52	-2,28	0,58		12,27	13,85	-51
	2	55 04 15	82 31	-4,68	4,60	241 19 11,13	15,30	20,90	-62
	3	55 16 17	82 28	-4,53	0,29	129 50 07,48	14,95	16,24	-75
	4	55 22 25	82 09	-4,75	1,32	240 37 54,84	13,78	16,10	-48
	5	55 34 49	82 09	-3,89	1,59	131 30 06,15	14,19	16,79	-69
	6	55 42 57	81 53	-2,55	0,21	239 43 13,64	14,14	15,36	-73
	7	55 54 49	81 57	-0,72	2,62		13,53	17,15	-68
11	1	55 00 11	82 52	-4,05	3,13		14,11	18,25	-56
	2	55 07 52	82 35	-1,57	1,77	238 26 52,53	13,16	15,93	-39
	3	55 19 50	82 38	-3,27	2,64	128 16 23,64	13,23	16,87	-51
	4	55 28 47	82 23	-5,53	0,96	241 50 20,83	15,66	17,63	-60
	5	55 39 30	82 29	-2,33	2,28	120 34 23,86	14,78	18,07	-52
	6	55 48 20	82 15	-3,21	0,93	236 10 02,64	14,13	16,07	-63
	7	56 00 04	82 21	-3,08	-0,51		14,76	15,25	-63
12	1	55 00 10	82 52	-2,62	1,90		15,31	18,21	-57
	2	55 11 45	82 58	-3,15	2,66	239 23 32,39	13,98	17,65	-97
	3	55 14 21	83 20	-1,58	1,66	132 36 43,09	14,42	17,09	-65
	4	55 25 16	83 32	-0,66	3,00	243 59 40,37	15,45	19,45	-70
	5	55 24 11	83 52	-2,96	0,54	125 41 48,55	14,74	16,29	-45
	6	55 33 22	84 06	-3,21	3,71	238 59 44,97	13,31	18,02	-71
	7	55 31 20	84 26	-2,25	3,57		13,84	18,42	-60

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
13	1	55 00 08	82 52	-3,04	2,68		14,73	18,42	-68
	2	55 03 54	83 12	-3,08	2,34	240 58 56,32	15,92	19,27	-57
	3	54 55 21	83 28	-4,53	3,77	129 39 26,41	14,75	19,52	-49
	4	54 56 45	83 50	-2,72	2,82	241 13 27,83	14,04	17,86	-39
	5	54 45 40	84 03	-4,70	3,81	140 10 00,78	13,15	17,97	-65
	6	54 42 14	84 24	-3,31	1,32	244 56 35,13	13,87	16,19	-64
	7	54 29 48	84 28	-3,73	2,84		13,08	16,93	-66
14	1	55 00 07	82 52	-4,60	0,37		14,66	16,04	-49
	2	55 06 08	83 11	-4,30	1,81	243 04 38,00	15,41	18,22	-67
	3	54 58 56	83 29	-2,47	2,45	130 46 35,81	13,34	16,79	-61
	4	55 01 53	83 50	-3,48	2,53	239 42 47,83	15,67	19,20	-87
	5	54 53 06	84 05	-3,07	1,71	127 38 01,66	15,22	17,93	-69
	6	54 54 20	84 25	-4,16	1,50	234 27 15,34	12,82	15,32	-55
	7	54 43 40	84 41	-2,48	1,86		14,05	16,92	-62
15	1	55 00 06	82 52	-2,75	1,21		14,71	16,93	-73
	2	55 12 25	82 50	-2,22	0,76	239 52 31,65	13,95	15,71	-69
	3	55 19 21	83 09	-2,31	4,01	131 59 36,95	14,16	19,18	-53
	4	55 32 02	83 12	-2,84	2,10	244 15 49,74	13,92	17,03	-60
	5	55 35 48	83 34	-3,25	4,20	135 03 42,97	15,20	20,40	-69
	6	55 46 12	83 43	-2,81	2,67	234 51 46,10	13,55	17,23	-60
	7	55 47 40	84 06	-2,76	2,67		13,92	17,59	-58

