

ТРУДЫ

ЦЕНТРАЛЬНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
ГЕОДЕЗИИ, АЭРОСЪЕМКИ И КАРТОГРАФИИ

ВЫПУСК 102

А. А. Изотов и Л. П. Пеллинен

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМНОЙ РЕФРАКЦИИ И МЕТОДОВ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Глава I. Теория геодезического нивелирования и земной рефракции	
§ 1. Теория геодезического нивелирования	7
§ 2. Теория земной рефракции. Нормальная рефракция	15
§ 3. Влияние распределения температуры и влажности в приземном слое воздуха на вертикальную рефракцию	23
§ 4. Погрешности геодезического нивелирования, связанные с формой уровенных поверхностей Земли	27
Глава II. Работы ЦНИИГАиК по геодезическому нивелированию	
§ 5. Задачи и методы исследований	34
§ 6. Инструменты и их исследования. Инструментальные погрешности	40
§ 7. Исследование систематических ошибок визирования	43
§ 8. Определение теоретических зенитных расстояний	47
§ 9. Метеорологические наблюдения	51
§ 10. Геодезическое нивелирование на больших расстояниях	54
§ 11. Геодезическое нивелирование на малых расстояниях	67
§ 12. Выводы о выгоднейшем времени дня для геодезического нивелирования	73
§ 13. Сопоставление данных геодезического нивелирования и метеорологических данных	67
§ 14. Зависимость точности геодезического нивелирования от высоты и длины визирного луча	87
§ 15. Особые случаи применения геодезического нивелирования	92
Глава III. Анализ важнейших исследований земной рефракции	
§ 16. Исследование земной рефракции на Северном Кавказе	97
§ 17. Исследование годичного изменения земной рефракции	101
§ 18. Исследование земной рефракции в горном районе	107
Глава IV. Выводы из производственных работ по геодезическому нивелированию	
§ 19. Работы Украинского аэрогеодезического предприятия по геодезическому нивелированию	112
§ 20. Исследование земной рефракции в степном районе, выполненное Московским аэрогеодезическим предприятием	120
§ 21. Точность геодезического нивелирования в сетях триангуляции	126
§ 22. Возможности применения геодезического нивелирования	137
Приложения	143

Редактор А. В. Рытов

Техн. редактор Г. М. Кузьмин

Редактор изд-ва Л. М. Комарькова

Корректор А. Д. Грудзинский

T-02306

Сдано в набор 13/X 1954 г.

Подп. к печати 2/III 1955 г.

Формат бумаги 70×108¹/₁₆

Бум. л. 5,5

Печ. листов 15

Колич. знаков в п. л. 40 000

Уч.-изд. листов 15

Тираж 1000 экз.

Зак. № 983

Цена 10 р. 50 к.+переплет 1 р.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Геодезическое нивелирование почти до конца XIX в. являлось основным методом определения высот опорных пунктов и широко применялось для высотного обоснования топографических съемок. Поэтому в прошлом оно привлекало внимание крупных ученых и служило предметом ряда их исследований. Как известно, наиболее важные исследования в этой области принадлежат отечественным ученым, а именно В. Я. Струве, Н. Я. Цингеру, И. И. Померанцеву и другим. Их исследования явились большим вкладом в развитие метода геодезического нивелирования и создали научную основу для его практического применения.

Однако в связи с развитием метода геометрического нивелирования внимание к вопросам геодезического нивелирования стало постепенно ослабевать. В текущем столетии исследования по этим вопросам уже не получили сколько-нибудь широкого развития. До настоящего времени в работах по геодезическому нивелированию обычно исходят из тех методических установок и взглядов, которые сложились еще из прежних исследований. Однако они не дают ответа на ряд вопросов, возникающих в современных работах по геодезическому нивелированию. Учитывая это, ЦНИИГАиК выполнил новые исследования по вопросам геодезического нивелирования.

Как известно, одним из главных источников погрешностей в геодезическом нивелировании является влияние земной рефракции на зенитные расстояния наблюдаемых предметов. Поэтому основная задача исследований ЦНИИГАиК по вопросам геодезического нивелирования заключалась в изучении влияния земной рефракции на измеряемые зенитные расстояния.

В главе I этой работы изложена теория геодезического нивелирования и земной рефракции. В ней дан более строгий вывод формул геодезического нивелирования. В этих формулах впервые учтены члены, отражающие влияние отступлений уровнейных поверхностей Земли от эллипсоидальной формы, которые во многих случаях не могут быть отброшены. Поправочный член за влияние рефракции представлен в общей форме, позволяющей вычислить его по метеорологическим данным, а также легко перейти к частным случаям. Теория земной рефракции изложена также в строгом и общем виде, исходя из современных представлений и данных о строении приземных слоев атмосферы. На основании этой теории выведены формулы для вычисления коэффициента рефракции по метеорологическим данным, соответствующим близкому к действительности нормальному строению атмосферы, и рассмотрена зависимость коэффициента рефракции от нарушений нормального строения приземных слоев воздуха. Хотя эти формулы и не могут служить для вычисления действительного коэффициента рефракции, но все же позволяют предви-

деть характер и порядок влияния земной рефракции на результаты геодезического нивелирования в данных метеорологических условиях.

Основную и наиболее важную часть исследований ЦНИИГАиК по геодезическому нивелированию составляли полевые работы, описанные в главе II, которые выполнялись вблизи Москвы в 1951 г. Они заключались в изучении влияния рефракции на точность геодезического нивелирования в различное время дня и в различных метеорологических условиях, а также при различной длине и высоте прохождения визирного луча.

Для измерения зенитных расстояний наблюдаемых пунктов, выбранных соответственно задачам исследований, применялись высокоточные оптические теодолиты. Высоты этих пунктов определялись из геометрического нивелирования. Кроме того, в течение всего периода полевых работ проводились регулярные метеорологические наблюдения. При этом особое внимание было обращено на определение вертикальных градиентов температуры.

Значительная продолжительность и широкая программа полевых работ позволили получить фактический материал, достаточный для статистического изучения влияния рефракции на точность геодезического нивелирования. Весь этот материал обрабатывался в 1952 г. Сравнение результатов геодезического и геометрического нивелирования, а также сопоставление их с метеорологическими данными, исходя из изложенной в главе I теории земной рефракции, привело к независимым и согласующимся между собой выводам о характере и закономерностях влияния рефракции на измеряемые зенитные расстояния.

Отдельный опыт, как бы он широко ни был поставлен, все же отражает влияние условий данного места и времени. Это опасение заставило нас в описываемых исследованиях использовать и материалы других аналогичных работ, выполненных в различных условиях места и времени.

Содержанием главы III данной работы является критический обзор наиболее важных исследований, выполненных ранее другими авторами и содержащих ценный фактический материал для изучения земной рефракции. Так, в этой главе рассмотрены прежде всего исследования отечественных ученых Струве и Померанцева, а также работа немецкого ученого Бауэрнфейнда. Из новой обработки материалов этих исследований получены выводы, которые согласуются с нашими основными выводами, изложенными в предыдущих главах этой работы.

В целях расширения описываемых исследований и получения дополнительных выводов в главе IV этой работы рассматриваются материалы производственного геодезического нивелирования. При этом имелось в виду рассмотреть вопрос о характере и закономерностях действия рефракции в степных районах. Для решения этой задачи особенно ценными оказались работы Украинского аэрогеодезического предприятия по геодезическому нивелированию в сплошной сети триангуляции, половина пунктов которой имела высоты, определенные из геометрического нивелирования. Для той же цели использовали материалы производственных исследований по геодезическому нивелированию, выполненных под руководством начальника отряда № 1 Московского аэрогеодезического предприятия инж. Г. С. Дьякова по разработанной нами программе. Обработка всего этого материала подтвердила обоснованность наших основных выводов о характере влияния рефракции на точность геодезического нивелирования. Кроме того, по материалам производственных работ Украинского АГП мы рассмотрели вопрос о действии и накоплении различных ошибок геодезического нивелирования в сплошных сетях триангуляции. Из обработки этих материалов выяснилось,

что действие погрешностей геодезического нивелирования в сплошных сетях в значительной степени компенсируется и не приводит к большому накоплению ошибок.

В конце главы IV изложены практические предложения и выводы, которые вытекают из выполненных нами исследований.

К работе приложены основные материалы наших исследований. Эти материалы могут служить не только для проверки наших выводов, но и для обоснования других соображений по вопросам земной рефракции.

В нашей работе участвовали инженеры-геодезисты П. Е. Лазанов, Н. В. Старостина, И. С. Казиник и техник А. М. Абрамова, которые во многом содействовали ее успеху и которым мы выражаем свою признательность. Мы приносим благодарность кандидату техн. наук А. В. Рытову, который в качестве редактора помог устранить ряд недостатков нашей работы.

Мы надеемся, что описанные в этой работе исследования и их результаты будут полезны для совершенствования и более широкого применения геодезического нивелирования, являющегося удобным и гибким методом высотного обоснования топографических съемок.

Проф. доктор техн. наук *А. А. Изотов*
Кандидат техн. наук *Л. П. Пеллинен*

Глава I

ТЕОРИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ И ЗЕМНОЙ РЕФРАКЦИИ

§ 1. Теория геодезического нивелирования

Несмотря на то, что геодезическое нивелирование применяется с давних пор, его теория до настоящего времени рассматривается довольно упрощенно и вместе с тем недостаточно последовательно. Важнейшие упрощения этой теории заключаются в предположении, что линия визирования, т. е. луч света, преломляясь в земной атмосфере, описывает дугу окружности и что уровенные поверхности Земли являются сферическими, параллельными между собой. Это обстоятельство заставляет нас вновь рассмотреть здесь теорию геодезического нивелирования и внести в нее некоторые уточнения, которые необходимы для повышения точности результатов как соответствующих исследований, так и практических работ.

Сначала выведем общую формулу одностороннего геодезического нивелирования.

Пусть в точке A физической поверхности Земли измерено зенитное расстояние Z°_1 точки B и требуется определить разность $H_2 - H_1$ высот этих точек (рис. 1) над некоторой заданной поверхностью относимости, которую выберем позднее. Сначала допустим, что влияние земной рефракции равно нулю и визирный луч из точки A в точку B идет прямолинейно. Через точки A и B проведем нормали AA_0 и BB_0 к поверхности принятого эллипсоида и отвесные линии AA'_0 и BB'_0 , которые являются нормальными к уровенным поверхностям, проходящим через эти точки. Проекцию A_0B_0 линии AB на поверхность принятого эллипсоида обозначим через s , а искомые высоты точек A и B через

$$\begin{aligned}H_1 &= AA'_0 \approx AA', \\H_2 &= BB'_0 \approx BB'.\end{aligned}$$

Без знания распределения силы тяжести и уклонений отвеса вдоль линии нивелирования AB , строго говоря, мы по астрономическим и геодезическим измерениям в точках A и B сможем определить только разность высот этих точек над поверхностью принятого эллипсоида, т. е. только величину

$$q_2 - q_1 = BB_0 - AA_0.$$

Зенитное расстояние точки B , отнесенное к нормали эллипсоида, обозначим через Z°_1 . Наблюдаемое в точке A уклонение отвесной линии

в плоскости нормального сечения AB , т. е. угол между отвесной линией и нормалью к поверхности эллипсоида в этой плоскости обозначим через u_1 . Тогда будем иметь

$$Z_1^\circ - z_1^\circ = -u_1. \quad (1.1)$$

Если предположить, что расстояние между рассматриваемыми точками не превышает 40 км, то с точностью до малых величин третьего порядка относительно сжатия принятого эллипсоида можно принять дугу A_0B_0 за дугу окружности. Это вызовет в определяемой разности высот точек A и B ошибку не более 15 мм. Радиус этой окружности $r_1 = r_2 = R$ должен быть принят равным радиусу кривизны нормального сечения A_0B_0 эллипсоида в точке A_0 и вычислен по формуле*

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{N} (1 + \eta^2 \cos^2 A_{1,2}),$$

в которой $A_{1,2}$ — азимут этого сечения, а величина η определяется равенством

$$\eta = e' \cos^2 B_m,$$

где e' — второй эксцентриситет эллипсоида и B_m — средняя широта точек A и B .

Пользуясь обозначениями на рис. 1, можно написать

$$\frac{q_1 + R}{q_2 + R} = \frac{\sin(Z_1^\circ - \psi)}{\sin Z_1^\circ} = \cos \psi - \sin \psi \operatorname{ctg} Z_1^\circ$$

или после небольших преобразований будем иметь

$$q_2 - q_1 = (R + q_2) \left(\operatorname{ctg} Z_1^\circ \sin \frac{s}{R} + 1 - \cos \frac{s}{R} \right).$$

Отсюда при $s < 40$ км с высокой степенью точности получим

$$q_2 - q_1 = s \left(1 + \frac{q_2}{R} \right) \operatorname{ctg} Z_1^\circ + \frac{s^2}{2R} + \frac{s^2}{6R^2} (2q_2 + q_1). \quad (1.2)$$

Практически высоты q нам нужны только для приведения результатов геодезических измерений к поверхности принятого эллипсоида известным методом проецирования. В большинстве же случаев применения геодезического нивелирования требуется получить так называемые нивелирные высоты, характеризующие потенциал силы тяжести в соответствующих точках земной поверхности. В любой системе нивелирная высота H точки земной поверхности равна отношению разности потен-

* Красовский Ф. Н. Руководство по высшей геодезии, ч. II, 1942.

циалов ΔW силы тяжести в этой точке и на уровне моря к некоторому значению силы тяжести. Здесь не будем рассматривать особенности различных систем нивелирных высот, а в дальнейшем воспользуемся принятой в СССР системой нормальных высот H , определяемых равенством

$$H = \frac{\Delta W}{\gamma_m},$$

где γ_m — среднее значение нормальной силы тяжести между уровнем моря и данной точкой земной поверхности. Откладывая эти высоты от земной поверхности вниз по нормали к эллипсоиду, определим поверхность, которая получила название квазигеоида и которую мы принимаем за поверхность относимости нивелирных высот.

Поверхность квазигеоида на морях и океанах совпадает с поверхностью геоида, а в пределах суши несколько отклоняется от нее. Расчеты показывают, что отступления квазигеоида от геоида в горных районах могут достигать 1—2 м, а в равнинных районах они очень незначительны.

Обозначив высоты квазигеоида над принятым эллипсоидом в точках A и B через ζ_1 и ζ_2 , так что

$$\begin{aligned}\zeta_1 &= A_0A', \\ \zeta_2 &= B_0B',\end{aligned}$$

и подставляя в формулу (1.2) величины

$$\begin{aligned}q_1 &= H_1 + \zeta_1, \\ q_2 &= H_2 + \zeta_2.\end{aligned}$$

с достаточной точностью будем иметь:

$$H_2 - H_1 = s \left(1 + \frac{H_2}{R} \right) \operatorname{ctg} Z_1^\circ + \frac{s^2}{2R} + \frac{s^2}{6R^2} (2H_2 + H_1) - (\zeta_2 - \zeta_1) + \frac{H_2 - H_1}{R} \zeta_1.$$

Теперь в этой формуле зенитное расстояние отнесем к отвесной линии в точке наблюдения. Принимая во внимание формулу (1.!) и имея в виду, что $z_1^\circ \approx 90^\circ$, получим

$$\begin{aligned}H_2 - H_1 &= s \left(1 + \frac{H_2}{R} \right) \operatorname{ctg} z_1^\circ + \frac{s^2}{2R} + \frac{s^2}{6R^2} (2H_2 + H_1) + \\ &\quad \frac{H_2 - H_1}{R} \zeta_1 - (\zeta_2 - \zeta_1) + u_1 s.\end{aligned}\tag{1.3}$$

Далее используем выведенную М. С. Молоденским* формулу астрономического нивелирования, а именно:

$$d\zeta = u ds - (dH - dh),$$

в которой dh — элементарное превышение и dH — разность нормальных высот двух бесконечно близких точек земной поверхности. По этой формуле после интегрирования получим:

$$\zeta_2 - \zeta_1 = u_m s - \Delta E,\tag{1.4}$$

* Молоденский М. С. Изучение фигуры физической поверхности Земли геометрическим (астрономо-геодезическим) методом. Труды ЦНИИГАиК, вып. 75, 1950.

где

$$\Delta E = \int_{AB} (dH - dh),$$

$$u_m = \frac{\int_{AB} u ds}{s}. \quad (1.5)$$

Величина ΔE — поправка за переход от измеренной разности высот к разности нормальных высот точек A и B . Эта поправка, согласно выводам геодезической гравиметрии, выражается следующей достаточно точной для наших целей формулой:

$$\Delta E = \int_{AB} \frac{g - \gamma}{\gamma} dH - \frac{0,0052}{\rho''} (H_2 - H_1) (B_2 - B_1) \sin 2 B_m, \quad (1.6)$$

в которой g — действительное значение силы тяжести и γ — нормальное значение силы тяжести в точках линии AB .

Величина u_m есть среднее интегральное значение уклонения отвеса по линии AB .

Подставляя (1.4) в формулу (1.3), получим

$$H_2 - H_1 = s \left(1 + \frac{H_2}{R} \right) \text{ctg } z_1^\circ + \frac{s^2}{2R} + \frac{s^2}{6R^2} (2H_2 + H_1) +$$

$$+ \frac{H_2 - H_1}{R} \zeta_1 + (u_1 - u_m) s + \Delta E. \quad (1.7)$$

До сих пор мы пренебрегали искривлением визирного луча, т. е. влиянием земной рефракции. В дальнейшем зенитное расстояние z_1° , свободное от влияния рефракции, будем называть теоретическим зенитным расстоянием. Оно может быть определено из формулы (1.7) по заданным точным значениям высот исследуемых пунктов и расстоянию между ними, а также по аномалиям силы тяжести в окрестности их. Если каким-нибудь способом определить поправку δz за влияние земной рефракции

$$\delta z_1 = z_1^\circ - z_1.$$

в измеренное зенитное расстояние z_1 , то формулу (1.7) можно написать в следующем виде:

$$H_2 - H_1 = s \left(1 + \frac{H_2}{R} \right) \text{ctg } z_1 + \frac{s^2}{2R} - s \delta z_1 + \frac{s^2}{6R^2} (2H_2 + H_1) +$$

$$+ \frac{H_2 - H_1}{R} \zeta_1 + (u_1 - u_m) s + \Delta E. \quad (1.8)$$

Интересующая нас поправка за рефракцию δz_1 может быть представлена как угол между прямой AB и касательной к проекции визирного (светового) луча на плоскость нормального сечения AB принятого эллипсоида, в которой лежит эта линия (рис. 2). Кривизна этой проекции светового луча в каждой его точке легко может быть вычислена, если известно распределение коэффициентов преломления и их градиентов в точках визирного луча. Найдем зависимость между поправкой за рефракцию и кривизной проекции визирного луча на вертикальную плоскость. Будет удобно в связи с этим ввести понятие точечного коэффициента рефракции. Точечным коэффициентом рефракции κ будем

называть отношение радиуса R эллипсоида к радиусу кривизны ρ проекции визирного луча на вертикальную плоскость в текущей точке, а именно

$$\kappa = \frac{R}{\rho}.$$

Без какой-либо погрешности в выводах влияния рефракции на геодезическое нивелирование можно визирный луч заменить плоской кривой, совпадающей с его проекцией на вертикальную плоскость.