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
16	1	55 00 05	82 52	-3,28	0,36		14,55	15,91	-51
	2	55 05 12	82 33	-2,44	2,71	236 59 55,18	14,01	17,72	-60
	3	55 17 10	82 30	-3,90	2,49	127 25 53,05	15,28	18,78	-51
	4	55 23 02	82 11	-2,36	0,06	236 23 36,76	13,62	14,69	-57
	5	55 34 53	82 10	-4,47	2,18	125 45 05,75	14,35	17,54	-58
	6	55 41 28	81 50	-2,13	2,99	243 02 15,28	12,75	16,74	-57
	7	55 54 20	81 52	-2,70	3,07		12,34	16,41	-48
17	1	55 00 04	82 52	-2,58	4,22		13,86	19,08	-54
	2	55 05 28	82 33	-3,66	2,89	238 50 40,63	13,98	17,88	-55
	3	55 17 39	82 31	-2,78	1,42	129 20 04,18	14,67	17,09	-46
	4	55 24 26	82 13	-4,83	1,69	237 46 36,22	13,85	16,55	-69
	5	55 36 43	82 14	-4,12	0,66	129 56 44,00	14,23	15,90	-42
	6	55 44 40	81 58	-4,56	0,64	236 46 48,01	16,66	18,30	-54
	7	55 55 59	82 01	-3,08	1,60		13,55	16,16	-49
18	1	55 00 03	82 52	-2,11	0,65		15,33	16,99	-60
	2	55 12 20	82 51	-3,19	2,70	240 27 36,31	13,10	16,80	-60
	3	55 18 59	83 09	-2,48	2,49	132 57 35,06	14,65	18,15	-54
	4	55 30 31	83 13	-3,48	3,66	235 37 55,61	13,08	17,74	-54
	5	55 35 40	83 35	-3,73	3,52	138 52 10,00	14,01	18,54	-59
	6	55 46 53	83 45	-1,31	0,32	242 18 00,01	14,36	15,68	-69
	7	55 47 09	84 06	-3,19	2,04		15,70	18,75	-58

Продолжение табл. П.2.4

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
19	1	55 00 02	82 52	-2,30	1,36		14,15	16,52	-62
	2	55 05 57	83 11	-4,13	3,33	240 09 28,79	14,15	18,49	-65
	3	54 59 14	83 29	-4,17	1,32	131 26 35,42	14,54	16,86	-66
	4	55 02 40	83 50	-1,62	2,39	238 58 31,77	12,85	16,25	-65
	5	54 54 20	84 05	-2,25	3,06	127 26 24,58	15,18	19,24	-64
	6	54 56 18	84 26	-3,05	4,22	238 00 00,49	12,33	17,56	-45
	7	54 46 12	84 42	-2,44	1,68		13,93	16,61	-77
20	1	55 00 01	82 52	-4,47	2,81		14,96	18,78	-50
	2	55 03 51	83 13	-3,52	1,63	244 10 32,63	14,70	17,33	-65
	3	54 54 42	83 28	-3,46	2,61	131 26 55,16	13,01	16,63	-58
	4	54 55 00	83 50	-3,14	3,14	245 05 16,65	13,36	17,50	-72
	5	54 43 55	83 59	-2,91	0,94	129 44 11,41	13,01	14,96	-60
	6	54 40 49	84 21	-1,59	3,84	244 43 07,31	14,30	19,15	-51
	7	54 28 07	84 25	-2,22	1,50		13,87	16,37	-67
21	1	55 00 01	82 52	-2,89	3,27		14,86	19,13	-63
	2	55 12 02	82 58	-2,68	0,15	241 40 27,33	14,48	15,63	-50
	3	55 14 26	83 20	-1,38	3,21	133 16 59,09	14,16	18,38	-66
	4	55 25 04	83 32	-4,09	1,70	242 03 58,05	13,67	16,37	-74
	5	55 24 00	83 53	-3,40	1,96	129 05 22,88	13,38	16,34	-52
	6	55 33 16	84 09	-4,09	2,14	244 53 57,79	12,31	15,45	-63
	7	55 28 46	84 32	-2,81	1,80		13,43	16,24	-55

Продолжение табл. П.2.4

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
22	1	55 00 00	82 52	-1,88	1,74		14,64	17,38	-69
	2	55 07 42	82 35	-2,32	1,97	239 41 50,48	13,66	16,64	-61
	3	55 19 52	82 38	-2,63	1,15	130 22 48,90	14,31	16,46	-49
	4	55 29 03	82 24	-5,32	1,44	239 09 37,22	15,07	17,52	-53
	5	55 40 38	82 31	-2,02	1,48	129 14 12,52	14,77	17,26	-60
	6	55 51 16	82 18	-4,00	3,04	243 24 51,44	12,19	16,24	-57
	7	56 02 08	82 30	-3,05	1,22		14,28	16,50	-70
23	1	55 00 00	82 52	-1,89	0,71		15,84	17,56	-55
	2	55 03 45	82 31	-2,49	1,91	238 40 36,85	13,65	16,56	-63
	3	55 15 33	82 26	-3,05	0,92	127 39 17,83	12,82	14,74	-67
	4	55 20 38	82 06	-1,21	0,80	241 40 16,48	13,26	15,07	-69
	5	55 32 08	82 04	-2,58	0,31	122 02 57,48	13,68	15,00	-46
	6	55 37 43	81 45	-5,13	4,17	238 14 23,28	13,45	18,63	-76
	7	55 51 12	81 43	-0,67	1,49		12,77	15,27	-54
24	1	54 59 59	82 52	-3,65	1,36		12,98	15,34	-51
	2	55 11 14	82 43	-2,22	3,03	239 46 01,65	13,21	17,24	-82
	3	55 21 08	82 56	-3,13	1,47	129 39 04,92	13,06	15,53	-65
	4	55 33 09	82 50	-3,76	1,60	240 58 38,46	13,81	16,41	-48
	5	55 41 01	83 05	-3,08	0,32	122 43 43,23	13,93	15,26	-69
	6	55 53 00	83 02	-2,81	2,85	238 58 42,20	13,22	17,07	-60
	7	56 00 32	83 17	-1,54	1,67		12,53	15,21	-73

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
25	1	54 59 59	82 52	-2,71	2,51		16,34	19,85	-68
	2	55 08 26	83 08	-3,68	3,45	241 47 27,30	14,16	18,61	-75
	3	55 04 10	83 29	-3,64	1,54	132 52 49,89	13,93	16,47	-63
	4	55 09 58	83 48	-2,45	1,90	243 21 36,39	13,10	16,01	-62
	5	55 02 28	84 06	-3,50	2,90	132 17 34,62	13,65	17,56	-54
	6	55 04 51	84 27	-3,03	1,99	241 45 58,72	14,86	17,86	-51
	7	54 54 55	84 41	-2,79	2,05		14,52	17,57	-63
26	1	54 59 59	82 52	-2,93	1,45		12,63	15,09	-71
	2	55 02 46	83 13	-2,22	0,09	240 09 53,47	14,05	15,15	-65
	3	54 53 49	83 27	-3,12	3,46	127 36 07,20	12,22	16,69	-68
	4	54 54 51	83 48	-4,22	2,96	241 22 08,42	15,41	19,38	-74
	5	54 44 42	84 00	-3,18	2,31	127 23 28,49	13,24	16,55	-81
	6	54 43 43	84 22	-2,77	2,83	241 20 05,78	14,18	18,01	-69
	7	54 32 57	84 30	-3,33	1,39		13,79	16,19	-56
27	1	54 59 59	82 52	-3,40	1,40		14,18	16,59	-67
	2	55 09 59	83 05	-3,79	2,35	241 57 37,60	14,07	17,42	-61
	3	55 07 55	83 26	-2,29	1,70	129 40 24,35	13,20	15,91	-55
	4	55 16 23	83 43	-0,56	2,63	246 04 03,56	12,91	16,54	-58
	5	55 10 34	84 04	-2,74	2,29	138 41 48,70	13,85	17,14	-75
	6	55 13 55	84 26	-2,28	1,83	244 45 01,43	15,14	17,98	-53
	7	55 03 55	84 41	-2,95	3,36		14,42	18,79	-59



Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
28	1	54 59 59	82 52	-4,49	1,27		13,24	15,51	-54
	2	55 09 59	82 39	-2,99	1,76	238 34 11,01	14,94	17,70	-48
	3	55 21 22	82 48	-3,48	1,64	129 49 04,64	16,73	19,38	-48
	4	55 32 36	82 37	-2,71	3,07	241 46 49,46	13,51	17,59	-54
	5	55 42 43	82 50	-2,54	2,27	129 09 05,40	12,53	15,80	-63
	6	55 53 38	82 44	-2,14	2,25	230 06 33,02	14,73	17,98	-48
	7	56 04 34	82 57	-0,95	1,11		13,84	15,96	-60
29	1	54 59 59	82 52	-3,69	3,13		15,39	19,52	-68
	2	55 03 31	82 32	-5,02	3,28	236 07 05,92	14,90	19,19	-65
	3	55 15 11	82 26	-2,68	2,53	129 20 50,70	14,47	18,01	-59
	4	55 19 43	82 07	-2,80	1,40	236 18 54,98	12,56	14,97	-47
	5	55 32 03	82 02	-2,65	2,46	133 02 06,37	15,05	18,52	-35
	6	55 38 35	81 43	-3,49	1,60	242 11 04,80	15,33	17,93	-53
	7	55 50 31	81 45	-3,87	2,67		12,85	16,53	-63
30	1	54 59 59	82 52	-5,20	2,28		14,58	17,86	-55
	2	55 09 05	82 37	-2,66	3,33	239 48 24,60	14,14	18,47	-79
	3	55 20 52	82 44	-3,05	1,84	130 53 41,93	13,93	16,78	-57
	4	55 31 11	82 33	-1,83	1,38	238 27 34,10	15,37	17,76	-52
	5	55 42 02	82 43	-4,70	2,07	129 00 57,68	14,17	17,25	-46
	6	55 53 15	82 34	-3,71	1,88	240 19 32,63	15,02	17,90	-39
	7	56 03 37	82 47	-2,10	1,88		16,10	18,99	-53

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
31	1	55 00 00	82 52	-2,63	2,77		15,12	18,90	-71
	2	55 10 58	83 02	-4,66	2,28	239 37 55,58	15,30	18,58	-54
	3	55 11 29	83 23	-5,05	1,60	128 43 57,34	13,04	15,65	-67
	4	55 21 36	83 36	-3,18	1,25	241 32 48,26	14,33	16,58	-52
	5	55 19 55	83 56	-3,55	-0,35	121 13 59,43	14,54	15,19	-69
	6	55 29 18	84 10	-2,61	1,37	237 58 26,27	14,40	16,78	-70
	7	55 27 37	84 31	-4,78	2,34		15,25	18,60	-58
32	1	55 00 00	82 52	-3,56	2,72		15,33	19,06	-63
	2	55 03 01	83 13	-2,85	1,82	242 43 53,09	14,65	17,48	-68
	3	54 53 28	83 27	-4,36	3,04	132 47 14,24	14,49	18,54	-58
	4	54 52 59	83 50	-2,09	2,91	246 36 42,26	12,75	16,67	-71
	5	54 40 49	83 58	-3,11	2,17	136 22 27,27	14,11	17,28	-49
	6	54 35 16	84 18	-2,77	3,07	245 31 49,75	14,72	18,80	-44
	7	54 22 55	84 18	-3,36	2,75		13,40	17,15	-68
33	1	55 00 01	82 52	-2,04	2,04		12,30	15,34	-70
	2	55 07 20	83 10	-2,87	0,89	243 22 00,48	11,96	13,86	-64
	3	55 01 16	83 29	-3,24	2,11	133 36 32,84	13,61	16,73	-48
	4	55 05 03	83 50	-2,30	1,66	241 16 04,82	13,81	16,48	-80
	5	54 55 47	84 07	-4,80	2,47	139 22 40,50	12,89	16,37	-57
	6	54 54 59	84 29	-2,98	1,87	247 05 38,70	16,49	19,37	-56
	7	54 42 02	84 37	-3,13	2,88		14,27	18,15	-67