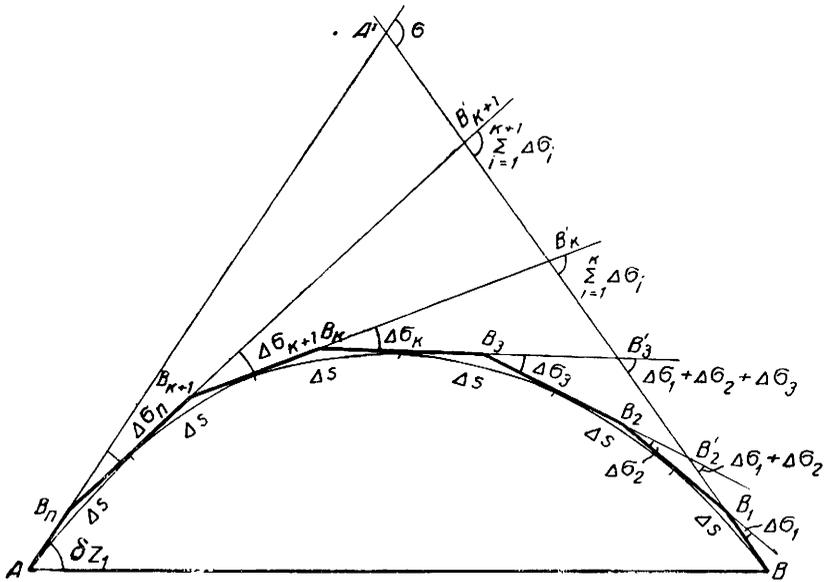


Рис. 2

Согласно рис. 2 имеем

$$\sin \delta Z_1 = \frac{A'B}{AB} \sin \sigma, \tag{1.9}$$

где σ — полная рефракция, т. е. угол между касательными к визирному лучу в начальной и конечной точках. Полная рефракция равна сумме частных искривлений визирного луча на отдельных участках ds

$$d\sigma = \frac{\kappa ds}{R},$$

так что

$$\sigma = \frac{1}{R} \int_{AB} \kappa ds. \tag{1.10}$$

Задача состоит теперь в том, чтобы определить расстояние $A'B$. С этой целью разделим дугу AB на n равных интервалов Δs , настолько малых, чтобы каждый интервал мог быть принят за дугу окружности радиуса ρ . Проведем через концы интервалов касательные к визирному лучу и точки их пересечения назовем $B_1, B_2, \dots, B_k, \dots$ в зависимости от того, к какому интервалу они относятся (рис. 2). Углы между касательными к визирному лучу в указанных точках будут равны

$$\Delta\sigma = \kappa \frac{\Delta s}{R}.$$

При сделанных выше допущениях в выборе Δs и при малости искривления визирного луча в пределах каждого интервала можно полагать

$$B_n A = BB_1 = \frac{\Delta s}{2} \quad B_1 B_2 = B_2 B_3 = \dots = B_{n-1} B_n = \Delta s.$$

Продолжим отдельные звенья ломаной $B_2 B_3 \dots B_k \dots B_{n-1}$ до пересечения с линией $A'B$. Точки пересечения назовем соответственно $B'_2, B'_3 \dots B'_{n-1}$. Тогда из решения любого треугольника $B_{k+1} B'_k B'_{k+1}$ получаем

$$B'_k B'_{k+1} = (B_k B'_k + \Delta s) \frac{\sin \Delta \sigma_{k+1}}{\sin \sum_{i=1}^{\kappa+1} \Delta \sigma_i}, \quad (1.11)$$

$$B_{k+1} B'_{k+1} = (B_k B'_k + \Delta s) \frac{\sin \sum_{i=1}^{\kappa} \Delta \sigma_i}{\sin \sum_{i=1}^{\kappa+1} \Delta \sigma_i}. \quad (1.12)$$

Пользуясь соотношениями (1.11) и (1.12), можно последовательно получить все отрезки $B'_k B'_{k+1}$, составляющие линию $A'B$. Решение практически облегчается тем, что величина σ никогда не будет превышать нескольких минут, т. е. все величины $\sin \sum \Delta \sigma$ с ошибкой порядка $1 \cdot 10^{-9}$ и меньше могут быть заменены величинами $\sum \Delta \sigma$. Тогда

$$BB_1 = \frac{\Delta s}{2},$$

$$BB'_2 = BB_1 + \frac{\Delta \sigma_2}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2} \Delta s = \Delta s \frac{\frac{3}{2} \Delta \sigma_2 + \frac{1}{2} \Delta \sigma_1}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2},$$

$$B_2 B'_2 = \Delta s \frac{\Delta \sigma_1}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2},$$

$$BB'_3 = BB'_2 + (B_2 B'_2 + \Delta s) \frac{\Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2 + \Delta \sigma_3} = \Delta s \frac{\frac{5}{2} \Delta \sigma_3 + \frac{3}{2} \Delta \sigma_2 + \frac{1}{2} \Delta \sigma_1}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2 + \Delta \sigma_3}.$$

$$B_3 B'_3 = \Delta s \frac{2 \Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2}{\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2 + \Delta \sigma_3}.$$

Для любого другого случая по аналогии с предыдущим* можно написать

$$BB'_k = \Delta s \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} \frac{2i-1}{2} \Delta \sigma_i}{\sum_{i=1}^{\kappa} \Delta \sigma_i}.$$

Следовательно, при $k = n$ получаем

$$A'B = \Delta s \frac{\sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{2} \Delta \sigma_i}{\sum_{i=1}^n \Delta \sigma_i} = \frac{\sum_{i=1}^n s_{BB_i} \Delta \sigma_i}{\sigma},$$

где s_{BB_i} — длина дуги световой кривой от конечной точки B до текущей

* Указанные ниже формулы выводятся методом индукции.

точки B_i визирного луча. Подставляя $A'B$ в формулу (1.9) и принимая во внимание малость величины σ , после перехода к пределу при $n \rightarrow \infty$ будем иметь

$$\delta z = \frac{1}{AB} \int_{AB} l d\sigma,$$

где принято обозначение l вместо s_{BVi} . Далее, сделав замену

$$d\sigma = \frac{\kappa}{R} dl,$$

$$\overline{AB} = s \operatorname{cosec} z,$$

с достаточной точностью получаем

$$\delta z = \frac{\sin z}{Rs} \int_0^s \kappa l dl. \quad (1.13)$$

Поскольку член $\sin z$ больше 0,999 при $[90^\circ - z] < 2^\circ$, в дальнейшем его будем считать равным единице.

Эта формула может служить для вычисления поправки за влияние земной рефракции на измеренные зенитные расстояния, если известен точечный коэффициент рефракции в каждой точке визирного луча.

Величину точечного коэффициента рефракции κ легко можно связать с метеорологическими данными, однако его вычисление в каждой точке визирного луча практически невозможно. Поэтому в практике геодезического нивелирования влияние рефракции на зенитные расстояния выражают через эмпирически выведенный средний коэффициент рефракции k . Принимая некоторый средний коэффициент рефракции, допускаем, что световой луч в атмосфере является дугой окружности радиуса, равного

$$\rho = \frac{R}{k}.$$

В этом случае формула для поправки за влияние рефракции на зенитные расстояния принимает следующий вид:

$$\delta z = \frac{k}{Rs} \int_0^s l dl = \frac{ks}{2R}. \quad (1.15)$$

Подставляя это выражение в формулу (1.8) и пренебрегая некоторыми малыми членами, получаем следующую формулу одностороннего геодезического нивелирования:

$$H_2 - H_1 = s \left(1 + \frac{H_2}{R} \right) \operatorname{ctg} z_1 + \frac{s^2}{2R} (1 - k) + (u_1 - u_m) s + \Delta E. \quad (1.16)$$

Эта формула будет строгой и заменит (1.8), если через k обозначить

$$k = \delta z \frac{2R}{s} = \frac{2}{s^2} \int_0^s \kappa l dl. \quad (1.17)$$

В отличие от всех других известных формул одностороннего геодезического нивелирования в нашу формулу входят члены $(u_1 - u_m) s$ и ΔE , учитывающие влияние отклонения действительного гравитационного поля

Земли от нормального на геодезическое нивелирование. В горных районах эти влияния могут превышать ошибки геодезического нивелирования, связанные с неточностью учета влияния земной рефракции.

Формулу для двустороннего геодезического нивелирования легко получить, исходя из первоначальной формулы:

$$\frac{q_2 + R}{q_1 + R} = \frac{\sin Z_1^\circ}{\sin Z_2^\circ}.$$

Отсюда, поскольку $Z_1^\circ + Z_2^\circ = 180^\circ + \psi$ и $\psi = \frac{s}{R}$, получим

$$q_2 - q_1 = (2R + q_1 + q_2) \operatorname{tg} \frac{s}{2R} \operatorname{tg} \frac{Z_2^\circ - Z_1^\circ}{2},$$

или с достаточной точностью

$$\begin{aligned} q_2 - q_1 &= s \left(1 + \frac{q_1 + q_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{Z_2^\circ - Z_1^\circ}{2} + (q_2 - q_1) \frac{s^2}{12R^2}. \\ H_2 - H_1 &= s \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{Z_2^\circ - Z_1^\circ}{2} + (H_2 - H_1) \frac{s^2}{12R^2} - \\ &\quad - (\zeta_2 - \zeta_1) + \frac{H_2 - H_1}{2R} (\zeta_1 + \zeta_2). \end{aligned}$$

Заменяем в этой формуле геодезические зенитные расстояния Z_1° и Z_2° теоретическими зенитными расстояниями z_1° и z_2° . При этом имеем:

$$Z_2^\circ - z_2^\circ = u_2, \quad (1.18)$$

где u_2 — уклонение отвесной линии в точке B в направлении AB . Кроме того, заменим

$$\zeta_2 - \zeta_1 = u_m s - \Delta E$$

и получим:

$$\begin{aligned} H_2 - H_1 &= s \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{z_2^\circ - z_1^\circ}{2} + (H_2 - H_1) \frac{s^2}{12R^2} + \\ &\quad + \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) s + \Delta E + \frac{H_2 + H_1}{2R} (\zeta_1 + \zeta_2). \end{aligned}$$

Подставляя теперь вместо теоретических зенитных расстояний наблюдаемые величины с их поправками за влияние рефракции, имеем:

$$\begin{aligned} H_2 - H_1 &= s \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{2R} \right) \operatorname{tg} \frac{z_2 - z_1}{2} + \frac{\delta z_2 - \delta z_1}{2} s + \frac{H_2 - H_1}{12R^2} s^2 + \\ &\quad + \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) s + \Delta E + \frac{H_2 + H_1}{2R} (\zeta_1 + \zeta_2). \quad (1.19) \end{aligned}$$

Из полученной формулы видно, что при $\delta z_1 = \delta z_2$ рефракция не оказывает влияния на геодезическое нивелирование. Это предположение является гораздо менее ограничивающим, чем предположение о форме световой кривой, используемое в (1.15). Поэтому, полностью пренебрегая влиянием рефракции на одновременное двустороннее геодезическое нивелирование, мы делаем меньшую ошибку, чем при учете этого влияния на одностороннее геодезическое нивелирование с помощью эмпирического коэффициента рефракции.

Далее, в формуле (1.19) член $(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m)$ с есть не что иное, как поправка за нелинейность изменения уклонов отвеса между точками A и B , обычно учитываемая при астрономо-гравиметрическом нивелировании, где она вводится с обратным знаком.

Остановимся на вопросе о влиянии рефракции на измеренные зенитные расстояния при геодезическом нивелировании через точку. При получении разности высот точек B и C из измерений их зенитных расстояний в точке A влияние рефракции будет равно

$$\delta z_{AB} s_{AB} - \delta z_{AC} s_{AC}.$$

Влияние рефракции будет тем большим, чем больше разность длин сторон AB и AC и чем больше различие условий наблюдений по этим сторонам. Наблюдения по этим линиям с точки A ведутся почти одновременно, а по структуре формулы (1.16) на рефракцию оказывают наибольшее влияние условия прохождения визирного луча вблизи точки A ; поэтому при достаточной близости сторон AB и AC можно пренебречь влиянием рефракции даже с большим основанием, чем при двустороннем одновременном геодезическом нивелировании.

§ 2. Теория земной рефракции. Нормальная рефракция

По принципу Ферма, свет от точки к точке распространяется по такому пути, на который он затрачивает наименьшее время. Так как коэффициент преломления n равен $\frac{c}{v}$, где v — скорость света в данной среде, а c — скорость света в пустоте, то уравнение визирного луча s , идущего из точки A в точку B , как известно*, может быть получено из решения уравнения вариационного исчисления:

$$\int_{AB} n ds = \int_{AB} n \frac{ds}{dt} dt = \min.$$

Величины n и s являются функциями координат точек пространства. Для простоты решения примем прямоугольную систему координат и обозначим

$$n \frac{ds}{dt} = n(x, y, z) \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = F\left(t, x, y, z, \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}\right).$$

Тогда значения функции F в каждой точке луча (x, y, z) будут подчиняться следующим формулам вариационного исчисления:

$$\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F}{\partial \left(\frac{dx}{dt}\right)} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F}{\partial \left(\frac{dy}{dt}\right)} \right) = 0,$$

$$\frac{\partial F}{\partial z} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F}{\partial \left(\frac{dz}{dt}\right)} \right) = 0.$$

* Socol E. Über die Seitenrefraction. Zeitschr. für Vermess., № 9 1936.

По этим формулам получим

$$\begin{aligned}\frac{dn}{dx} \frac{ds}{dt} - \frac{d}{dt} \left(n \frac{dx}{ds} \right) &= 0, \\ \frac{dn}{dy} \frac{ds}{dt} - \frac{d}{dt} \left(n \frac{dy}{ds} \right) &= 0, \\ \frac{dn}{dz} \frac{ds}{dt} - \frac{d}{dt} \left(n \frac{dz}{ds} \right) &= 0.\end{aligned}\tag{2.1}$$

Преобразовав члены

$$\frac{d}{dt} \left(n \frac{dx}{ds} \right) = \frac{dn}{ds} \frac{dx}{ds} \frac{ds}{dt} + n \frac{d^2x}{ds^2} \frac{ds}{dt}$$

и т. д. и подставив полученные результаты в (2.1), будем иметь

$$\begin{aligned}\frac{d^2x}{ds^2} &= \frac{1}{n} \left(\frac{dn}{dx} - \frac{dn}{ds} \frac{dx}{ds} \right), \\ \frac{d^2y}{ds^2} &= \frac{1}{n} \left(\frac{dn}{dy} - \frac{dn}{ds} \frac{dy}{ds} \right), \\ \frac{d^2z}{ds^2} &= \frac{1}{n} \left(\frac{dn}{dz} - \frac{dn}{ds} \frac{dz}{ds} \right).\end{aligned}\tag{2.2}$$

Выберем систему координат (x, y, z) таким образом, чтобы текущая точка световой кривой O была началом координат, ось z совпадала с касательной к кривой, а вектор $grad n$ лежал в плоскости xOz (рис. 3). Тогда будем иметь

$$\begin{aligned}\frac{dn}{ds} &= \frac{dn}{dx}, & \frac{dn}{dy} &= 0, \\ \frac{dx}{ds} &= 1, & \frac{dy}{ds} = \frac{dz}{ds} &= 0\end{aligned}$$

и далее

$$\frac{d^2x}{ds^2} = \frac{d^2y}{ds^2} = 0,$$

так что для радиуса кривизны световой кривой в точке O получим формулу

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2z}{ds^2} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dz}.\tag{2.3}$$

Радиус кривизны световой кривой в точке O , как видно из рисунка, находится в одной плоскости с $grad n$, причем центр кривизны лежит на оси Oz .

Исходя из данных о распределении вертикальных и горизонтальных градиентов температуры, сразу же можно было бы допустить, что вторая

кривизна, т. е. кручение световой кривой весьма незначительно. На этом основании можно было бы также допустить, что радиус кривизны r световой кривой в текущей точке O практически равен радиусу кривизны ρ в соответственной точке O' проекции световой кривой на вертикальную плоскость, а направление на z совпадает с направлением вертикали.

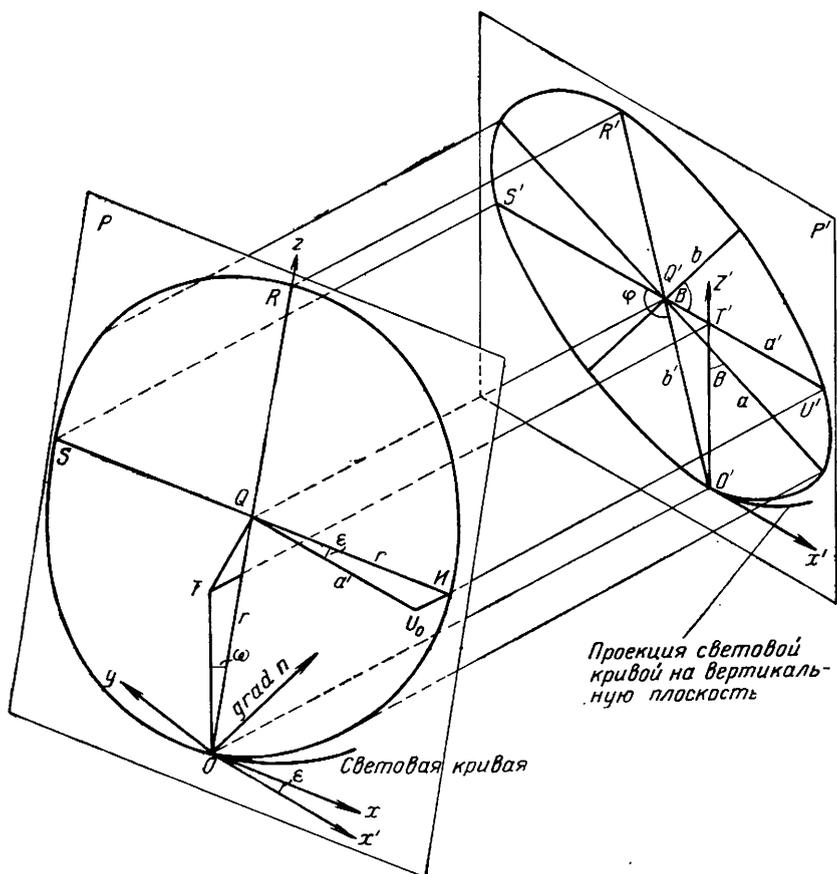


Рис. 3

Но здесь мы дадим более строгий вывод радиуса кривизны световой кривой в вертикальной плоскости. С этой целью спроектируем круг кривизны в текущей точке O визирного луча на указанную плоскость. Проекция круга кривизны на рис. 3 имеет форму эллипса с полуосями a и b . Радиус кривизны проекции световой кривой в точке O' , являющейся проекцией точки O , будет равен радиусу кривизны эллипса в точке O' . Согласно формулам сфероидической геодезии имеем:

$$\rho = \frac{a^2 b^2}{(a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B)^{3/2}}, \quad (2.4)$$

где B — угол между большой полуосью эллипса a и нормалью к проекции световой кривой в точке O' , т. е. «широта» точки O' . Удобнее, однако, величину ρ выразить через длины двух сопряженных диаметров эллипса

$R'O = 2b'$ и $s'u' = 2a'$; они являются соответственно проекциями диаметров круга кривизны, первый из которых совпадает с нормалью, а другой параллелен касательной к световой кривой. Так как проекции параллельных прямых на какую-либо плоскость параллельны между собой, то линия $Q'u'$ параллельна касательной Ox и образует с малой полуосью эллипса угол B . Тогда, согласно формулам сфероидической геодезии имеем:

$$a'^2 = \frac{a^2 b^2}{a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B},$$

так что

$$\rho = \frac{a'^3}{ab}.$$

Выражая известную в аналитической геометрии теорему Аполлония о сопряженных радиусах эллипса в наших обозначениях, получаем

$$ab = a'b' \sin \varphi,$$

где φ — угол между сопряженными диаметрами.

Таким образом,

$$\rho = \frac{a'^2}{b' \sin \varphi}. \quad (2.5)$$

Обозначим через ε — угол между касательной к световой кривой в точке O и ее проекцией в точке O' , ω — угол между радиусами кривизны световой кривой в точке O и ее проекцией в точке O' , т. е. угол между главными нормальными световой кривой и ее проекцией. Эти углы на рис. 3 построены соответственно при точках Q и O .

Согласно рис. 3 имеем:

$$\begin{aligned} a' &= r \cos \varepsilon, \\ OT &= r \cos \omega = O'T' = b' \sin \varphi \end{aligned}$$

и отсюда получаем:

$$\rho = r \frac{\cos^2 \varepsilon}{\cos \omega}.$$

Поскольку

$$\frac{dn}{dz'} = \frac{dn}{dz} \cos \omega,$$

из (2.3) получаем

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{n \cos^2 \varepsilon} \frac{dn}{dz'}. \quad (2.6)$$

Так как полная рефракция никогда не превышает нескольких минут, то за величину $\frac{dn}{dz'}$ можно принять производную плотности в направлении, перпендикулярном к направлению визирного луча. При положительном коэффициенте рефракции он будет направлен в сторону уменьшения высоты h . Таким образом,

$$\frac{dn}{dz'} = - \frac{dn}{dh} \sin z + \frac{dn}{ds} \cos z, \quad (2.7)$$

но практически всегда можно полагать:

$$\frac{dn}{dz'} = -\frac{dn}{dh} \sin z.$$

Угол ϵ так же, как и полная рефракция, никогда не будет превышать нескольких минут, и следовательно, с ошибкой менее 0,001% можно полагать $\cos \epsilon = 1$; окончательно имеем:

$$\kappa = -R \frac{dn}{dh} \sin z. \quad (2.8)$$

или с ошибкой менее 0,1% при $[90^\circ - z] < 2^\circ$ можно просто принять:

$$\kappa = -R \frac{dn}{dh}. \quad (2.9)$$

При изучении земной рефракции коэффициент преломления воздуха с достаточной точностью можно выразить по формуле Ньютона

$$n - 1 = c \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (2.10)$$

где ρ — плотность воздуха, ρ_0 — плотность воздуха при нормальном давлении $p_0 = 760$ мм и температуре 0° С, т. е. абсолютной температуре $T_0 = -273^\circ,2$, и c — некоторая постоянная.

Величина $n - 1$ получила название преломляющей способности света. Коэффициент c зависит от длины волны света и физико-химического строения среды. Однако в пределах видимого спектра его изменение для различных лучей невелико. Так, в сухом воздухе он равен:

для фиолетовых лучей	0,000299,
для красных лучей	0,000290,
для белого света	0,000292.

Поскольку в геодезических измерениях имеем дело почти всегда с белым светом, то практически изменение c от длины световой волны можно не принимать во внимание и во всех случаях полагать этот коэффициент равным 0,000292*.

Изменение состава воздуха в связи с присутствием паров воды и углекислоты также несущественно влияет на величину коэффициента c . Этот коэффициент для белого света равен:

в водяном паре	0,000251,
в углекислоте	0,000276.

По законам физической оптики преломляющая способность смеси является суммой преломляющих способностей ее составных частей. Поэтому, поскольку объемное содержание углекислоты в воздухе по ряду исследований составляет около 0,03%, влияние этого фактора на земную рефракцию можно не принимать во внимание. Объемное содержание водяного пара в воздухе характеризуется отношением упругости e

* Под воздействием мощных электромагнитных полей может появляться так называемый эффект Керра, когда коэффициент преломления воздуха в данной точке будет разным в различных направлениях. Однако этот эффект в атмосфере пренебрегаемо мал даже при воздействии электромагнитных полей, возникающих при грозах.

паров воды к давлению p воздуха. Таким образом, для влажного воздуха

$$c = 0,000292 \frac{p-e}{p} + 0,000251 \frac{e}{p} = 0,000292 \left(1 - 0,14 \frac{e}{p}\right). \quad (2.11)$$

Отношение плотностей $\frac{\rho}{\rho_0}$ для ненасыщенного водяными парами воздуха может быть выражено, согласно закону Мариотта — Гей-Люссака, как функция абсолютной температуры и давления, а именно:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}. \quad (2.12)$$

Следовательно, из (2.10), (2.11) и (2.12) имеем:

$$n - 1 = 0,000292 \left(1 - 0,14 \frac{e}{p}\right) \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}. \quad (2.13)$$

Дифференцируя эту формулу по высоте и подставляя в (2.9), получаем искомую зависимость коэффициента рефракции от давления, температуры и влажности:

$$\begin{aligned} \kappa = & -0,000292 R \left(1 - 0,14 \frac{e}{p}\right) \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} \left(\frac{1}{p} \frac{dp}{dh} - \frac{1}{T} \frac{dT}{dh}\right) + \\ & + 0,000041 \frac{T_0}{T p_0} \frac{de}{dh}. \end{aligned}$$

Сделаем еще некоторые преобразования. Изменение давления с высотой с достаточной точностью выражается основным уравнением статики атмосферы:

$$\frac{dp}{dh} = -g\rho, \quad (2.14)$$

где g — ускорение силы тяжести. Величина $g\rho dh$ есть вес элементарного столба воздуха, сечение которого равно единице, а высота равна dh .

Плотность влажного воздуха равна

$$\rho = \frac{p}{R_d T} \left(1 - 0,378 \frac{e}{p}\right), \quad (2.15)$$

где R_d — газовая постоянная сухого воздуха, причем:

$$R_d = 286,86 \text{ м}^2/\text{сек}^2 \text{ град}.$$

Таким образом, после ряда преобразований получаем окончательную формулу:

$$\kappa = 0,000292 R \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T^2} \left(\frac{g}{R_d} + \frac{dT}{dh}\right) + \Delta\kappa_e, \quad (2.16)$$

в которой

$$\begin{aligned} \Delta\kappa_e = & -0,000292 R \frac{e}{p_0} \frac{T_0}{T^2} \left(0,52 \frac{g}{R_d} + 0,14 \frac{dT}{dh}\right) + \\ & + 0,000041 \frac{1}{p_0} \frac{T_0}{T} \frac{de}{dh}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

С ошибкой порядка сжатия Земли можно принять, что

$$R = 6371 \text{ км},$$

$$g = 9,81 \text{ м/сек}^2.$$

После подстановки постоянных величин имеем:

$$x = 668,7 \frac{p}{T^2} \left(0,0342 + \frac{dT}{dh} \right) + \Delta x_e. \quad (2.18)$$

Здесь p выражено в миллиметрах ртутного столба, T — в градусах и $\frac{dT}{dh}$ в градусах на метр.

Проанализируем главный член формулы. Изменение давления в течение суток обычно не превышает 5 мм. Это меняет коэффициент рефракции менее чем на 1%. Несколько большее значение имеет изменение температуры воздуха. Изменение температуры на 3° вызывает изменение коэффициента рефракции примерно на 2%. Однако в основном ошибки геодезического нивелирования, связанные с неустойчивостью коэффициента рефракции во времени и пространстве, вызваны изменениями градиентов температуры, которым в приземном слое воздуха присущи большие и быстрые колебания. Поэтому изучение характера распределения и изменения градиентов температуры очень важно для суждения о точности геодезического нивелирования.

При значительной высоте прохождения визирного луча над подстилающей поверхностью (поверхностью почвы, травостоя, водоемов, кроной деревьев в лесу и т. д.), когда влияние последней на распределение температуры в приземном слое воздуха сильно ослабевает, можно принять ту или иную гипотезу нормального строения атмосферы. Нормальным считается такое строение атмосферы, когда она находится в состоянии безразличного равновесия. Если не принимать во внимание некоторых динамических процессов, происходящих в атмосфере, то можно считать, что атмосфера находится в безразличном равновесии при адиабатическом ее состоянии, когда поднятие или опускание любой массы воздуха происходит без выделения или поглощения тепла. Распределение температуры при адиабатическом состоянии сухого воздуха характеризуется известным в термодинамике газов уравнением Пуассона

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{R_d}{c_p}},$$

где c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянстве давления, равная 0,241.

Отсюда имеем

$$\frac{dT}{dh} = \frac{T}{p} \frac{R_d}{c_p} \frac{dp}{dh}.$$

Согласно (2.11) и (2.12), с достаточной точностью можно принять:

$$\frac{dp}{dh} = - \frac{gp}{R_d T}$$

и, следовательно,

$$\frac{dT}{dh} = a = - \frac{g}{c_p} = - 0,0098 \text{ град/м}. \quad (2.19)$$

Таким образом, для сухой адиабатической атмосферы получаем следующий нормальный коэффициент рефракции, который будем называть нормальным адиабатическим коэффициентом:

$$\kappa_0 = 668,7 \frac{P}{T^2} (0,0342 + a) = 16,31 \frac{P}{T^2}. \quad (2.20)$$

Казалось бы, что удаленные от подстилающей поверхности слои воздуха должны находиться в адиабатическом состоянии и формула (2.20) вполне пригодна для расчета влияния рефракции при значительной высоте прохождения визирного луча. Фактические данные исследований строения верхних слоев атмосферы, однако, показывают, что вертикальный градиент температуры воздуха на больших высотах в среднем равен — 0,006 град/м. Поэтому, например, при аэродинамических и других расчетах, которые ведутся для некоторого среднего стандартного строения атмосферы, принимают

$$a = \frac{dT}{dh} = -0,0065 \text{ град/м.}$$

Соответствующий этому значению нормальный стандартный коэффициент рефракции будет равен

$$\kappa_0 = 18,56 \frac{P}{T^2}. \quad (2.21)$$

Величины нормальных адиабатических и стандартных коэффициентов рефракции для различных значений температуры и давления приведены в табл. 1, где в числителе стоят нормальные адиабатические коэффициенты, в знаменателе — стандартные коэффициенты рефракции.

Таблица 1

p мм \ t в град. С	0°	+ 7°	+ 17°	+ 27°
760	0,166	0,158	0,147	0,138
	0,190	0,180	0,168	0,157
700	0,153	0,146	0,135	0,127
	0,175	0,166	0,154	0,144
650	0,142	0,135	0,126	0,118
	0,162	0,154	0,144	0,134
600	0,131	0,125	0,116	0,109
	0,150	0,142	0,133	0,124

Из таблицы видно, что приведенные величины довольно близки к действительно наблюдаемым коэффициентам рефракции в геодезическом нивелировании при значительных высотах визирного луча над подстилающей поверхностью.

При выводе формулы нормального коэффициента рефракции мы не принимали во внимание влажность атмосферы. Если считать, что при адиабатическом поднятии массы влажного воздуха не происходит также и влагообмена между этой массой и окружающим воздухом, то следует поставить условие:

$$\frac{e}{p} = \text{const.}$$

Следовательно,

$$\frac{de}{dh} = \frac{e}{p} \frac{dp}{dh} = - \frac{ge}{R_d T}.$$

Отсюда нормальная поправка коэффициента рефракции за влажность воздуха будет равна

$$\Delta n_e = -0,000292R \frac{e}{p_0} \frac{T_0}{T^2} \left(0,68 \frac{g}{R_d} - 0,14 \frac{g}{c_p} \right) = -14,8 \frac{e}{T^2}.$$

Таким образом, видно, что даже при $e = 50$ мм эта поправка составляет всего лишь 0,01. Практически влажность воздуха всегда значительно меньше 50 мм, так что нормальная поправка коэффициента рефракции за влажность воздуха не имеет значения.

Конечно, реальное строение атмосферы значительно отклоняется от нормального. Влияние этих отклонений на земную рефракцию будет рассмотрено ниже.

§ 3. Влияние распределения температуры и влажности в приземном слое воздуха на вертикальную рефракцию

Влияние подстилающей поверхности на структуру нижних слоев атмосферы определяется тем, что почти 70% солнечного тепла, достигая этой поверхности, поступает в атмосферу, главным образом, путем непосредственного теплообмена между подстилающей поверхностью и прилегающими к ней слоями воздуха. Поэтому распределение температуры в нижних слоях воздуха должно находиться в непосредственной связи с тепловым балансом подстилающей поверхности и особенностями теплообмена между ней и воздухом.

Многочисленными исследованиями в метеорологии и аэродинамике доказано, что всякое движение воздуха сопровождается возникновением беспорядочно движущихся вихрей и приобретает турбулентный (т. е. вихревой) характер. При этом перемешиваются воздушные массы, выравнивается распределение плотности, давления, температуры, влажности и т. д. Этот так называемый турбулентный обмен является основной формой обмена в атмосфере, по сравнению с которым влияние других форм обмена отступает на второй план.

В приземном слое воздуха значение процессов турбулентного обмена сильно увеличивается вследствие неравномерности нагревания участков подстилающей поверхности и влияния неровностей, шероховатости этой поверхности (наличие рельефа и растительности на суше, волн на водной поверхности и т. д.). Это приводит, с одной стороны, к увеличению термической турбулентности, вызываемой неоднородностью поля температуры, а, с другой стороны, к увеличению динамической турбулентности, образованию завихрений при обтекании воздушными потоками неровностей земной поверхности.

Признание того, что все физические процессы в атмосфере сопровождаются турбулентным перемешиванием, заставляет с большой осторожностью относиться к попыткам предвычислить величину рефракции по мгновенным характеристикам температуры в отдельных точках. В динамической метеорологии и аэродинамике давно уже отказались от попыток дать уравнение движения потока какой-либо субстанции (тепла, количества движения, влажности и т. д.) в общем виде и пользуются при анализе процессов в атмосфере сглаженными характеристиками. Поэтому на основе анализа градиентов сглаженной температуры мы также будем только статистически судить о некотором среднем влиянии рефракции.

Согласно выводам динамической метеорологии вертикальный градиент сглаженной температуры равен

$$\frac{dT}{dh} = a - \frac{Q}{Ac_p}, \quad (3.1)$$

где Q — поток тепла по вертикали, A — так называемый коэффициент обмена.

Отсюда видно, что вертикальный градиент температуры состоит из нормальной части a и аномальной части, которая прямо пропорциональна тепловому потоку по вертикали и обратно пропорциональна коэффициенту обмена. Рассмотрим, каковы особенности распределения температуры в приземном слое воздуха в дневное и ночное время.

Тепловой поток по вертикали в пределах слоя воздуха в несколько десятков метров над почвой практически неизменен и определяется теплообменом между почвой и воздухом, который является составной частью общего теплового баланса подстилающей поверхности.

Тепловой баланс подстилающей поверхности складывается из баланса радиации, теплообмена в почве, теплообмена «почва — воздух» и тепла, выделяющегося при конденсации паров и расходуемого на испарение. В дневное время ведущим и наибольшим по напряжению компонентом является баланс радиации, который складывается из коротковолновой солнечной радиации и длинноволновой радиации — излучения подстилающей поверхности и встречного излучения атмосферы. Солнечная радиация, в свою очередь, состоит из прямой и рассеянной радиации.

Напряженность прямой солнечной радиации зависит в основном от угла падения солнечных лучей на подстилающую поверхность, т. е. от угла наклона местности и высоты Солнца, а также от облачности. Поэтому в ясные летние дни для большей части территории СССР она мало меняется (в широтах от 40 до 60° в пределах лишь 20%). Наличие рельефа и облачность сильно меняют напряженность прямой солнечной радиации и являются основной причиной резких колебаний теплового баланса, а следовательно, и градиентов температуры во времени и пространстве. С увеличением облачности возрастает значение рассеянной радиации, так что при небольшой облачности, не препятствующей прямой радиации, напряженность всей солнечной радиации будет даже больше, чем в ясную погоду. Отражательная способность подстилающей поверхности (альbedo) в некоторых случаях также является существенным фактором образования местных климатических особенностей. Так, например, значительное альbedo снежного покрова резко уменьшает и без того слабое влияние солнечной радиации в зимнее время. Длинноволновое излучение атмосферы несколько сглаживает радиационный баланс в дневные часы, но заметно его не меняет.

Остальные компоненты теплового баланса имеют в дневные часы знак, противоположный знаку солнечной радиации. Теплообмен «почва — воздух», таким образом, происходит тем интенсивнее, чем напряженнее баланс радиации и чем слабее выражен теплообмен в почве и меньше испарение. Это значит, что при прочих равных условиях градиенты температуры будут больше в засушливых районах, чем во влажных, и над почвами, обладающими меньшей теплопроводностью. Над растительностью (мощный травостой, крона леса) градиенты температуры будут меньше, чем над оголенной почвой. Расход тепла на испарение как фактор теплового баланса будет иметь большой удельный вес в средней полосе СССР и во влажных субтропиках, где резкие колебания теплового баланса часто связаны с выпадением осадков.

Вторым главным фактором, определяющим распределение градиентов температуры, является коэффициент обмена. В дневное время происходит интенсивный нагрев подстилающей поверхности, и поток тепла от нее в воздух имеет положительный знак. Для этого времени суток характерны так называемые сверхадиабатические градиенты температуры,

когда убывание температуры с высотой идет быстрее, чем при нормальном состоянии атмосферы. В этих условиях поднимающиеся вверх воздушные массы оказываются легче окружающего воздуха, т. е. создаются благоприятные условия для образования вертикальных конвективных токов воздуха, а следовательно, и для термической турбулентности.

Коэффициент обмена возрастает пропорционально высоте; в полуденные часы он увеличивается несколько быстрее. В соответствии с этим с высотой убывают по абсолютной величине градиенты температуры, и даже при значительных их величинах около почвы они на высоте в несколько десятков метров над ней уже близки к нормальному значению.

Динамическая турбулентность имеет второстепенное значение в дневные часы. Однако увеличение силы ветра до 4 м/сек и более приводит к заметному увеличению коэффициента обмена, а следовательно, и к уменьшению градиента температуры.

В закрытых местностях, в условиях пересеченного рельефа или на лесных полянах возрастание коэффициента обмена замедлено в пределах влияния защиты, но на границе защищенной зоны он испытывает резкий скачок. По этой причине в защищенной зоне сохраняются значительные градиенты температуры и происходит быстрое уменьшение их на границе зоны.

В ночное время баланс радиации состоит только из длинноволнового излучения, главным образом, излучения подстилающей поверхности, и в некоторой степени встречного излучения атмосферы. Процессы испарения и конденсации затухают настолько, что ими можно пренебречь. Поэтому излучение подстилающей поверхности компенсируется притоком тепла из почвы и охлаждением приземных слоев воздуха. Возникает так называемая инверсия в распределении температуры, когда в приземном слое воздуха происходит не убывание, а возрастание температуры с высотой. При инверсии воздушные массы, поднимаясь вверх, остаются более тяжелыми, чем окружающий воздух, и поэтому конвективный теплообмен в воздухе замирает. Происходит только стекание холодного воздуха с крутых склонов в низины. Но и в ночное время турбулентный теплообмен является главной формой теплообмена в воздухе. Основным фактором его уже является динамическая турбулентность, и поэтому в ночное время коэффициент обмена зависит от силы ветра. Коэффициент обмена возрастает с высотой не пропорционально высоте, а несколько медленнее. Поэтому значительные вертикальные градиенты температуры встречаются и на больших высотах. Мощности слоя инверсии довольно неустойчива. В зимнее время при длительных морозах она достигает до 1,5 км; летом в зависимости от условий погоды, местоположения и теплового обмена подстилающей поверхности она колеблется в пределах от нескольких метров до нескольких десятков и даже сотен метров. На рис. 4 приводится типичное для дневного и ночного времени изменение температуры с высотой, а именно график отклонений температуры на разных высотах от температуры на высоте 1,5 м, составленный по наблюдениям в ясную тихую погоду в июле — сентябре*. Так как в первом приближении температура меняется пропорционально логарифму высоты, то на рис. 4 по вертикали отложены не высоты, а их логарифмы. По горизонтали же отложены разности температуры в градусах.

Из всего изложенного мы можем сразу же сделать практические выводы. Отсутствие интенсивного турбулентного перемешивания и неустойчивость слоя инверсии в ночное время приводят к тому, что градиенты температуры, а значит и коэффициенты рефракции даже на больших высотах достигают больших величин и сильно колеблются во

* Сапожникова С. А. Микроклимат и местный климат. 1950.

времени и пространстве. Поэтому часы инверсии будут мало пригодными для производства геодезического нивелирования. С другой стороны, можно ожидать, что дневной период, благоприятный для геодезического нивелирования, лежит между моментами разрушения инверсии утром и установления инверсии вечером. Этот существенный вывод будет обоснован нами в дальнейшем фактическим материалом исследований по геодезическому нивелированию.

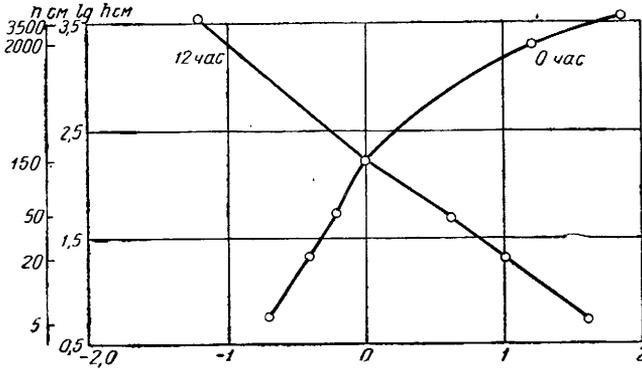


Рис. 4

На основе анализа значительного материала измерения температуры, собранного Бестом (Англия), С. А. Сапожникова показала, что моменты наступления и разрушения инверсии в течение года в среднем хорошо согласуются с моментами прохождения Солнца через альмукантарат, соответствующий высоте Солнца над горизонтом в 15° , т. е. наступают примерно через 3 часа после восхода и за 3 часа до захода Солнца. Почти все случаи раннего наступления инверсии были связаны с интенсивным испарением после увлажнения почвы ранее выпавшими осадками. Утреннее запаздывание разрушения инверсии наблюдалось при переходе от ясной ночи к пасмурному дню, либо значительному выпадению росы.

Описанная нами картина распределения градиентов температуры является типичной, но в отдельных случаях возможны существенные отклонения от нее, распространяющиеся на значительную высоту. Они возникают при перемещении воздушных масс из теплых в более холодные районы и наоборот. Теплые массы при своем движении сильнее охлаждаются в своих нижних частях, и поэтому градиенты температуры в них меньше нормального градиента. Холодные массы в нижних слоях быстро прогреваются; для них характерны большие вертикальные градиенты и большая неустойчивость расположения слоев различной температуры. За счет этого метеорологического фактора коэффициент рефракции даже на значительных высотах может испытывать колебания порядка 0,04.