Вариант	Пункт	Широта $B$ ° ' "	Долгота $L$ ° ' "	Составляющие УОЛ		Угол $\beta'$ ° ' "	Высота инструмента $i$ , м	Высота знака $V$ , м	Аномалии Буге $\Delta g_B$ , мГал
				$\xi$ , "	$\eta$ , "				
34	1	55 00 01	82 52	-4,03	2,69		13,52	17,22	-43
	2	55 12 06	82 46	-3,08	1,32	240 52 44,77	14,44	16,77	-64
	3	55 20 58	83 01	-1,46	2,46	131 47 30,56	13,52	16,98	-58
	4	55 32 30	83 00	-2,79	4,70	231 41 35,47	13,70	19,41	-69
	5	55 40 33	83 17	-2,61	2,30	128 42 14,29	15,36	18,66	-70
	6	55 53 10	83 16	-3,33	3,02	241 38 39,21	12,92	16,95	-59
	7	55 59 34	83 35	-1,93	3,40		13,11	17,52	-70
35	1	55 00 02	82 52	-1,59	1,84		13,98	16,82	-67
	2	55 04 31	82 32	-1,99	1,95	238 40 55,57	11,80	14,76	-62
	3	55 16 30	82 28	-4,82	2,60	129 12 19,15	14,49	18,09	-55
	4	55 22 25	82 10	-3,53	0,03	238 13 37,63	15,70	16,74	-58
	5	55 33 35	82 09	-2,23	1,85	120 03 16,28	14,20	17,05	-63
	6	55 38 39	81 52	-3,12	0,53	228 48 56,19	13,76	15,29	-63
	7	55 50 05	81 46	-1,67	0,47		13,11	14,59	-62

Геодезические азимуты направлений, расстояния и превышения  
между пунктами

Вариант	Направления	Геодезические азимуты о ' /	Расстояния, м	Превышения, м
1	1-2	75 00	23 387,641	-3,422 4
	2-3	136 55	23 668,719	-12,056 6
	3-4	90 00	24 464,167	-23,267 9
	4-5	157 21	23 026,089	-2,756 9
	5-6	107 08	23 292,974	-6,231 3
	6-7	168 36	23 486,237	-7,976 0
2	1-2	28 17	23 369,911	13,656 2
	2-3	90 24	23 392,612	13,862 8
	3-4	43 11	23 233,681	16,652 7
	4-5	104 42	23 028,263	18,576 7
	5-6	55 40	23 333,433	15,116 3
	6-7	117 44	25 121,530	1,185 3
3	1-2	317 16	23 139,153	-13,600 8
	2-3	18 22	22 966,591	-3,358 5
	3-4	329 14	23 311,327	-7,887 4
	4-5	31 14	22 873,978	-1,260 0
	5-6	341 42	24 360,220	-15,128 0
	6-7	49 00	22 569,946	1,023 1
4	1-2	287 29	22 389,444	4,693 8
	2-3	345 17	22 737,302	-6,184 9
	3-4	295 04	23 319,150	-13,628 7
	4-5	357 31	22 635,950	-2,599 8
	5-6	306 51	23 805,544	-13,194 6
	6-7	11 45	22 118,656	1,709 3
5	1-2	325 22	22 414,213	34,014 7
	2-3	22 34	23 136,641	12,910 2
	3-4	333 29	22 686,546	23,982 8
	4-5	32 05	22 739,923	23,676 5
	5-6	341 04	21 362,863	36,666 3
	6-7	33 05	22 333,134	27,223 9
6	1-2	37 27	23 048,091	-11,618 0
	2-3	97 51	23 632,210	-25,297 9
	3-4	50 48	23 271,017	-15,067 1
	4-5	112 23	22 396,098	-4,304 7
	5-6	59 07	22 216,333	-4,159 6
	6-7	115 28	22 847,386	-10,242 7