Особые условия наблюдений возникают при прохождении визирного луча над водной поверхностью, особенно на границах водоемов, и в горных районах.

Как видно из предыдущего изложения, влажность воздуха как фактор теплового баланса оказывает большое косвенное влияние на рефракцию. В сравнении с этим непосредственное ее влияние на рефракцию ничтожно. Влагообмен в приземном слое воздуха так же, как и теплообмен, имеет турбулентный характер: градиент влажности прямо пропорционален интенсивности испарения и обратно пропорционален коэффициенту обмена. Полагая с достаточным основанием, что поток влаги так

же, как и поток тепла по вертикали, неизменен до значительных высот над подстилающей поверхностью, можно считать, что соотношение влияния градиентов температуры и влажности на рефракцию мало меняется с высотой.

На высоте 1 м над почвой в ясную погоду и летние месяцы градиент влажности примерно равен

$$\frac{de}{dh} = -0,5 \text{ мм/м}$$

и соответственно $\Delta \kappa_e = -0,20$.

Градиент температуры в тех же условиях имеет порядок

$$\frac{dT}{dh} = -0,6 \text{ град/м.}$$

и соответственно $\kappa = -3,5$.

Таким образом, влияние влажности на рефракцию в приземном слое воздуха по крайней мере в десять раз меньше влияния температуры и им можно пренебречь.

§ 4. Погрешности геодезического нивелирования, связанные с формой уровенных поверхностей Земли

Влияние аномалий силового поля Земли на геодезическое нивелирование до последнего времени не было изучено должным образом, хотя давно уже подмечено, что вызванные этим влиянием погрешности являются основными при геодезическом нивелировании в горных районах. По имеющимся данным* они в этих районах в два раза превышают остальные погрешности геодезического нивелирования. Многочисленные попытки швейцарских и немецких геодезистов уменьшить погрешности, связанные с формой уровенных поверхностей Земли, не привели к существенному успеху; между тем современные достижения отечественной геодезической гравиметрии позволяют найти достаточно простые пути их уменьшения. Согласно формулам (1.8) и (1.19), речь идет об учете поправок

$$\Delta u' s = (u_1 - u_m) s + \Delta E \quad (4.1)$$

при одностороннем нивелировании и поправок

$$\Delta u s = \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) s + \Delta E \quad (4.2)$$

при двустороннем нивелировании.

В этих поправках член $(u_1 - u_m) s$ представим в виде

$$\left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) s + \left(\frac{u_1 - u_2}{2} \right) s.$$

В дальнейшем для обозначения примем

$$\begin{aligned} \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) s &= I, \\ \frac{u_1 - u_2}{2} s &= II. \end{aligned}$$

Член I представляет собой влияние ошибки линейной интерполяции уклонов отвеса между точками геодезического нивелирования и равен гравиметрической поправке в астрономо-гравиметрическое нивелирование.

* R. Finsterwalder. Über Art und Genauigkeit von trigonometrisch bestimmten Höhen. Zeitschr. für Vermess. № 5, 1951.

Порядок этого члена можно рассчитать по профилю геоида. Такого рода расчет был проделан нами на материалах астрономического нивелирования в Швейцарии* и материалах астрономо-гравиметрического нивелирования в СССР.

Профиль астрономического нивелирования по Сен-Готтардскому меридиану был разбит на два участка — высокогорный длиной в 115 км и средневысотный длиной в 60 км. На первом участке были использованы 33 пункта астрономического нивелирования, на втором участке—21 пункт. Разность высот геоида между этими пунктами была получена со значительной точностью благодаря интерполяции уклонений отвеса через топографо-изостатические редукции. Из сравнения вычисленных по разностям высот геоида средних уклонений отвеса u_m с наблюдаемыми при различной частоте астропунктов были получены следующие величины средних квадратических значений m_u и разностей $\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$:

Высокогорный район		Средневысотный район	
s	m_u	s	m_u
3,6 км	$\pm 3'',3$	9 км	$\pm 1'',8$
7,2	3 , 1	18	1 , 9
14,3	3 , 6		

Таким образом, в горных районах величина m_u мало зависит от расстояния и составляет в среднем для расстояний от 4 до 18 км в высокогорных участках $\pm 3'',5$, в средневысотных участках $\pm 1'',9$.

По материалам астрономо-гравиметрического нивелирования в СССР невозможно получить данные для непосредственного расчета ошибок геодезического нивелирования, так как астрономо-геодезические пункты располагаются на расстоянии порядка 40—100 км друг от друга. Однако, воспользуемся этими материалами для проверки следующих соображений о вычислении m_u .

Представим изменение уклонений отвеса между точками A и B в виде графика на рис. 5. Подберем к кривой изменения уклонений отвеса между точками A и B прямую A_0B_0

Представим изменение уклонений отвеса между точками A и B в виде графика на рис. 5. Подберем к кривой изменения уклонений отвеса между точками A и B прямую A_0B_0

$$m + nl = u_0$$

таким образом, чтобы сумма квадратов разностей ординат соответствующих точек прямой A_0B_0 и кривой AB , т. е. $\Sigma (u - u_0)^2$ была минимальной. Тогда

* F. Niethammer. Das astronomische Nivellement im Profil des St. Gotthard, Bern, 1939.

$$F = \int_{AB} [u - (m + nl)]^2 dl = \min,$$

отсюда имеем

$$\frac{dF}{dm} = -2 \int_{AB} u dl + (2m + ns) s = 0,$$

$$m + n \frac{s}{2} = \frac{\int_{AB} u dl}{s} = u_m.$$

Таким образом, среднее значение уклонений отвеса по прямой A_0B_0 равно u_m .

Обозначим через Δ_1 и Δ_2 разности ординат точек A_0 и A и точек B_0 и B . Тогда будем иметь

$$\begin{aligned} m + \Delta_1 &= u_1 \\ \frac{m + ns + \Delta_2}{2} &= u_2 \\ m + \frac{ns}{2} + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} &= \frac{u_1 + u_2}{2}, \end{aligned}$$

откуда

$$\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}.$$

Из последней формулы следует, что

$$m_u = \frac{m_\Delta}{\sqrt{2}}.$$

Введем понятие ошибки интерполяции уклонений отвеса δu (аналогичное понятию ошибки интерполяции аномалий силы тяжести δg), понимая под ней среднюю квадратическую разность действительных уклонений отвеса и полученных с помощью линейной интерполяции по уклонениям отвеса в точках A и B . В средней точке линии AB величина δu равна

$$\delta u^2 = m_\Delta^2 + \frac{m_\Delta^2}{2},$$

причем второй член учитывает переход к прямой AB от прямой A_0B_0 , лучше подходящей к кривой AB . Полученная формула пригодна для расчета δu в любой точке прямой A_0B_0 , если период колебаний уклонений отвеса значительно меньше расстояния s . Таким образом,

$$m_u = \frac{\delta u}{\sqrt{3}}. \quad (4.3)$$

М. С. Молоденский полагает*, что ошибки интерполяции возникают от действия местных аномалий в распределении плотности в пределах области с радиусом одного порядка или меньше, чем расстояние между пунктами измерений. Производные потенциала силы тяжести от этих местных беспорядочных аномальных масс, согласно рассуждению Молоденского, должны быть примерно одинаковы во всех направлениях. По-

* Молоденский М. С. Основные вопросы геодезической гравиметрии. Труды ЦНИИГАиК, вып. 42, М., Геодезиздат, 1945.

этому для одинаковых расстояний между соседними пунктами геодезического нивелирования и соседними гравиметрическими пунктами можно принять

$$\delta u = \frac{\delta g}{g} = 0'',21 \delta g,$$

так что отсюда по (4.3) имеем

$$m_u = 0'',12 \delta g, \quad (4.4)$$

где δg выражено в миллигалах.

Для всей территории СССР, кроме горных районов, можно принять

$$\delta g = 1,08 \sqrt{s}, \quad (4.5)$$

где δg выражено в миллигалах, а s — в километрах, следовательно,

$$m_u = 0'',13 \sqrt{s}. \quad (4.6)$$

Сопоставим величины m_u , рассчитанные по формуле (4.6) и полученные по результатам астрономо-гравиметрического нивелирования в СССР (табл. 2).

Таблица 2

Использованный материал	$s_{\text{ср}}$ км	m_u	
		фактическая	вычисленная
В среднем из всего астрономо-гравиметрического нивелирования	90	$\pm 1'',3$	$\pm 1'',23$
Профиль Пулково—Орша	90	1,3	1,23
" " "	45	0,8	0,87

Из таблицы видно, что m_u фактические и вычисленные по формуле (4.6) практически совпадают. Формула (4.5), по указаниям М. С. Молоденского, применима в равнинных районах уже при расстояниях в 8 км; поэтому формулу (4.6) можно считать универсальной при расчетах величины m_u в равнинных районах. В аномальных районах следует применять общую формулу (4.4). В горных районах примем величины m_u , приведенные выше. Таким образом, при $s = 10$ км на равнине член I (см. стр. 27) составляет ± 2 см, в средневысоких районах ± 10 см и в высокогорных районах ± 18 см. Член II, согласно приведенным выше вкладкам, может быть представлен в следующем виде:

$$\text{II} = \frac{u_2 - u_1}{2} = \frac{n}{2} s + \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2}. \quad (4.7)$$

Напомним, что n — производная линейной части компонента уклонения отвеса по направлению s , а именно

$$n = \frac{du_0}{ds}.$$

Линейную часть полного уклонения отвеса в области расположения линии s назовем через U . Пусть направление S линейной части полного уклонения отвеса составляет с направлением s угол Θ . Тогда будем иметь

$$\frac{du_0}{ds} = \frac{dU}{ds} \cos \Theta = \frac{dU}{dS} \cos^2 \Theta.$$

Если обозначить производную от линейной части полного уклонения отвеса по его направлению $\frac{dU}{dS}$ через N , то получим:

$$\frac{n}{2} s = \frac{N}{2} s \cos^2 \Theta.$$

Среднее квадратическое значение члена $\frac{N}{2} s \cos^2 \Theta$ равно

$$\frac{N}{2} s \sqrt{\int_0^{2\pi} \frac{\cos^4 \Theta d\Theta}{2\pi}} = 0,3 N s.$$

Направление полного уклонения отвеса практически можно принимать перпендикулярным линиям изоаномал в районе работ.

Второй член правой части формулы (4.7) имеет порядок m_u , т. е. тот же порядок, что и член I.

Таким образом, на равнине

$$\Pi = \frac{s}{\rho''} \sqrt{(0,3 N'' s)^2 + (0'',12 \delta g)^2},$$

т. е. при $\delta g = \pm 1,08 \sqrt{s}$ будем иметь

$$\Pi = \pm \frac{s}{\rho''} \sqrt{0,09 N^2 s^2 + 0,0169 s}, \quad (4.8)$$

где s и Π выражены в километрах.

Практически первый член под радикалом в (4.8) будет меньше второго; лишь в наиболее аномальных районах (типа Московской аттракции) величина N бывает порядка $0'',4$ на 1 км , и, следовательно, при $s = 10 \text{ км}$ в равнинных районах $\Pi = \pm 6 \text{ см}$.

В горных районах $\frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2}$ в (4.7) не зависит от расстояния и в среднем равна в высокогорных участках $\pm 3'',5$. Величина N в некоторых случаях может достигать до $2''$ на 1 км .

Таким образом

$$\Pi = \pm \frac{s}{\rho''} \sqrt{0,36 s^2 + 3,5^2},$$

т. е. при $s = 10 \text{ км}$ имеем $\Pi \approx \pm 70 \text{ см}$.

Поправка ΔE , согласно (1.4), складывается из нормальной части, которая будет очень мала, и аномальной части, характеризующейся величиной

$$\int_{AB} \frac{g - \gamma}{\gamma} dH.$$

Представим аномалию силы тяжести в свободном воздухе в виде

$$g - \gamma = \Delta g_B + 113 H. \quad (4.9)$$

Здесь первый член правой части — аномалия Буге, второй — редукция Буге, выраженные в миллигалах, H выражено в километрах. Отсюда в метрах получаем

$$\int_{AB} \frac{g - \gamma}{\gamma} dH = \frac{1000}{\gamma} \int_{AB} \Delta g_B dH + 0,05 (H_2^2 - H_1^2). \quad (4.10)$$

Положив $H_2 = 3$ км и $H_1 = 1$ км, увидим, что поправка ΔE за влияние рельефа может достигать 0,5 м. Понятно, что в среднем поправка ΔE будет меньше вследствие изостатической компенсации и по подсчетам, сделанным для пунктов триангуляции на Кавказе, не превышает 30 см. В равнинных условиях аномалии в свободном воздухе $g - \gamma$ редко превышают 50 мгл. Отсюда при $H_2 - H_1 = 200$ м имеем $\Delta E = 1$ см.

Сопоставим полученные величины членов I, II и ΔE при $s = 10$ км (табл. 3).

Таблица 3

	Равнинные районы см	Горные районы см
(I) $\frac{u_1 - u_2}{2} s$	6	70
(II) $\left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m\right) s$	2	28
ΔE	1	30

Отсюда видно, что в горных районах соответствующие члены в 10—30 раз больше, чем в равнинных районах. Особо следует отметить огромное влияние на одностороннее нивелирование непараллельности уровнейных поверхностей поверхности принятого эллипсоида. В некоторых случаях оно превосходит во много раз возможное остаточное влияние рефракции, связанное с неточностью принятого в вычислениях коэффициента рефракции. Поэтому расхождения между прямыми и обратными измерениями зенитных расстояний вдоль линий геодезического нивелирования в горных районах в первую очередь можно объяснить влиянием уклонов отвеса. Это обстоятельство даже послужило основанием для создания методов приближенного вычисления уклонов отвеса по результатам геодезического нивелирования в горных районах.

Наиболее часто употребляется метод двустороннего геодезического нивелирования. Поэтому далее остановимся на вопросе вычисления поправки (4.2)

$$\Delta_u s = \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m\right) s + \Delta E.$$

Эта поправка может быть с большой точностью получена при наличии гравиметрической съемки в районе работ. Для получения первого члена этой поправки может быть использована эллиптическая палетка М. С. Молоденского, применяемая в астрономо-гравиметрическом нивелировании. Методы получения поправки ΔE в результате нивелирования хорошо разработаны В. Ф. Еремеевым*. Для вывода поправки Δu выгодно применять метод косвенной интерполяции аномалий силы тяжести, согласно которому аномалии силы тяжести в каждой точке разделяют на гипсометрическую часть, равную редукции Буге, и остаточную часть— аномалию Буге (4.9). В случае необходимости применяют более строгие методы вычисления члена $\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$, разработанные в ЦНИИГАиК.

* Еремеев В. Ф. Теория ортометрических, динамических и нормальных высот. Труды ЦНИИГАиК. вып. 86, М., Геодезиздат, 1951.

Практически даже учет влияния одного рельефа простейшим методом, изложенным выше, существенно повысит точность геодезического нивелирования.

Ошибка интерполяции аномалий Буге в высокогорных районах при расстояниях порядка 3—20 км складывается из двух частей: одна из них соответствует влиянию колебаний плотностей горных пород в верхних слоях земной коры, вторая соответствует остаточному влиянию рельефа, не учтенному простейшей редукцией Буге. Первая часть, по данным Л. П. Пеллинена*, на Кавказе составляет

$$\delta g_1 = \pm 2 \sqrt{s},$$

где s выражено в километрах, а вторая часть имеет порядок

$$\delta g_2 = \pm 10 \text{ мгал},$$

следовательно

$$\delta g = \sqrt{100 + 4s},$$

т. е. при $s = 10$ км будем иметь $m_u = \pm 1''{,}4$ и $I = \pm 7$ см.

Другие погрешности упрощенного вычисления члена $\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$,

связанные с применением метода решения, данного М. С. Молоденским для плоской Земли, несколько увеличат численное значение m_u . Однако порядок этих погрешностей не будет превышать указанной нами величины $\pm 1''{,}4$ и поэтому примем $I = \pm 10$ см. Учитывать влияние остаточных аномалий очень трудно, так как для этого необходима гравиметрическая съемка, по плотности не уступающая плотности пунктов геодезического нивелирования. В среднем для большого горного района величина I будет, по крайней мере, в два раза меньше указанной величины ± 7 см.

При вычислении поправки ΔE также выгодно разбивать аномалии силы тяжести на гипсометрическую и остаточную часть, что нами и было показано в формуле (4.10). Однако влияние аномалии Буге на величину ΔE может даже превосходить влияние рельефа и с этим нельзя не считаться. Для вычисления величин $(g - \gamma)$ вполне достаточно будет сравнительно редкая гравиметрическая съемка, так как даже при ошибке вывода средней аномалии Буге вдоль линии визирования в 30 мгал ошибка вычисления члена ΔE при $h = 2$ км не будет превышать 6 см; обычно она не больше 3 см.

Таким образом, если использовать предложения, сделанные в этом параграфе, то погрешность геодезического нивелирования, связанная с формой уровенных поверхностей, может быть в горных районах уменьшена более чем в три раза. При длине визирного луча в 10 км она будет составлять ± 6 см и лишь в исключительных случаях может достигать до ± 12 см.

* Пеллинен Л. П. Исследование уклонений отвеса и вывод фигуры квадранта на Кавказе. Труды ЦНИИГАиК, вып. 86, М., Геодезиздат, 1951.

Глава II

РАБОТЫ ЦНИИГАиК ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ НИВЕЛИРОВАНИЮ

§ 5. Задачи и методы исследований

При применении высокоточных инструментов и правильных методов работы влияние ошибок измерений на результаты геодезического нивелирования может быть уменьшено до очень малых величин, и поэтому точность геодезического нивелирования будет зависеть главным образом от полноты учета или исключения влияния земной рефракции.

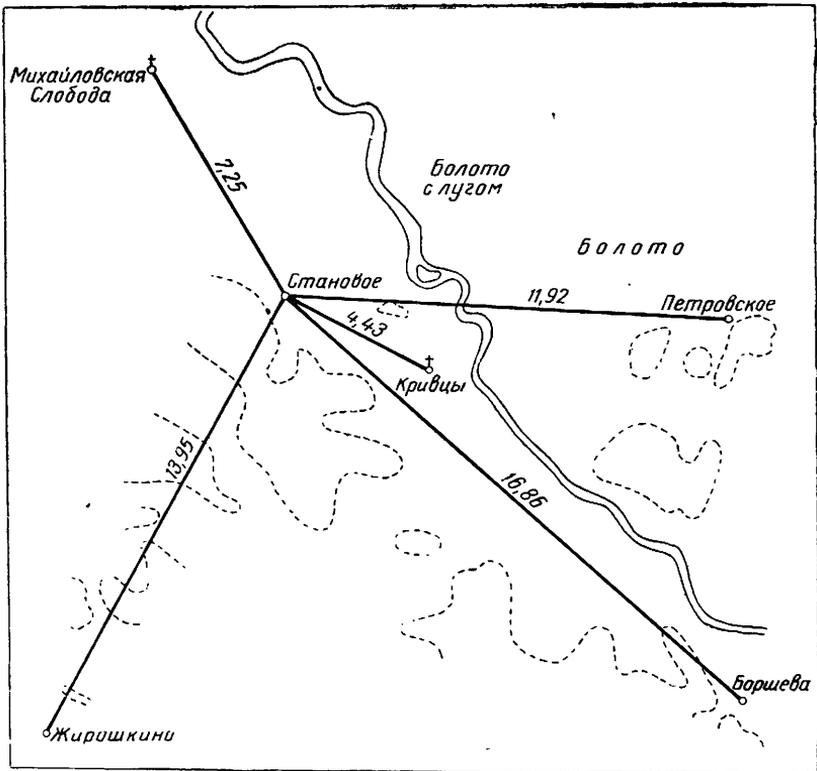


Рис. 6

Исследования ЦНИИГАиК предусматривали изучение характера и закономерностей влияния рефракции на результаты геодезического нивелирования.

лирования в зависимости от времени измерения зенитных расстояний, а также от длины визирного луча и высоты его прохождения над подстилающей поверхностью. Кроме того, имелось в виду выявить зависимость влияния рефракции от профиля местности и характера подстилающей поверхности.

В описываемых исследованиях большое внимание было обращено на изучение зависимости коэффициента земной рефракции от метеорологических условий. С этой целью параллельно с измерением зенитных расстояний измеряли температуру, давление, влажность и т. д. по определенной программе.

Исследования ЦНИИГАиК проводились летом 1951 г. на геодезическом полигоне, расположенном в 40—70 км к юго-востоку от г. Москвы. По физико-географическим условиям территория полигона резко разделялась на две части: возвышенное и залесенное правобережье и равнинное и заболоченное левобережье реки Москвы (рис. 6). Центральный пункт полигона Становос, на котором производились основные наблюдения, располагался в правобережной части на плоской открытой возвышенности, в 3 км от реки Москвы.

На этом пункте был построен сложный деревянный сигнал особой конструкции (рис. 7), приспособленный для одновременных наблюдений на разных высотах*. Так, этот сигнал имел две наблюдательные площадки с инструментальными столиками, которые располагались соответственно на высоте 8,6 и 14,1 м и которые в дальнейшем будем называть площадкой № 2 и площадкой № 3. Кроме того, под сигналом был построен деревянный штатив высотой в 2,4 м с наблюдательной площадкой, которую будем называть площадкой № 1.

Основными наблюдаемыми пунктами являлись Боршева, Жирошкино, Петровское, колокольня в сел. Кривцы и колокольня в сел. Михайловская Слобода. На пунктах Боршева и Петровское были построены по три отдельных знака (простой сигнал, пирамида и штатив на пункте Боршева; две пирамиды и штатив на пункте Петровское), а на пункте Жирошкино два знака (простой сигнал и штатив). Как видно из табл. 4, расстояния до этих пунктов соответствуют длинам сторон сплошных сетей триангуляции I, II и III классов. В дальнейшем будем их условно называть большими расстояниями.

Здесь же дадим некоторые характеристики наблюдаемых направлений и профилей земной поверхности по ним. На приводимых рисунках

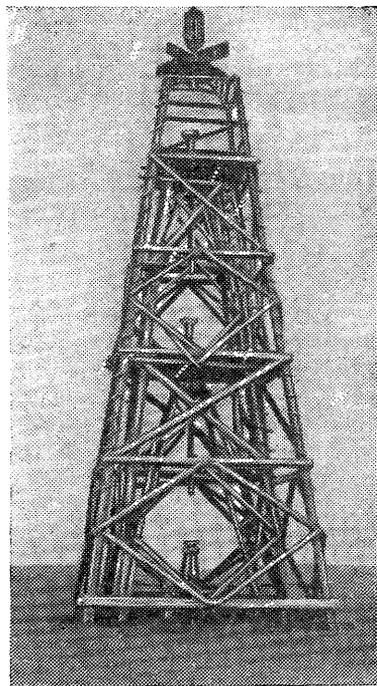


Рис. 7

* Конструкция этого сигнала была разработана кандидатом техн. наук доц. В. И. Фурсовым.

Таблица 4

Название пунктов	Расстояние км	Азимут °	Высота визирной цели, соответствующая площадке		
			№ 1	№ 2	№ 3
Боршева	16,9	134,4	2,5 м	7,5 м	12,6 м
Жирошкино	14,0	209,6	—	2,0	5,5
Петровское	11,9	94,8	1,5	7,6	12,6
Михайловская Слобода	7,2	332,3	Для всех трех площадок 33,5		
Кривцы	4,4	119,9	Для всех трех площадок 12,5		

визирные лучи показаны в виде кривых линий в соответствии с тем, что при построении профилей не была принята во внимание кривизна Земли.

Направление Становое — Боршева (рис. 8) располагалось параллельно течению реки Москвы. Визирный луч проходил в основном над открытой местностью, кроме трех его участков шириной 0,5—1,0 км каждый, которые были покрыты лиственным лесом. При наблюдениях со штатива на пункте Становое на штатив на пункте Боршева визирный луч проходил на высоте 2—4 м над лесом.

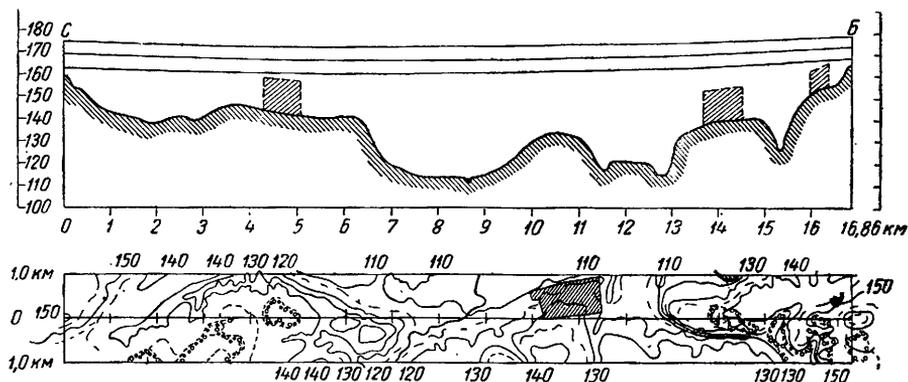


Рис. 8

Направление Становое — Петровское (рис. 9) пересекало долину реки Москвы. На всем протяжении визирный луч проходил над открытой в значительной части заболоченной местностью. Самый нижний визирный луч по этому направлению на протяжении около 1,2 км от пункта Становое проходил на высоте от 1,7 до 4,0 м вдоль южного склона возвышенности.

Направление Становое — Жирошкино (рис. 10) располагалось над лесными массивами. С нижней площадки пункта Становое не было видности на пункт Жирошкино, поэтому наблюдения по данному направлению производились только с двух верхних площадок пункта Становое. При наблюдении с площадки № 2 нижней визирной цели пункта Жирошкино визирный луч проходил на высоте 4—5 м над лесом, начинающимся в 500 м от пункта Становое.

Направления Становое — Михайловская Слобода (рис. 11) и Становое — Кривцы (рис. 12) проходили над открытой местностью. Самый нижний визирный луч по этим направлениям имел высоту не менее 6—8 м над землей, если не считаться с ближайшей окрестностью пункта Становое.

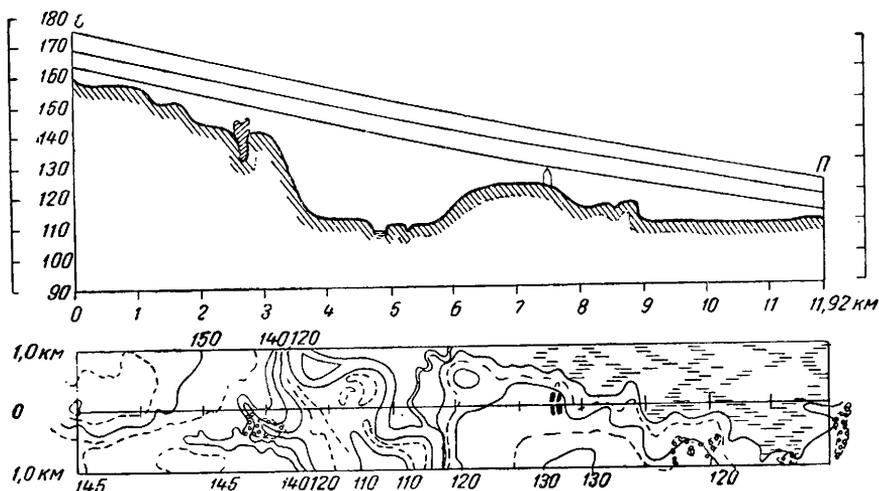


Рис. 9

На пунктах Боршева, Петровское и Жирошкино были установлены электрические фонари типа «Люкас», а также плоские деревянные марки, которые представляли собой доски шириной около 0,2 м и длиной в 2,0 м, прибитые к знаку в горизонтальном положении. Марки окрашивали

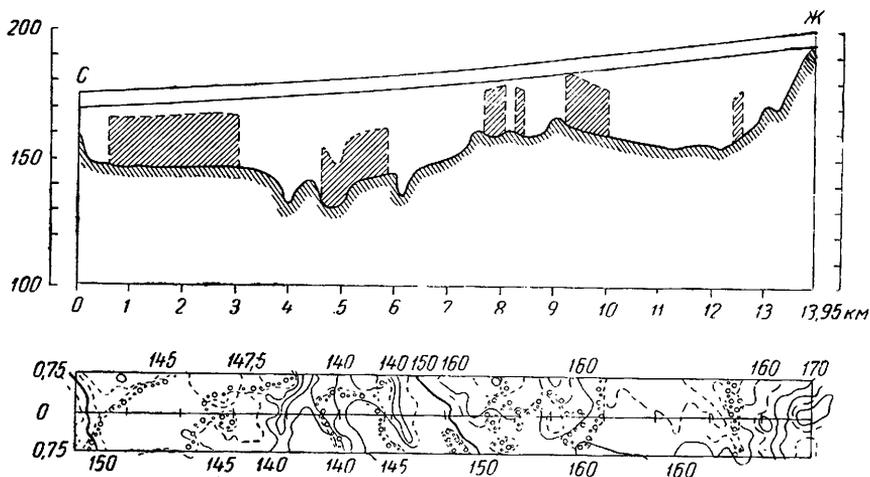


Рис. 10

в белый или черный цвет в зависимости от фона, на который они проектировались при наблюдении с пункта Становое. На рис. 13 показан общий вид пункта Петровское; буквой ϕ обозначено положение фонарей. На пункте Кривцы, на окне колокольни, были установлены только один фонарь и одна плоская марка. На колокольне Михайловская Слобода

также был установлен только один фонарь в круглом окне, которое иногда использовалось в качестве визирной цели (рис. 14).

Под сигналами на пунктах Становое и Боршева и под малой пирамидой на пункте Петровское были заложены бетонные центры III класса, а под остальными знаками на пунктах Боршева и Петровское — временные центры в виде врытого в землю деревянного столба с вбитым

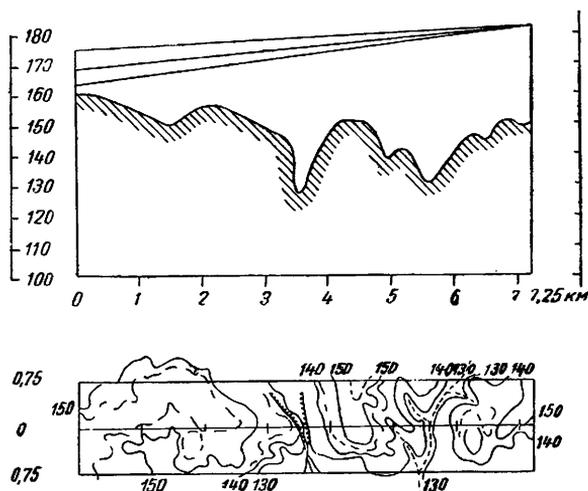


Рис. 11

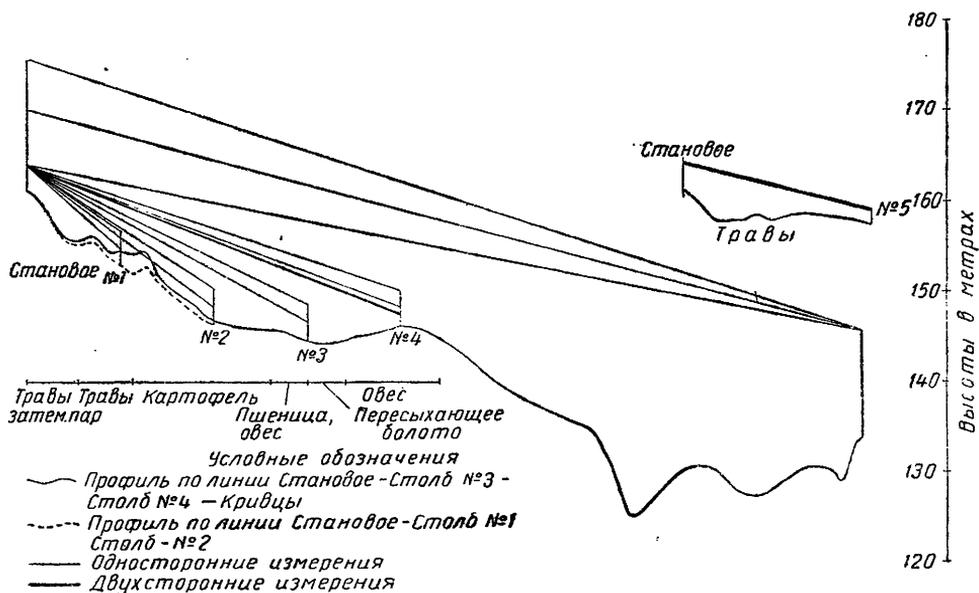


Рис. 12

в него гвоздем. Сигнал на пункте Жирошкино был установлен над центром прежней триангуляции, а под штативом на этом пункте был заложен временный центр.

По всем направлениям, указанным в табл. 4, производилось одностороннее геодезическое нивелирование при трех высотах визирного луча. При измерении зенитных расстояний в зависимости от условий видимости наблюдались фонари или марки. Наблюдения выполняли весь день, а иногда и ночью в течение отдельных периодов, состоявших каждый из нескольких дней.

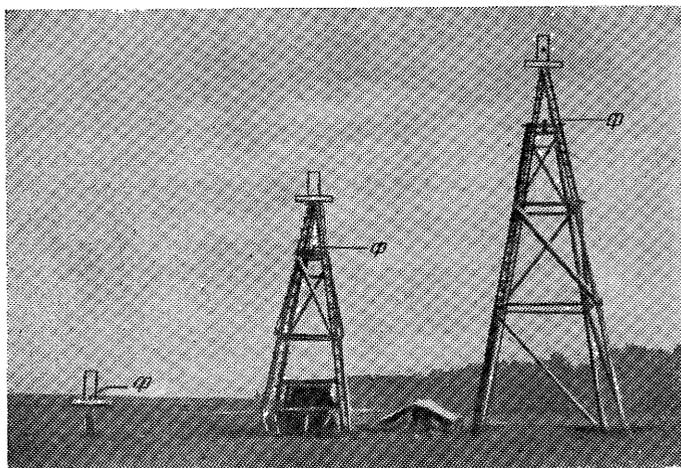


Рис. 13

По линиям Становое — Боршева и Становое — Петровское, кроме указанных измерений, производилось одновременное двустороннее геодезическое нивелирование. При нивелировании по линии Становое — Боршева взаимные зенитные расстояния измерялись в одном случае с площадки № 2 пункта Становое и с сигнала Боршева, а в другом случае — по самому нижнему лучу визирования. При нивелировании по линии Становое — Петровское взаимные зенитные расстояния измерялись по линии визирования, идущей с площадки № 3 пункта Становое на штатив пункта Петровское. При двустороннем геодезическом нивелировании по указанным линиям наблюдались фонари или гелиотропы.

Кроме того, на полигоне были выбраны дополнительные точки, расположенные на расстоянии около 500, 1000, 1500 и 2000 м от пункта Становое. Все эти точки, которые в дальнейшем будут именоваться под номерами 1, 2, 3 и 4, находились приблизительно в створе пункта Кривцы и отклонялись от него не более чем на 3° . Профили земной поверхности по направлениям на дополнительные точки показаны на рис. 12. Дополнительные точки служили для изучения влияния рефракции на точность одностороннего геодезического нивелирования при малых расстояниях между пунктами.

На точках № 1, 2, 3 и 4 были установлены столбы, врытые в землю на глубину 1,5 м и стесанные со стороны пункта Становое. На затесанной стороне каждого столба укреплялись по две визирные марки, расположенные соответственно на 2 и 4 м над землей. Эти марки в дальнейшем будут называться нижней и верхней марками и обозначаться соответственно буквами «н» и «в».

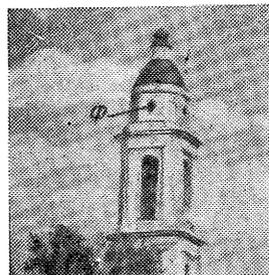


Рис. 14

Размеры в миллиметрах и общий вид марки на точке № 4 показаны на рис. 15. Размеры марок на других пунктах были меньше пропорционально расстоянию их до пункта наблюдения. Измерения зенитных расстояний марок на дополнительных точках производились с площадки № 1, причем горизонтальную нить сетки нитей наводили на середину белой полосы марки. При одностороннем геодезическом нивелировании на малых расстояниях наблюдался также и пункт Кривцы—фонарь или белая полоса марки.

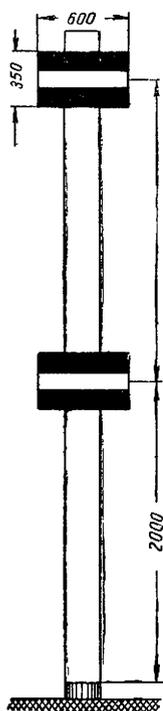


Рис. 15

По линии Становое — точка № 4 производилось и двустороннее геодезическое нивелирование. При этом инструмент на точке № 4 устанавливали на переносном штативе, а на пункте Становое наблюдения производили с площадки № 1, на уровне которой была пририта визирная марка, сходная с маркой точки № 4. Для двустороннего геодезического нивелирования при малых расстояниях была взята еще дополнительная точка № 5, которая находилась на расстоянии около 1000 м от пункта Становое в створе пункта Петровское. На точке № 5 инструмент и визирную марку устанавливали на переносном штативе и измеряли зенитное расстояние марки, укрепленной на уровне площадки № 1 на пункте Становое, с которой производили измерения зенитного расстояния марки точки № 5.

Около сигнала Становое и точки № 4 были заложены трубчатые реперы, врытые в землю на глубину 1,5 м. Возле колоколен Кривцы и Михайловская Слобода реперами служили местные предметы. Все эти реперы, а также центры на пунктах Петровское и Боршева были связаны между собой геометрическим нивелированием, о котором более подробно будет сказано в § 8. Центр на пункте Жирошкино имел отметку из прежнего нивелирования IV класса. Отметки марок на дополнительных точках определялись также из геометрического нивелирования в периоды измерения зенитных расстояний.

§ 6. Инструменты и их исследования. Инструментальные погрешности

В исследованиях ЦНИИГАиК по геодезическому нивелированию для измерения зенитных расстояний применялись большие оптические теодолиты: ТнВ № 69618, ОТБ № 70 и 71.

По данным наших исследований случайная ошибка совмещения штрихов круга у разных использовавшихся нами теодолитов равна $\pm 0,3-0,6$.

Благодаря хорошим качествам зрительной трубы, высокой точности отсчитывания по кругу и применению чувствительного контактного уровня случайные ошибки инструментального происхождения при работе с теодолитами этого типа сравнительно невелики. Принятый нами в полевых работах метод измерений также способствовал уменьшению влияния случайных ошибок. Так например, отсчеты при каждом круге делали дважды при двух независимых установках трубы. При удовлетворительных условиях видимости и достаточном спокойных изображениях наблюдаемых предметов разности пары отсчетов редко выходили за пределы 1".

Нами были изучены систематические инструментальные погрешности. К ним прежде всего относятся: влияние рена оптического микрометра и ошибок делений вертикального круга. У оптических теодолитов это

влияние на данное зенитное расстояние постоянно, так как вертикальный круг у них не переставляется.

При исследовании рена мы обнаружили, что он имеет разные значения для верхнего и нижнего изображений круга в поле зрения отсчетного микроскопа. Расчет показал, что это обстоятельство следует учитывать при отсчете по микрометру, если при совмещении штрихов верхнего и нижнего изображений число десятков минут окажется нечетным. Такой случай изображен на рис. 16. Различные наблюдатели строго совмещают

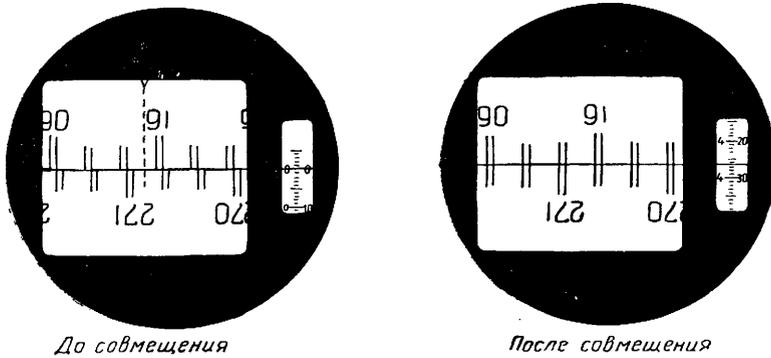


Рис. 16

либо штрихи, находящиеся вправо от индекса (вариант I), либо расположенные влево от него (вариант II), либо устанавливают симметрично один к другому четыре штриха, принадлежащие соседним диаметрам (вариант III). Оказывается, что в первых двух вариантах поправка за рен в отсчет по микрометру имеет вид:

$$\Delta a_{\text{I}} = \frac{a}{10'} r + \Delta r, \tag{6.1}$$

$$\Delta a_{\text{II}} = \frac{a}{10'} r - \Delta r,$$

где r — среднее из ренов для верхнего и нижнего изображений,
 Δr — полуразность ренов для верхнего и нижнего изображений,
 a — отсчет по микрометру.