Продолжение табл. П.2.5

Вариант	Направления	Геодезические азимуты о ' ,	Расстояния, м	Превышения, м
13	1-2	72 18	23 171,023	2,668 2
	2-3	133 34	22 980,791	2,593 0
	3-4	83 26	23 216,309	-3,958 2
	4-5	144 57	25 078,479	-26,794 5
	5-6	105 18	23 955,947	-11,553 0
	6-7	170 32	23 380,621	-6,311 9
14	1-2	61 43	23 655,246	-13,770 2
	2-3	125 03	23 191,398	0,767 9
	3-4	76 05	22 979,365	1,807 1
	4-5	136 04	22 559,459	4,792 1
	5-6	83 54	21 924,286	8,750 3
	6-7	138 38	26 304,158	-28,670 3
15	1-2	356 23	22 910,802	25,387 2
	2-3	56 15	23 239,020	12,288 3
	3-4	8 29	23 786,868	4,528 4
	4-5	72 48	23 850,738	6,264 5
	5-6	28 10	21 904,811	25,753 6
	6-7	83 10	23 373,183	12,561 5
16	1-2	295 14	22 406,857	36,682 0
	2-3	351 58	22 409,032	30,153 7
	3-4	299 21	22 287,200	29,943 7
	4-5	355 30	22 074,248	30,890 0
	5-6	301 14	23 616,914	15,439 6
	6-7	4 00	23 953,092	14,265 4
17	1-2	296 35	22 539,331	-4,711 6
	2-3	355 10	22 667,999	-6,725 0
	3-4	304 29	22 327,027	-0,333 0
	4-5	2 01	22 791,231	-6,217 3
	5-6	311 58	22 128,514	0,417 9
	6-7	8 32	21 218,368	6,869 8
18	1-2	357 36	22 814,722	9,114 5
	2-3	58 02	23 381,694	-3,313 6
	3-4	11 15	21 847,840	25,293 6
	4-5	66 57	24 561,267	-10,723 4
	5-6	26 07	23 178,683	7,169 2
	6-7	88 33	22 369,901	13,852 3

Продолжение табл. П.2.5

Вариант	Направления	Геодезические азимуты о ' ,	Расстояния, м	Превышения, м
19	1-2	61 32	23 120,308	-7,623 1
	2-3	121 57	23 465,391	-18,484 5
	3-4	73 39	22 880,572	-8,069 5
	4-5	132 55	22 661,369	-6,982 5
	5-6	80 34	22 681,643	-8,538 6
	6-7	138 51	24 877,574	-26,296 8
20	1-2	72 26	23 755,103	-0,813 5
	2-3	136 54	23 199,649	17,885 3
	3-4	88 34	23 934,312	4,493 7
	4-5	153 57	22 854,113	18,434 8
	5-6	103 49	23 857,064	7,864 0
	6-7	168 50	23 994,177	7,370 2
21	1-2	17 14	23 366,747	-9,968 3
	2-3	78 59	23 638,048	-14,193 8
	3-4	32 34	23 442,603	-8,455 6
	4-5	94 48	22 796,635	-0,537 0
	5-6	44 11	24 005,477	-12,611 0
	6-7	109 18	25 015,747	-19,507 0
22	1-2	308 59	22 754,225	5,415 5
	2-3	8 28	22 823,163	2,796 9
	3-4	318 53	22 647,672	5,592 8
	4-5	17 51	22 595,107	5,605 1
	5-6	327 11	23 498,793	-3,052 9
	6-7	30 25	23 392,357	-1,175 5
23	1-2	287 58	22 731,271	-24,589 1
	2-3	346 22	22 534,523	-14,780 6
	3-4	293 58	23 331,623	-26,896 1
	4-5	355 21	21 414,713	-1,441 0
	5-6	297 23	22 646,342	-15,361 5
	6-7	355 22	25 079,350	-34,700 2
24	1-2	336 33	22 741,846	-7,760 9
	2-3	36 12	22 801,274	-7,242 8
	3-4	346 01	22 983,516	-8,934 3
	4-5	46 55	21 416,476	10,490 6
	5-6	349 51	22 583,072	-3,363 1
	6-7	48 47	21 278,872	6,541 2