В третьем варианте поправку Δr следует отбросить. Определение r и Δr нами выполнялось осенью на всех интервалах делений между диаметрами $88^{\circ}40'$ и $271^{\circ}20'$ и дало следующие результаты:

ThB № 69618	ОТБ № 70	ОТБ № 71
$r + 0'',40$	$- 0'',23$	$- 1'',13$
$\Delta r - 0,31$	$+ 0,37$	$+ 1,27$

До выезда в поле величины среднего рена были равны

ThB № 69618	$r = + 0'',82$
ОТБ № 71	$r = - 1,39$
ОТБ № 70	$r = - 0,09$

Поскольку изменения среднего рена за летний сезон у всех указанных теодолитов оказались довольно значительными, а определения его в полевой период не производились, мы не считали возможным вводить поправки за средний рен в результаты измерений вертикальных углов

В дальнейшем величинами среднего рена воспользуемся лишь для оценки порядка погрешностей тех или иных полевых исследований.

Для общей характеристики инструментальных погрешностей использовавшихся оптических теодолитов оценим порядок влияния рена и ошибок делений кругов на измеренные зенитные расстояния. Общая формула вычисления зенитных расстояний имеет вид

$$z = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2}. \quad (6.2)$$

Поправка направления за средний рен всегда имеет один и тот же знак. Поэтому наибольшее влияние этой поправки на зенитное расстояние равно $0,5r$, а средняя квадратическая величина этой поправки равна $\pm 0,29r$. Принимая для использовавшихся инструментов $r = \pm 1''$, получаем, что влияние среднего рена на измеренные зенитные расстояния составляет $\pm 0'',3$.

Поправка за разность ренов верхнего и нижнего изображений штрихов в зенитное расстояние в большинстве случаев равна $\pm \frac{\Delta r}{2}$ и лишь в редких случаях равна 0 или Δr . Эта поправка имеет существенное значение для измерений, выполненных теодолитом ОТБ № 70, для которого она составляет $\pm 0'',6$, а для двух других инструментов она составляет $\pm 0'',2$.

Из исследований рена одновременно получили, что ошибки m' рабочих штрихов имеют порядок $\pm 0'',4$ у теодолита ТнВ № 69618 и $\pm 1'',2$ — у теодолитов ОТБ. Их влияние на измеренное зенитное расстояние равно $\frac{m'}{2}$, т. е. соответственно $\pm 0'',2$ и $\pm 0'',6$. Влияние наиболее крупных ошибок штрихов нами учитывалось путем введения поправок в измерения.

Кроме рена и ошибок делений кругов, источником систематических ошибок инструментального происхождения при измерении зенитных расстояний может быть гнутие трубы и колебания места зенита. Гнутие труб использовавшихся теодолитов мы пытались определить классическим способом при помощи двух коллиматоров. Однако соответствующее влияние не было уловлено, во всяком случае оно меньше $0,4—0'',5$. Колебания места зенита в течение суток замечались нами во время полевых исследований, причем они были особенно велики у теодолита ОТБ № 70 при наблюдении с переносного штатива. Эти колебания находились в определенной, иногда очень простой, зависимости от хода температуры. Пример этой зависимости показан на рис. 17, который представляет график изменений температуры и места зенита теодолита ОТБ № 70 по наблюдениям 14 августа 1951 г. на пункте № 5. Оценим влияние колебаний места зенита Mz на измеряемые зенитные расстояния. Точные зенитные расстояния могут быть выражены формулой

$$z = \text{КЛ} - (Mz)_л = (Mz)_п - \text{КП},$$

в которой через $(Mz)_л$ и $(Mz)_п$ обозначены места зенита, соответствующие кругу лево и кругу право. Отсюда имеем

$$z = \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} - \frac{(Mz)_л - (Mz)_п}{2}. \quad (6.3)$$

Сравнивая (6.2) с (6.3), получаем, что ошибка вычисленного по (6.2) зенитного расстояния, вызванная колебаниями места зенита, равна

$$+ \frac{(Mz)_л - (Mz)_п}{2}.$$

Линейное изменение места зенита во времени не могло заметно повлиять на точность измерений, так как мы чередовали от приема к приему измерения при круге право и круге лево, и в среднем из нескольких приемов указанное влияние исключалось. Не опасны были и случайные колебания места зенита, так как они приводили к ошибкам случайного характера.

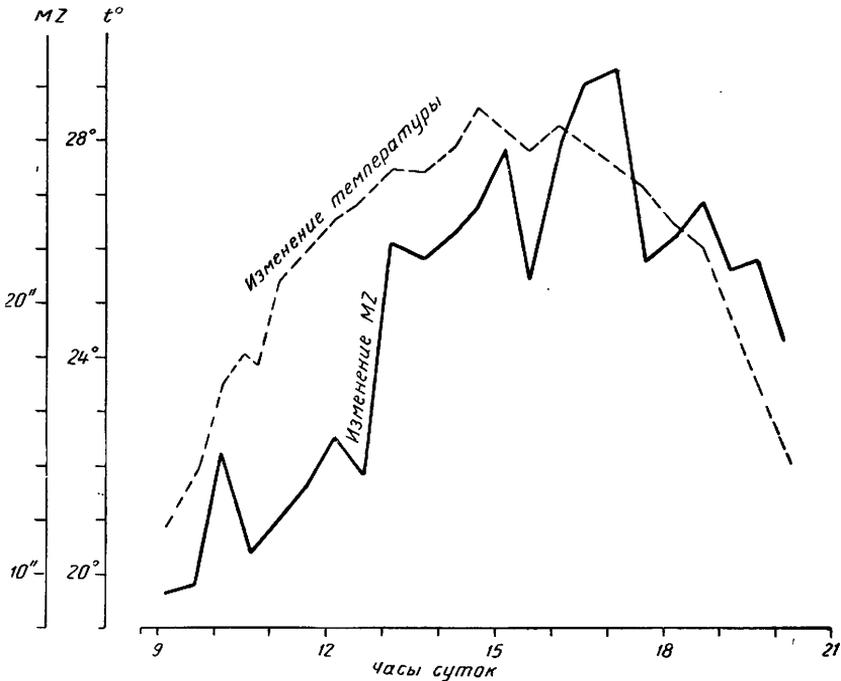


Рис. 17

Таким образом, на основании анализа рассмотренных источников ошибок можно считать, что измеренные зенитные расстояния будут искажены после учета разного рода поправок систематическими ошибками инструментального происхождения порядка $\pm 0''{,}8$.

§ 7. Исследование систематических ошибок визирования

Опыт измерения углов показывает, что наведение биссектора или нити зрительной трубы на предмет сопровождается систематическими ошибками, свойственными каждому наблюдателю и зависящими от условий наблюдения. Поскольку при измерении зенитных расстояний в каждом случае визируем только по одному направлению, то ошибка наведения полностью войдет в измеренное зенитное расстояние; для сопоставления результатов измерений зенитных расстояний различными наблюдателями весьма важно иметь данные о разностях их систематических ошибок визирования.

Чтобы оценить порядок этих ошибок, нами было выполнено описываемое ниже специальное исследование.

На расстоянии 12 м от инструмента была укреплена на стене марка, имеющая Т-образную форму и сходная с марками, использовавшимися во время наших полевых исследований (рис. 18). Два наблюдателя поочередно визировали на горизонтальную планку марки, причем при каждой установке горизонтальной нити отсчеты по микрометру делались обоими наблюдателями. Таким образом, порядок измерений в пределах одного приема был следующий:

I полуприем:

1) Наблюдатель А визирует на цель и отсчитывает по микрометру (отсчет a_A).

2) Наблюдатель Б отсчитывает по микрометру (отсчет a_B).

II полуприем:

3) Наблюдатель Б визирует на цель и отсчитывает по микрометру (отсчет b_B).

4) Наблюдатель А отсчитывает по микрометру (отсчет b_A).

В следующем приеме сначала выполнялся II полуприем, в остальном порядок измерений оставался тем же.

Два наблюдателя выполняли четыре серии измерений, каждая из которых состояла из 10 приемов, причем две серии были выполнены в условиях хорошего освещения цели, а две серии — в условиях плохого освещения, когда нить почти сливалась с изображением марки. При одинаковых условиях освещения горизонтальная нить в одной серии наблюдений устанавливалась по оси симметрии планки (положение I—I на рис. 18), а в другой серии совмещалась с верхним краем планки (положение II—II на рис. 18). Кроме этого, теми же двумя наблюдателями была выполнена серия наблюдений светящейся точки.

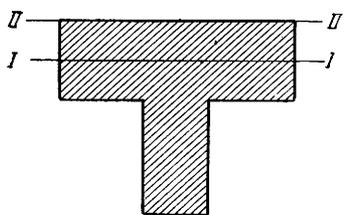


Рис. 18

Описываемое исследование выполнялось теодолитом ОТБ № 70 тремя наблюдателями в трех возможных комбинациях. Таким образом всего было выполнено 15 серий наблюдений.

В основу обработки результатов исследования были положены следующие соображения.

В разности отсчетов ($a_A - a_B$) и ($b_A - b_B$) входит влияние случайных ошибок отсчитывания по шкале микрометра и разность систематических ошибок отсчитывания наблюдателей А и Б. На средних разностях этих отсчетов по серии влияние случайной части отражается значительно меньше и можно полагать, что эти разности характеризуют различие систематических ошибок отсчитывания двух наблюдателей. Таким же образом средние разности отсчетов ($a_A - b_A$) и ($a_B - b_B$) характеризуют различие систематических ошибок визирования наблюдателей А и Б.

Из каждой серии измерений получаем по две характеристики систематических ошибок отсчитывания и систематических ошибок визирования. Расхождение соответственных величин, равное в обоих случаях

$$\delta = \frac{1}{10} \Sigma [(a_A - a_B) - (b_A - b_B)],$$

характеризует влияние случайных ошибок отсчитывания на результаты исследования. Результаты обработки исследований приведены в табл. 5, в которой для краткости введены следующие обозначения:

Δ_0 — разность систематических ошибок отсчитывания двух наблюдателей, причем:

$$\Delta_0 = \frac{\Sigma[(a_A - a_B) + (b_A - b_B)]}{20},$$

Δ — разность систематических ошибок визирования двух наблюдателей

$$\Delta = \frac{\Sigma[(a_A - b_A) + (a_B - b_B)]}{20},$$

m_0 — случайная ошибка отсчитывания, полученная по отклонениям отдельных разностей $a_A - a_B$ и $b_A - b_B$ от средней величины Δ_0 этих разностей,

m — случайная суммарная ошибка отсчитывания и визирования, полученная по отклонениям отдельных разностей $(a_A - b_A)$ и $(a_B - b_B)$ от средней величины Δ этих разностей.

Таблица 5

Обозначения	Середина марки		Край марки		Светящаяся точка
	хорошо освещена	плохо освещена	хорошо освещен	плохо освещен	
	Пеллинен—Лазанов				
Δ_0	+ 0",18	+ 0",94	+ 0",34	± 1",08	+ 1",07
Δ	+ 0",37	+ 2",04	+ 0",02	- 1",28	+ 1",19
δ	+ 0",46	- 0",35	+ 0",17	- 0",27	- 0",22
m_0	± 0",41	± 0",31	± 0",34	± 0",58	± 0",45
m	± 0",74	± 1",05	± 0",93	± 1",31	± 0",98
	Лазанов—Старостина				
Δ_0	- 0",30	+ 0",05	+ 0",10	- 0",18	+ 0",04
Δ	- 0",93	- 1",07	- 0",44	- 0",12	- 0",12
δ	- 0",24	+ 0",44	- 0",48	- 0",07	- 0",33
m_0	± 0",51	± 0",71	± 0",68	± 0",51	± 0",39
m	± 0",78	± 1",10	± 0",59	± 0",66	± 0",76
	Старостина—Пеллинен				
Δ_0	- 0",36	- 0",65	+ 0",05	- 0",16	+ 0",19
Δ	- 0",06	+ 0",23	+ 0",76	+ 0",84	- 0",95
δ	+ 0",49	- 0",28	- 0",13	- 0",17	+ 0",12
m_0	± 0",58	± 0",45	± 0",54	± 0",54	± 0",72
m	± 0",94	± 0",67	± 0",98	± 0",48	± 1",13

По результатам описываемых исследований, которые приведены в табл. 5, можно сделать некоторые выводы о порядке величин случайных и систематических ошибок визирования и отсчитывания.

Среднее значение m_0 по всем рядам измерений равно $\pm 0",53$. Поскольку эта величина характеризует дисперсию разностей отсчетов двух наблюдателей, случайная ошибка отсчитывания равна $\pm \frac{0",53}{\sqrt{2}} = \pm 0",37$.

Величина этой ошибки может быть получена из равенства

$$m_\delta = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{15}} = \frac{m_0}{\sqrt{\frac{10}{2}}},$$

где m_δ — среднее квадратическое значение δ .

По данным табл. 5 имеем

$$m_0 = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{3}} = \pm 0,70$$

и отсюда получаем случайную ошибку отсчитывания, равную

$$\frac{\pm 0,70}{\sqrt{2}} = \pm 0'',49,$$

Среднее значение m по всем рядам измерений равно $\pm 0'',90$. Значит суммарная случайная ошибка визирования и отсчитывания равна $\frac{0'',90}{\sqrt{2}} = \pm 0'',64$. Исключая отсюда случайную ошибку отсчитывания порядка $\pm 0'',4$, получаем случайную ошибку визирования одной нитью в условиях спокойных и отчетливых изображений, равную $\pm 0'',5$.

Разности систематических ошибок отсчитывания двух наблюдателей Δ_0 по данным табл. 5 составляют $\pm 0'',5$. Величины этих ошибок весьма неустойчивы и зависят от личных особенностей наблюдателей, параллакса микроскопа, освещения штрихов и качества их нанесения. Если условия отсчитывания при круге право и круге лево однообразны, то систематические ошибки отсчитывания исключаются при вычислении зенитного расстояния по формуле

$$z = \frac{КЛ - КП}{2}.$$

Разности систематических ошибок визирования двух наблюдателей по данным табл. 5 составляют в среднем

$$\pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{15}} = \pm 0'',88.$$

Эту величину необходимо иметь в виду при сопоставлении результатов измерений зенитных расстояний, выполненных по одному направлению разными наблюдателями. Если полагать, что общая для всех наблюдателей систематическая ошибка визирования меньше, чем разности ошибок визирования двух наблюдателей, то соответствующую ошибку измерения зенитных расстояний можно считать равной

$$\pm \frac{0'',88}{\sqrt{2}} = \pm 0'',63$$

Результаты, приведенные в табл. 5, показывают, что систематические ошибки визирования заметно меняются при изменении условий освещения. Так, по ряду наблюдений Пеллинина — Лазанова при переходе от хорошего освещения к плохому разности этих ошибок изменились на $+1'',67$ и $-1'',30$. В среднем по всем рядам наблюдений марки систематические ошибки визирования при плохом освещении составляют $\pm 1'',13$, т. е. в два раза больше, чем при хорошем освещении, когда они равны $\pm 0'',50$.

В табл. 6 приведены разности систематических ошибок визирования каждой пары наблюдателей. Здесь же приведена полученная из наблюдений сумма разностей систематических ошибок визирования $\Sigma\Delta$ по всем трем парам наблюдателей.

Если бы систематические ошибки визирования были неизменными у каждого наблюдателя при постоянных условиях наблюдений, то величина $\Sigma\Delta$ по всем комбинациям наблюдателей равнялась бы в среднем $\pm m \sqrt{\frac{3}{20}} = \pm 0'',35$, а при совершенно неустойчивых ошибках визи-

Таблица 6

Наблюдаемая цель	Δ Пеллинен— Лазанов	Δ Лазанов— Старостина	Δ Старостина— Пеллинен	$\Sigma\Delta$
Середина марки				
Хорошее освещение	+ 0",37	— 0",93	— 0",06	— 0",62
Плохое	+ 2,04	— 1,07	+ 0,23	+ 1,20
Край марки				
Хорошее освещение	+ 0,02	— 0,44	+ 0,76	+ 0,34
Плохое	— 1,28	— 0,12	+ 0,84	— 0,56
Светящаяся точка	+ 1,19	— 0,12	— 0,95	+ 0,12

вания равнялась бы $\pm 1",13\sqrt{3} = 1",95$ при плохом освещении и $\pm 0",50\sqrt{3} = \pm 0",82$ при хорошем освещении. В действительности величины $\Sigma\Delta$ в среднем составляют $\pm 0",65$, т. е. ошибки визирования оказались при постоянных условиях наблюдений довольно устойчивыми.

Эти выводы относятся к условиям спокойных и отчетливых изображений наблюдаемых предметов. При ухудшенной видимости и сильных колебаниях изображений систематические ошибки визирования могут быть большими, но в то же время резко возрастают и случайные ошибки визирования, которые могут перекрывать систематическую часть.

§ 8. Определение теоретических зенитных расстояний

Теоретические зенитные расстояния вычислялись по следующим упрощенным формулам

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} z_1^\circ &= \frac{H_2 - H_1}{s} - \frac{s}{2R} \rho'', \\ z_2^\circ &= 180^\circ - z_1^\circ + \frac{s}{R} \rho''. \end{aligned} \quad (8.1)$$

Мы пренебрегали полностью погрешностями геодезического нивелирования, связанными с формой уровенных поверхностей земли, и некоторыми малыми членами порядка

$$\rho'' \frac{H}{R} \operatorname{ctg} z \quad \text{и} \quad \rho'' \frac{s}{R} \operatorname{ctg}^2 z,$$

которые составляют в условиях наших исследований менее $0",1$. Таким образом, погрешности вычисления теоретического зенитного расстояния для случая одностороннего и двустороннего геодезического нивелирования могут быть выражены соответственно формулами:

$$\begin{aligned} m_z^2 &= \rho''^2 \left[\frac{m_h^2}{s^2} + \operatorname{ctg}^2 z \left(\frac{m_s}{s} \right)^2 + (\Delta u)^2 \right], \\ m_z^2 &= \rho''^2 \left[\frac{m_h^2}{s^2} + \operatorname{ctg}^2 z \left(\frac{m_s}{s} \right)^2 + (\Delta u)^2 \right], \end{aligned} \quad (8.2)$$

в которых:

$$\Delta u' = \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) + \left(\frac{u_1 - u_2}{2} \right) + \frac{\Delta E}{s}, \quad (8.3)$$

$$\Delta u = \left(\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m \right) + \frac{\Delta E}{s}. \quad (8.4)$$

Как уже указывалось, необходимые для вычисления теоретических зенитных расстояний «точные» отметки пунктов Становое, Михайловская Слобода, Кривцы, Петровское и Боршева были определены нами из геометрического нивелирования, которое опиралось на имевшийся в этом районе репер II класса. Это нивелирование было выполнено в 1951 г. инженером Л. А. Романовым при помощи нивелира с самоустанавливающейся линией визирования НС-2, причем случайная ошибка на один километр, выведенная по разностям прямых и обратных ходов на отдельных секциях нивелирования, оказалась равной $\pm 2,6$ мм. Поэтому разности отметок репера Становое и реперов Кривцы и Михайловская Слобода и центров на пунктах Боршева и Петровское были получены соответственно с ошибкой $\pm 6,8$, 11 и 14 мм. Центр пункта Жирошкино имел отметку из прежнего нивелирования IV класса. Дополнительно была выполнена связь репера на пункте Становое с репером IV класса Софьино, имевшим непосредственную связь с пунктом Жирошкино из прежнего нивелирования. Переданная нами на репер Софьино отметка отличалась от прежней отметки на 2 см. Учитывая возможную ошибку нивелирования IV класса (10 мм на 1 км) по линии Софьино — Жирошкино длиной 25 км, принимаем ошибку определения разности отметки центра Жирошкино и репера Становое равной ± 50 мм.

Отметки нижних марок на столбах № 1, 2, 3, 4 и временного репера на точке № 5 были определены из многократного геометрического нивелирования между репером Становое и репером, установленным возле точки № 4. Ошибка определения отметки наиболее удаленной марки была меньше 3 мм. Расстояние между нижними и верхними марками столбов было измерено стальной рулеткой с ошибкой менее 0,5 мм.

Отметки горизонтальных осей инструментов, марок, зеркал гелиотропов и ламп фонарей, установленных на сигналах, пирамидах и колокольнях, определялись или путем непосредственного измерения их высоты над точками, отметки которых были известны, или пространственной засечкой с ближайших точек геометрического нивелирования. Во всех случаях ошибки этих дополнительных измерений были меньше 5 мм.

Взаимное положение пунктов Становое, Михайловская Слобода, Жирошкино, Боршева и Петровское было определено методом триангуляции. Относительная ошибка определения расстояний между этими пунктами была меньше 1 : 20 000. Расстояния же от пункта Становое до точек № 1, 2, 3, 4 и Кривцы были определены путем засечки с концов 96-метрового базиса, измеренного инварной проволокой с ошибкой менее 1 мм. Один из концов базиса был совмещен с центром столика штатива на пункте Становое, а на другом его конце был установлен переносный штатив для оптического теодолита. Линия базиса была перпендикулярна линии Становое—Кривцы. На концах базиса измерялись горизонтальные углы между линией базиса и всеми направлениями на определяемые пункты. Измерение углов производилось четырьмя круговыми приемами с перестановкой круга, причем средняя квадратическая ошибка угла получилась равной $\pm 1''{,}8$.

Для определения расстояний от пункта Становое до пунктов № 4 и Кривцы горизонтальные углы измерялись как на концах базиса, так и

Таблица 7

Линия нивелирований	s м	h м	z_1^0	$\rho'' \frac{m_h}{s}$	$\rho'' \operatorname{ctg} z \frac{m_s}{s}$
Становое — Кривцы					
Площадка № 1 — фонарь	4 438,9	-18,600	90°15'36".1	±0",40	0",34
Площадка № 2 — фонарь		-24,736	20 21 ,0		0 ,46
Площадка № 3 — фонарь		-30,289	24 39 ,2		0 ,56
Становое — Михайловская Слобода					
Площадка № 1 — фонарь	7 253,5	+22,561	89 51 15 ,6	0 ,30	0 ,03
Площадка № 2 — фонарь		+16,425	54 10 ,1		0 ,02
Площадка № 3 — фонарь		+10,872	56 48 ,0		0 ,01
Становое — Петровское					
Площадка № 1 — штатив (фонарь)	11 919,2	-51,610	90 18 05 ,6	0,26	0 ,04
Площадка № 2 — малая пирамида (фонарь) . .	11 917,8	-51,627	18 06 ,0		
Площадка № 3 — большая пирамида (фонарь) . .	11 916,5	-52,151	18 15 ,1		
Становое — Жирошкино					
Площадка № 2 — штатив (фонарь)	14 038,8	+25,77	89 57 28 ,1	0 ,8	0 ,02
Площадка № 3 — сигнал (фонарь)	13 950,9	+25,08	57 34 ,5		
Становое — Боршева					
Площадка № 1 — штатив (фонарь)	16 881,3	+5,127	90 3 30 ,0	0 ,15	0 ,03
Площадка № 2 — пирамида (фонарь)	16 872,6	+4,003	3 43 ,6		
Площадка № 3 — сигнал (фонарь)	16 863,7	+3,478	3 49 ,8		
Становое — точка № 1					
Верхняя марка	504,95	-7,121	90 48 36 ,8	1 ,0	0 ,19
Нижняя марка		-8,920	91 0 51 ,3		0 ,25
Становое — точка № 2					
Верхняя марка	1005,06	-13,487	90 46 23 ,9	0 ,6	0 ,36
Нижняя марка		-15,488	53 14 ,5		0 ,41
Становое — точка № 3					
Верхняя марка	1503,64	-15,336	35 28 ,1	0 ,7	0 ,41
Нижняя марка		-17,334	40 02 ,2		0 ,46
Становое — точка № 4					
Верхняя марка	1995,14	-13,751	24 13 ,8	0 ,35	0 ,26
Нижняя марка		-15,732	27 38 ,7		0 ,29

на самих этих пунктах. Невязки треугольников в этом случае оказались равными соответственно $+4''{,}3$ и $+0''{,}9$.

Расстояние между пунктами Становое и № 5 было измерено непосредственно стальной лентой с относительной ошибкой около $1 : 3000$.

Привязка марок, установленных на сигнале Становое и на точке № 5, и вертикальных осей теодолитов, установленных на точках № 4 и № 5, при двустороннем геодезическом нивелировании производилась методом линейных засечек с достаточно высокой точностью.

В табл. 7 приведена сводка расстояний, разностей высот и зенитных расстояний всех пунктов, наблюдавшихся с пункта Становое при одностороннем геодезическом нивелировании. Здесь же приведены и полученные по описанным данным расчетные погрешности теоретических зенитных расстояний при одностороннем нивелировании за счет ошибок геометрического нивелирования и ошибок расстояний от пункта Становое до остальных пунктов полигона. Отметим, что расстояния и высоты даны относительно инструментов на пункте Становое.

Для оценки влияния членов Δu и $\Delta u'$ в формулах (8.2) вдоль линий геодезического нивелирования было произведено сгущение гравиметрических пунктов, причем величины силы тяжести определялись кварцевыми гравиметрами типа Норгард с ошибкой не более 1 мгл . Плотность гравиметрической съемки была доведена до одного пункта на 75 кв. км , а в пределах радиуса в 8 км вокруг пунктов Становое и Борщева густота гравиметрических пунктов была доведена до одного пункта на 36 кв. км .

Результаты гравиметрической съемки показали, что район наших исследований по аномальности является типичным для равнинных районов СССР, поэтому для расчетов можно принять

$$\delta g = 1,08 \sqrt{s}.$$

Аномалии силы тяжести не превышали 30 мгл , а высоты по всем линиям нивелирования колебались в пределах 50 м . В этих условиях член ΔE оказался меньше $1,5 \text{ мм}$, т. е. мог быть отброшен.

Исходя из изложенных выше соображений, были получены ожидаемые значения величин Δu и $\Delta u'$, которые приведены в табл. 8.

Таблица 8

Линия нивелирования	Δu	$\Delta u'$
Расстояние до 2 км	Меньше $0''{,}25$	
Становое—Кривцы	—	$\pm 0''{,}4$
Становое—Михайловская Слобода	—	$\pm 0''{,}5$
Становое—Петровское	$\pm 0''{,}45$	$\pm 0''{,}6$
Становое—Жироскино	—	$\pm 0''{,}8$
Становое—Борщева	$\pm 0''{,}5$	$\pm 0''{,}75$

Из сопоставления таблиц 7 и 8 видно, что величины Δu и $\Delta u'$ могли повлиять на точность вывода теоретических зенитных расстояний на направлениях Становое — Михайловская Слобода, Становое — Петровское, Становое — Жироскино и Становое — Борщева. На более коротких линиях основное значение имела точность определения расстояний и на самых коротких линиях — точность геометрического нивелирования и высотных привязок.

§ 9. Метеорологические наблюдения

В течение всего периода полевых исследований на пункте Становое производились круглосуточные метеорологические наблюдения. Через каждые 2 часа, а именно в 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 и 23 часа, измеряли температуру, давление, влажность, силу ветра, а также регистрировали облачность, видимость и непрерывно вели дневник погоды. Кроме этих регулярных наблюдений на пункте Становое, при двустороннем геодезическом нивелировании иногда проводили дополнительные измерения температур на разной высоте над почвой на обоих концах соответствующей линии нивелирования.

Температуру при всех метеорологических наблюдениях измеряли по психрометрическим термометрам с ценой деления в $0^{\circ},2$, защищенным от непосредственной солнечной радиации специальными защитками. На пункте Становое термометры с их защитками подвешивали на кронштейнах, укрепленных вдоль одной из ног внешней пирамиды сигнала на высоте 1, 2, 3, 5, 7 и 14 м над почвой. Влажность отсчитывали по психрометрическому термометру, находившемуся в обычной метеорологической будке, которая была установлена на переходном мостике между лестницами на уровне площадки № 2. Давление отсчитывали по барометру-анероиду, находившемуся в жилом помещении в 100 м от сигнала Становое. Силу ветра, облачность и видимость оценивали ориентировочно путем визуальных наблюдений.

Исходным материалом при статистической обработке температурных исследований являлись разности температуры на различных высотах относительно температуры на высоте 1 м над почвой. На рис. 19 представлены графики изменения указанных разностей температуры с высотой в различное время суток, полученные в среднем по всем измерениям в июне, июле и августе.

При построении графиков на рис. 19 по оси ординат откладывались логарифмы высот соответствующих термометров. Как видно, в первом приближении изменения температуры с высотой хорошо представляются прямыми линиями, т. е. изменение температуры с высотой происходит по логарифмическому закону.

Полученный результат хорошо согласуется с теоретическими положениями, изложенными в § 2 и § 3, где было показано, что общий закон изменения градиентов температуры с высотой выражается формулой

$$\frac{dT}{dh} = a - \frac{Q}{Ac_p},$$

в которой a — нормальный градиент температуры, равный для адиабатической атмосферы — $0,0098$ град/м, а для стандартной атмосферы — $0,0065$ град/м.

Поток тепла Q по вертикали можно считать постоянным, а коэффициент обмена A можно выразить формулой

$$A = A_0 h^b,$$

где b — параметр, зависящий от характера турбулентности атмосферы и близкий к — 1. Таким образом, вертикальный градиент температуры можно выразить формулой

$$\frac{dT}{dh} = a + ch^b, \quad (9.1)$$

в которой h — высота, выраженная в метрах, c — аномальная часть вертикального градиента температуры на высоте 1 м над почвой.

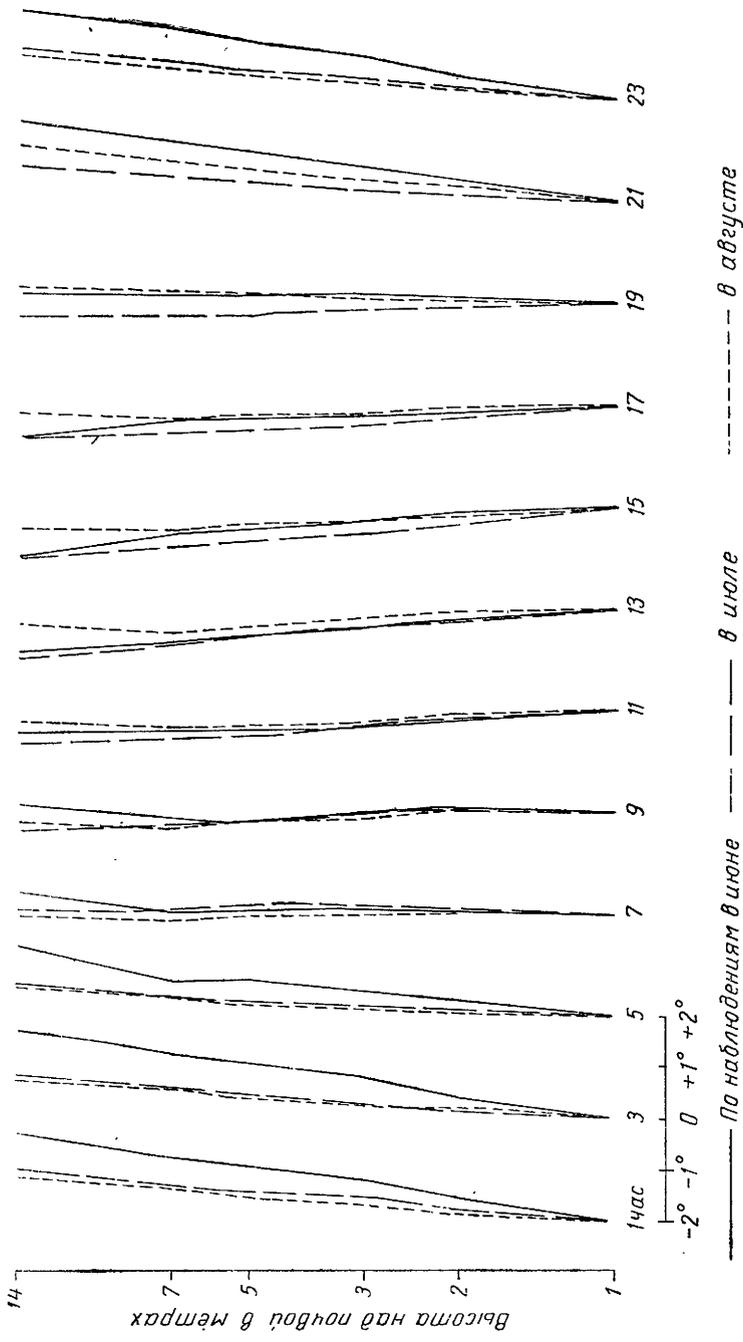


Рис. 19

Отклонение от логарифмического закона в изменении коэффициента обмена с высотой было трудно выявить по нашим сравнительно грубым измерениям температуры в пределах небольшой разности высот от 1 до 14 м. Поэтому при проверке формулы (9.1) по данным измерений мы приняли $b = -1$.

Для того, чтобы определить коэффициент c , сначала из результатов измерений температуры исключалась ее нормальная часть, равная ah , и затем этот коэффициент вычислялся из уравнения вида

$$\Delta T = c \ln h,$$

которое представляет уравнение прямой и характеризует зависимость температуры от логарифма высоты. Уравнения прямых подбирались под условием минимума суммы квадратов остаточных уклонений разностей температуры ΔT на данных высотах относительно температуры на высоте 1 м над почвой.

Вычисленные таким образом аномальные вертикальные градиенты температуры c на высоте 1 м, которые получены в предположении об адиабатическом строении атмосферы, т. е. при $a = 0,0098$ град/м, приведены в табл. 9, причем они выражены в градусах на метр.

Таблица 9

Месяц	Время суток час											
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
Июнь	+0,64	+0,64	+0,49	+0,13	0,00	-0,18	-0,34	-0,37	-0,20	+0,07	+0,61	+0,70
Июль	+0,44	+0,37	+0,27	+0,01	-0,18	-0,27	-0,42	-0,42	-0,25	-0,11	+0,32	+0,47
Август	+0,36	+0,32	+0,24	-0,05	-0,12	-0,12	-0,15	-0,18	-0,10	+0,16	+0,47	+0,39

Жирной линией в табл. 9 выделены часы, когда наблюдались отрицательные градиенты температуры. Наиболее позднее разрушение ночной инверсии температуры происходило в июне. По метеорологическим

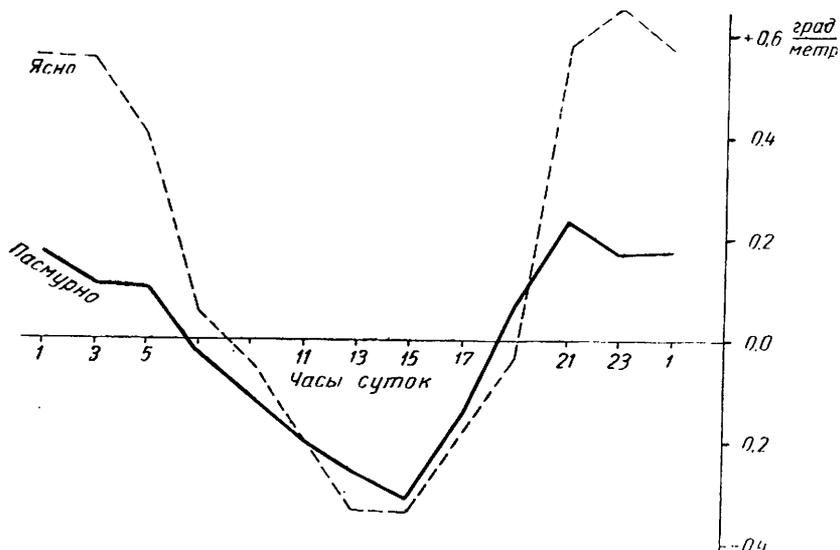


Рис. 20

наблюдениям в июне влажность почвы была более высокой, чем в июле и августе; ночью обильно выпадала роса, а в утренние часы систематически наблюдались густые туманы, державшиеся иногда до 9 час утра. В вечерние же часы инверсия устанавливалась в июне раньше, чем в июле. Наблюдавшаяся картина находится в соответствии с данными § 3 о связи раннего наступления и позднего разрушения ночной инверсии температуры с повышенной влажностью. В дальнейшем увидим, что очерченная в табл. 9 граница дневного и ночного распределения температуры в общем хорошо выделяет часы, пригодные для геодезического нивелирования.

На рис. 20 приведены графики изменения градиентов температуры на высоте 1 м над почвой в среднем по всем наблюдениям в июне, июле и августе отдельно в ясную и пасмурную погоду. Пасмурными считались такие дни, когда облачность превышала 70%. Из графика видно, что в ночные часы влияние облачности в несколько раз уменьшает градиенты температуры. Однако в дневные часы градиенты температуры, наблюдавшиеся в пасмурную погоду, лишь на 10—20% меньше, чем в ясные дни. Следует ожидать поэтому, что влияние рефракции на зенитные расстояния более устойчиво в дневные часы. Подробные выводы из метеорологических наблюдений по вопросам о характере и закономерностях влияния рефракции на зенитные расстояния будут изложены в следующих параграфах при рассмотрении результатов геодезического нивелирования.

§ 10. Геодезическое нивелирование на больших расстояниях

Описываемые исследования состоят из двух разделов, а именно из односторонних измерений зенитных расстояний по нескольким направлениям и из двусторонних измерений зенитных расстояний по отдельным линиям. По первому разделу исследований мы приводим полностью результаты всех отдельных измерений зенитных расстояний, сводки которых даны в виде приложений к данной работе. По второму разделу исследований оказалось достаточным привести только сводки средних значений зенитных расстояний по сериям, состоящим из 4—8 приемов, которые выполнялись в течение 20—30 мин. В этом случае колебания отдельных приемов измерения зенитных расстояний в каждой серии характеризовали не столько изменение влияния рефракции с течением времени, сколько действие других источников погрешностей. Поэтому средние значения зенитных расстояний по сериям измерений более пригодны для суждения о влиянии рефракции, чем результаты отдельных приемов их измерения. В сводках результатов измерения зенитных расстояний приводятся также характеристики условий погоды и качества изображений наблюдаемых предметов на основании тех записей, которые делались в журналах наблюдений.

Для характеристики метеорологических условий приняты следующие обозначения:

○ — ясно, т. е. земная поверхность вдоль линий нивелирования во время наблюдений освещена солнцем,

⊕ — пасмурно, т. е. земная поверхность вдоль линий нивелирования во время наблюдений находится в тени,

⊖ — переменные условия освещения,

тх — тихо,

лв — легкий ветер (скорость до 2 м/сек),

в — ветер (скорость 2—4 м/сек),

св — сильный ветер (скорость свыше 4 м/сек),

д — дождь.

Качество изображения наблюдаемых предметов в трубе оценивалось по пятибалльной системе, а именно:

5 — спокойные и отчетливые,

4 — слегка колеблющиеся, слегка расплывчатые,

3 — колеблющиеся и расплывчатые,

2 — сильно колеблющиеся, расплывчатые или сильно расплывчатые, колеблющиеся,

1 — сильно колеблющиеся, сильно расплывчатые.

Переходное состояние изображений оценивалось промежуточными баллами: 1,5; 2,5; 3,5; 4,5.

По каждой части исследований в особом приложении приводится сводка результатов регулярных метеорологических наблюдений, проводившихся в период исследований. В этих сводках даются давление, влажность, температура воздуха на высоте 3 м над почвой, аномальный вертикальный градиент температуры на высоте 1 м над почвой, а также приводятся сведения об облачности, силе ветра и осадках.

Аномальный вертикальный градиент температуры на высоте 1 м вычисляли по показаниям термометров, расположенных на различных высотах над почвой; при этом исходили из предположения что закон изменения градиентов температуры с высотой выражается формулой

$$\frac{dT}{dh} = a + \frac{c}{h}.$$

В сводках метеорологических наблюдений приводятся аномальные вертикальные градиенты температуры c на высоте 1 м, полученные в предположении об адиабатическом строении атмосферы, т. е. при нормальном вертикальном градиенте температуры $a = 0,0098$ град/м. Аномальные вертикальные градиенты температуры c на высоте 1 м в предположении о стандартном строении атмосферы, т. е. при $a = 0,0065$ град/м, получались больше на 0,02.

Далее приводятся описания выполненных нами отдельных исследований и их основные материалы, выводы из которых будут сделаны позднее.