Продолжение табл. П.2.5

Вариант	Направления	Геодезические азимуты о ' ,	Расстояния, м	Превышения, м
25	1-2	47 29	23 257,073	-11,559 9
	2-3	109 30	23 574,417	-15,920 2
	3-4	62 40	23 567,536	-12,297 4
	4-5	126 18	23 453,233	-9,302 5
	5-6	78 50	23 244,792	-6,682 1
	6-7	140 53	23 744,962	-10,284 3
26	1-2	76 53	22 999,003	19,647 3
	2-3	137 20	22 527,361	19,585 8
	3-4	85 08	23 236,686	0,203 9
	4-5	146 48	22 481,972	8,087 9
	5-6	94 21	23 226,234	-1,133 2
	6-7	155 58	21 861,377	9,097 4
27	1-2	37 21	23 390,120	-3,764 9
	2-3	99 30	22 895,423	7,802 9
	3-4	49 28	24 208,223	-16,235 7
	4-5	115 46	24 695,965	-18,888 5
	5-6	74 45	23 940,633	-8,517 6
	6-7	139 48	24 258,028	-10,103 4
28	1-2	324 32	22 797,452	30,958 8
	2-3	22 56	22 942,952	24,483 9
	3-4	332 52	23 439,750	16,978 3
	4-5	34 31	22 809,760	26,044 6
	5-6	343 50	21 105,594	41,960 5
	6-7	33 52	24 457,142	12,891 5
29	1-2	287 31	21 972,151	39,665 5
	2-3	343 22	22 575,371	10,530 1
	3-4	292 38	22 013,031	19,289 7
	4-5	348 41	23 314,124	2,392 5
	5-6	301 40	23 187,873	5,348 5
	6-7	3 35	22 202,487	13,743 9
30	1-2	318 06	22 690,802	-6,094 5
	2-3	17 43	22 969,179	-9,760 6
	3-4	328 42	22 421,832	1,603 1
	4-5	27 00	22 593,684	-0,890 4
	5-6	336 09	22 795,083	-2,653 5
	6-7	36 22	23 901,032	-10,825 4



Вариант	Направления	Геодезические азимуты о ' ,	Расстояния, м	Превышения, м
31	1-2	27 44	23 035,081	-32,943 2
	2-3	87 30	22 924,783	-29,320 6
	3-4	36 32	23 415,132	-37,192 9
	4-5	98 15	21 422,348	-12,076 2
	5-6	39 46	22 697,320	-28,087 7
	6-7	97 56	22 353,924	-25,926 8
32	1-2	75 59	23 402,725	8,729 9
	2-3	139 00	23 454,472	7,356 9
	3-4	91 59	24 175,460	-3,470 0
	4-5	158 54	24 168,458	-0,344 1
	5-6	115 23	23 956,087	3,380 0
	6-7	181 11	22 891,835	12,225 8
33	1-2	54 43	23 617,630	-6,732 9
	2-3	118 20	23 642,530	-3,606 5
	3-4	72 12	23 194,706	4,530 6
	4-5	133 45	24 792,087	-15,132 8
	5-6	93 22	24 355,265	-7,636 3
	6-7	160 46	25 446,881	-15,036 6
34	1-2	344 27	23 277,555	-20,303 5
	2-3	45 15	23 398,110	-18,453 9
	3-4	357 15	21 439,875	15,734 0
	4-5	48 56	22 779,496	-7,806 0
	5-6	357 52	23 428,448	-14,337 3
	6-7	59 30	23 507,926	-14,410 8
35	1-2	291 49	22 511,222	7,266 7
	2-3	350 14	22 572,564	3,271 4
	3-4	299 23	22 421,637	5,138 7
	4-5	357 22	20 743,715	24,889 9
	5-6	297 24	20 540,360	22,052 7
	6-7	345 59	21 866,312	7,799 5

*Учебное издание*

**Кобелева** Наталья Николаевна

**Елагин** Александр Викторович

# **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 09.12.2022. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 3,84. Тираж 75 экз. Заказ 202.

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.