А. Одностороннее геодезическое нивелирование

Нами прежде всего изучалась зависимость влияния рефракции от высоты визирного луча над земной поверхностью. С этой целью измерения зенитных расстояний выполнялись одновременно на всех трех площадках сигнала Становое отдельными сериями через каждые 1—3 часа. По очереди измерялись полными приемами зенитные расстояния по всем направлениям, по которым имелась видимость. В одну серию обычно включалось по два (редко три) приема измерений зенитных расстояний по каждому из наблюдаемых направлений. Измерения зенитных расстояний со всех трех площадок на пункте Становое производились в течение трех отдельных периодов: 1) 13—16 июня, 2) 31 июля — 1 августа и 3) 12—15 сентября 1951 г. В течение первого и третьего периодов наблюдения выполнялись по возможности круглые сутки, а во второй период — только в дневное время. Полная сводка всех измеренных зенитных расстояний приведена в приложениях I, II и III.

Согласно произведенному расчету для всех зенитных расстояний, кроме двух, суммарное влияние ошибок штрихов и разности ренов верхнего и нижнего изображений равнялось $\pm 0,2—0'',3$. В двух случаях для зенитных расстояний, измеренных на площадке № 1 по направлениям Становое — Кривцы и Становое — Петровское, поправка за ука-

занное влияние составляла $-1'',03 \pm 0'',3$ и была введена в результаты измерений. После этого суммарное влияние инструментальных ошибок могло быть принято равным для всех инструментов $\pm 0'',7$.

Учитывая ошибки вычисления теоретических зенитных расстояний (по данным табл. 7 и 8) и систематические ошибки визирования ($\pm 0'',6$), получаем, что величины систематических ошибок нерелракционного происхождения, которые и характеризуют достоверность выводов о влиянии рефракции по большим рядам наблюдений, бывают порядка $\pm 1,1-1'',4$.

При сопоставлении результатов измерений на разных площадках можно не считаться с ошибками вычисления теоретических зенитных расстояний и во всех случаях характеризовать достоверность вывода среднего влияния рефракции по большим рядам измерений ошибкой $\sqrt{0'',7^2 + 0'',6^2} = \pm 0'',9$. Случайные ошибки измерения зенитных расстояний были очень велики в ночное время, ранним утром и поздним вечером, когда они отражали быстро меняющееся влияние рефракции. В дневное время между 9 и 17 часами те же ошибки были значительно меньше. Мы оценили их величины для этого времени по разностям соседних приемов, входящих в одну серию. Соответствующие величины, названные μ_z , приведены для всех направлений и площадок в табл. 10.

Таблица 10

Направление	s км	№ пло- щадок	μ_z
Кривцы	4,44	1	$\pm 1'',7$
		2	3,4
		3	3,3
Михайловская Слобода	7,25	1	1,6
		2	3,9
		3	3,5
Петровское	11,92	1	3,9
		2	2,4
		3	3,2
Жирошкино	13,95	2	3,9
		3	2,8
Боршева	16,86	1	1,9
		2	4,2
		3	2,8

Для удобства пользования материалом в табл. 11 приведены коэффициенты рефракции, вычисленные в среднем по сериям измерений, причем указанные выше инструментальные поправки по направлениям Становое — Петровское и Становое — Кривцы уже учтены. Направления в табл. 11 обозначены начальными буквами названий наблюдаемых пунктов. Время наблюдений приведено среднее для данной серии измерений по всем трем площадкам.

Б. Двустороннее геодезическое нивелирование

Для того чтобы полнее изучить влияние рефракции на точность двустороннего геодезического нивелирования, нами были выполнены

одновременные измерения взаимных зенитных расстояний по линиям Становое — Боршева и Становое — Петровское.

Наблюдения на концах этих линий начинались одновременно через каждые 1—2 часа и выполнялись непрерывными сериями, которые включали, как правило, по восемь приемов измерения взаимных зенитных расстояний. В неблагоприятных внешних условиях (плохая видимость, сильный ветер и т. д.), когда продолжительность одного приема измерений сильно увеличивалась, отдельные серии наблюдений ограничивались 4—6 приемами измерений. Для уменьшения ошибок визирования при измерении зенитных расстояний в качестве визирных целей использовались фонари или гелиотропы. Только в нескольких сериях дневных измерений в переменную облачность использовались марки. Средние моменты наблюдений в соответственных сериях измерений прямого и обратного зенитных расстояний отличались обычно не более чем на 8—10 мин. На обоих концах линии нивелирования измерялась температура на различных высотах.

Линия Становое — Боршева

Двустороннее геодезическое нивелирование по данной линии производилось в течение трех отдельных периодов времени, а именно: 1) с 26.VI по 30.VI, 2) с 17.VII по 20.VII и 3) с 6.IX по 8.IX. В течение первого и второго, а частично и третьего периода наблюдения производились с площадки № 2 сигнала Становое (основной наблюдатель Л. П. Пеллинен, инструмент № 69618) и со столика сигнала Боршева (основной наблюдатель П. Е. Лазанов, инструмент № 71). В течение же третьего периода наблюдения в основном выполнялись с площадки № 1 на пункте Становое и с переносного штатива, установленного под пирамидой Боршева. Визирные цели во всех случаях находились приблизительно на высоте инструментов.

Сводка результатов геодезического нивелирования дана в табл. 12. В графах 5 и 10 этой таблицы приведены средние значения зенитных расстояний по каждой серии измерений, отнесенные к линии, соединяющей центры вертикальных кругов обоих инструментов.

При вычислении поправок измеренных зенитных расстояний за влияние рефракции δz_1 и δz_2 были приняты следующие значения теоретических зенитных расстояний: в случае наблюдений с площадки № 2 сигнала Становое и со столика сигнала Боршева:

$$z_1^\circ = 90^\circ 02' 38'',8 \quad z_2^\circ = 90^\circ 06' 26'',0$$

а в случае наблюдений с площадки № 1 пункта Становое и со штатива на пункте Боршева

$$z_1^\circ = 90^\circ 03' 38'',8 \quad z_2^\circ = 90^\circ 05' 26'',0$$

Через δh обозначена разность превышений, определенных из геометрического и двустороннего геодезического нивелирования.

Соответствующие расчеты показали, что влияния разности рефов и ошибок делений кругов на взаимные зенитные расстояния, измеренные на пунктах Становое и Боршева, будут меньше $0'',2$. Поэтому поправки за указанные инструментальные ошибки в результаты измерений не вводились. Суммарное влияние всех систематических ошибок нерелакционного происхождения на величины δz_1 и δz_2 может быть, по приведенным выше данным, принято равным $\pm 1'',1$. Тогда влияние систематических ошибок нерелакционного происхождения на величину δh будет равно.

$$\frac{\delta z}{\sqrt{2}} \cdot \frac{s}{r''} = \pm 0,06 \text{ м.}$$

Дата наблюдения	Время наблюдений час мин	Площадка № 1					Площадка № 2					Площадка № 3					
		К	МС	П	Б	К	МС	П	Ж	Б	К	МС	П	Ж	П	Ж	Б
13. VI	19 40	+0,32	+0,21	—	+0,21	+0,19	+0,18	+0,23	+0,15	+0,20	+0,20	+0,13	+0,26	+0,20	+0,20	+0,20	+0,19
	23 00	—	+0,36	+0,54	—	+0,29	+0,30	+0,31	+0,18	+0,24	+0,27	+0,30	+0,26	+0,25	+0,27	+0,25	+0,27
	1 40	+0,47	—	—	+0,34	+0,39	+0,28	+0,46	+0,21	—	+0,38	+0,26	+0,37	+0,28	+0,25	+0,28	+0,29
	9 40	+0,02	+0,03	—	+0,12	+0,04	+0,01	—	+0,07	+0,12	+0,03	+0,09	—	+0,08	+0,05	+0,08	+0,08
	13 00	+0,04	+0,01	—	—	+0,09	+0,02	+0,06	+0,07	+0,14	+0,03	+0,06	+0,07	+0,09	+0,09	+0,09	+0,11
	16 00	+0,11	+0,02	+0,15	+0,11	+0,04	+0,02	+0,09	+0,05	+0,13	0,00	+0,08	+0,07	+0,10	+0,10	+0,10	+0,11
	18 30	+0,38	+0,32	+0,43	+0,27	+0,18	+0,23	+0,24	+0,20	+0,18	+0,13	+0,20	+0,24	+0,22	+0,22	+0,22	+0,19
	21 30	+0,30	+0,29	+0,37	+0,26	+0,21	+0,32	+0,25	+0,27	+0,27	+0,23	+0,26	+0,28	+0,31	+0,31	+0,31	+0,28
	23 20	+0,35	+0,40	+0,45	—	+0,15	+0,38	+0,30	+0,31	+0,31	+0,32	+0,30	+0,33	+0,32	+0,32	+0,32	—
	12 40	—	—	—	—	+0,02	—	—	—	—	+0,01	—	—	—	—	—	—
15. VI	16 20	+0,04	+0,05	+0,15	—	+0,06	+0,02	+0,11	+0,08	—	+0,09	+0,12	+0,10	+0,09	+0,12	+0,09	—
	18 00	+0,49	+0,08	+0,12	—	+0,06	+0,07	+0,10	+0,08	+0,11	+0,12	+0,09	+0,12	+0,12	+0,09	+0,12	+0,10
	18 00	+0,42	+0,28	+0,49	+0,24	+0,29	+0,27	+0,37	+0,29	+0,24	+0,17	+0,20	+0,24	+0,21	+0,21	+0,18	+0,18
	20 20	+0,48	+0,33	+0,64	+0,30	+0,55	+0,36	+0,50	+0,36	—	+0,17	+0,21	+0,32	+0,27	+0,27	+0,21	+0,21
	22 20	+1,19	+0,59	+0,94	—	+0,68	+0,42	+0,55	+0,47	—	+0,50	+0,26	+0,41	+0,38	+0,31	+0,31	+0,29
	0 20	+1,48	+0,75	—	+0,58	+0,86	+0,31	+0,64	+0,60	+0,34	+0,47	+0,28	+0,44	+0,39	+0,39	+0,29	+0,29
	4 00	+1,16	+0,91	—	—	+0,94	+0,77	—	+0,92	+0,74	+0,88	+0,61	—	+0,89	+0,89	+0,62	+0,62
	16 00	+0,04	+0,02	+0,18	+0,13	+0,07	+0,04	+0,04	+0,09	+0,12	+0,07	+0,05	+0,09	+0,11	+0,11	+0,11	+0,11
	18 00	+0,43	+0,08	+0,03	+0,14	+0,04	+0,08	+0,14	+0,10	+0,14	+0,06	+0,05	+0,15	+0,13	+0,13	+0,13	+0,12
	31. VII	5 20	+1,30	+0,98	—	—	+1,27	+0,72	—	—	—	+1,26	+0,42	—	—	—	—
9 20		0,00	+0,05	—	—	+0,03	+0,06	—	—	—	+0,15	+0,14	—	—	—	—	—
10 40		+0,01	+0,07	—	—	+0,07	+0,07	—	—	—	+0,09	+0,15	—	—	—	—	—
11 50		+0,03	—	—	—	+0,02	—	—	—	—	+0,13	—	—	—	—	—	—
13 20		+0,10	+0,11	+0,02	—	+0,08	+0,10	+0,10	+0,12	—	+0,12	+0,14	+0,13	—	—	—	—
15 00		+0,15	+0,12	+0,03	—	+0,17	+0,10	+0,16	+0,12	—	+0,15	+0,11	+0,18	+0,16	+0,16	+0,16	+0,19
16 30		+0,14	+0,15	+0,08	+0,21	+0,09	+0,13	+0,17	+0,12	+0,21	+0,25	+0,17	+0,23	+0,23	+0,23	+0,25	+0,25
17 50		+0,13	+0,16	+0,03	+0,16	+0,15	+0,13	—	—	+0,15	+0,18	+0,17	—	—	+0,24	+0,14	+0,14
5 40		+0,31	+0,25	—	—	+0,28	+0,24	+0,23	—	+0,20	+0,25	+0,23	+0,16	+0,16	+0,28	+0,21	+0,21
7 20		+0,15	+0,13	—	—	+0,14	+0,16	—	+0,16	—	+0,18	+0,14	—	—	+0,16	+0,16	+0,21
1. VIII	9 00	+0,10	+0,10	—	—	+0,14	+0,13	—	—	+0,21	+0,12	+0,14	—	+0,14	+0,14	—	—
	10 30	+0,06	+0,07	—	—	+0,12	+0,09	+0,08	+0,06	+0,12	+0,08	+0,14	+0,10	+0,15	+0,15	+0,13	+0,13
	11 50	+0,01	+0,02	+0,23	+0,12	+0,01	+0,08	+0,05	+0,05	+0,11	+0,04	+0,15	+0,06	+0,11	+0,11	+0,11	+0,11
	13 20	+0,03	+0,05	+0,17	+0,11	+0,07	+0,06	+0,05	+0,06	+0,12	+0,11	+0,14	+0,08	+0,12	+0,12	+0,12	+0,12

Дата наблюдения	Время наблюдений час мин	Площадка № 1					Площадка № 2					Площадка № 3				
		К	МС	П	Б	Ж	К	МС	П	Ж	Б	К	МС	П	Ж	Б
12. IX 13. IX	14 50	-0,06	0,00	-0,30	+0,12	-0,03	+0,07	-0,01	+0,07	+0,10	+0,08	+0,14	+0,05	+0,10	+0,10	+0,10
	16 20	0,00	+0,04	-0,20	-0,11	-0,03	+0,09	+0,04	+0,06	+0,10	+0,06	-0,13	+0,08	+0,10	+0,10	+0,13
	18 00	+0,07	-0,11	-0,01	-0,16	+0,06	+0,10	+0,13	-0,09	-0,13	-0,07	+0,11	-0,13	+0,14	+0,14	+0,14
	19 20	+0,18	+0,23	+0,17	+0,23	+0,13	+0,21	+0,25	+0,14	+0,18	+0,25	-0,17	+0,26	+0,19	+0,18	+0,18
	20 20	+0,31	-0,27	+0,27	-0,27	+0,27	+0,24	+0,28	+0,15	+0,24	+0,24	+0,24	+0,30	+0,19	+0,22	+0,22
12. IX 13. IX	22 40	+0,39	+0,43	—	+0,47	+0,32	—	—	+0,39	+0,47	+0,42	+0,45	—	+0,51	+0,51	+0,51
	0 30	+0,32	+0,29	—	-0,29	+0,29	—	—	+0,25	+0,28	+0,25	+0,24	—	+0,32	+0,31	+0,31
	2 20	+0,30	+0,30	—	+0,28	+0,19	—	—	+0,25	+0,24	+0,26	+0,24	—	+0,30	+0,27	+0,27
	10 30	-0,01	+0,03	—	+0,11	+0,14	+0,08	—	+0,10	+0,07	+0,11	+0,13	—	+0,10	+0,12	+0,12
	12 30	-0,04	+0,02	—	+0,08	+0,08	-0,07	—	+0,05	+0,09	+0,08	-0,08	—	+0,11	+0,12	+0,12
	14 30	-0,02	+0,01	-0,10	+0,11	-0,04	+0,06	+0,08	-0,10	+0,09	-0,06	+0,15	+0,07	+0,09	+0,11	+0,11
	16 30	+0,10	+0,10	+0,07	-0,13	+0,06	-0,09	+0,09	-0,09	-0,13	-0,12	-0,11	+0,12	-0,16	+0,14	+0,14
	18 30	+0,50	+0,45	+0,78	-0,26	+0,33	-0,35	+0,40	+0,34	+0,25	+0,26	+0,31	+0,34	-0,34	+0,24	+0,24
	20 30	-0,95	-0,82	—	-0,66	-0,75	-0,69	—	-0,72	—	-0,77	-0,62	+0,78	-0,80	+0,59	+0,59
	22 30	-0,76	-0,74	—	-0,70	-0,59	-0,89	—	-0,59	+0,71	-0,60	+0,64	—	-0,68	+0,75	+0,75
14. IX	0 30	-0,65	+0,73	—	+0,56	+0,57	+0,65	—	+0,56	+0,55	+0,62	+0,67	—	-0,60	+0,66	+0,66
	2 30	-0,62	+0,68	—	—	+0,44	+0,73	—	-0,37	—	+0,54	+0,67	—	-0,51	—	—
	4 30	+0,87	+0,90	—	—	-0,83	-0,98	—	-0,67	—	-0,84	-0,90	—	-0,87	—	—
	12 30	+0,02	+0,02	—	—	-0,02	+0,07	—	+0,05	—	+0,09	+0,11	+0,08	+0,13	+0,13	+0,13
15. IX	14 30	+0,05	-0,07	-0,02	+0,14	+0,05	+0,05	+0,01	+0,08	+0,12	+0,08	+0,12	+0,09	+0,12	+0,10	+0,10
	16 30	+0,09	+0,11	+0,09	+0,14	+0,05	-0,11	+0,09	-0,11	+0,13	+0,12	-0,14	+0,14	+0,15	+0,14	+0,14
	18 30	-0,49	-0,46	+0,74	-0,36	-0,34	-0,24	+0,36	-0,37	+0,27	+0,30	+0,19	+0,35	-0,34	+0,24	+0,24
	20 30	-2,10	-0,47	+1,34	+0,78	+1,18	-0,22	—	+0,79	+0,37	+1,10	-0,19	-0,37	+0,59	+0,31	+0,31
	22 30	-2,24	-0,70	—	-0,69	+1,21	-0,55	—	+0,75	+0,41	-0,76	+0,32	+0,53	-0,63	+0,37	+0,37
	5 50	+1,03	+0,96	—	+0,75	+0,70	+0,90	—	—	+0,72	+0,67	+0,83	—	—	+0,63	+0,63
	8 50	—	+0,35	—	—	—	+0,40	—	—	—	—	-0,41	—	—	—	—
10 20	—	-0,04	—	—	-0,03	-0,08	—	—	—	+0,04	-0,11	—	—	—	—	
12 00	-0,08	+0,01	—	—	-0,04	+0,05	—	—	—	+0,09	+0,14	—	—	+0,13	+0,13	
14 20	+0,01	+0,03	—	—	-0,01	-0,08	—	—	—	0,00	-0,10	+0,08	—	—	—	
16 20	+0,10	-0,12	+0,07	+0,14	+0,02	-0,13	+0,07	+0,08	+0,08	+0,11	+0,15	+0,12	+0,12	+0,13	+0,13	

Таблица 12

Дата наблюдения	Время наблю-дения час. мин.	Становое — Боршева					Боршева — Становое					δh
		Условия погоды	качество набране- ния	z_1	δz_1	k_1	Условия погоды	качество набране- ния	z_2	δz_2	k_2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26. VI	19 44	⊙	5	89°59'	+	Первый период	⊙	2,5	90°03'	+	0,229	+0,55
	21 20	⊙	4	169°9	+	48,9	⊙	1	143°5	+	0,410	+0,22
	23 23	⊙	2	112 8	+	106,0	⊙	2	94 4	+	0,490	+0,03
	1 26	⊙	3	84 9	+	133,9	⊙	2	72 6	+	0,441	+0,56
	3 19	⊙	3	112 7	+	106,1	⊙	1,5	85 9	+	0,427	+0,78
	12 24	⊙	2	121 6	+	97,2	⊙	3	89 7	+	0,101	+0,40
	14 20	⊙	1	201 5	+	17,3	⊙	3	178 6	+	0,104	+0,22
	16 20	⊙	2	196 1	+	22,7	⊙	3,5	177 6	+	0,114	+0,20
	18 16	⊙	5	192 9	+	25,9	⊙	4	174 9	+	0,132	+0,11
	20 21	⊙	4,5	185 7	+	33,1	⊙	—	170 0	+	—	—
28. VI	22 22	⊙	3,5	141 2	+	77,6	⊙	3	73 5	+	0,486	+0,31
	0 22	⊙	3,5	94 3	+	124,5	⊙	3	44 1	+	0,594	+0,37
	7 22	⊙	2,5	66 2	+	152,6	⊙	4	165 0	+	0,151	+0,21
	9 15	⊙	4	183 2	+	35,6	⊙	3,5	173 7	+	0,119	+0,19
	11 15	⊙	3	191 2	+	27,6	⊙	4	177 8	+	0,103	+0,10
	13 26	⊙	2,5	193 4	+	25,4	⊙	3	175 8	+	0,111	+0,21
	15 28	⊙	2,5	194 0	+	24,8	⊙	5	—	+	—	—
	17 25	⊙	3	186 9	+	31,9	⊙	3	168 1	+	0,139	+0,15
	19 26	⊙	4,5	184 9	+	38,9	⊙	3,5	147 2	+	0,216	+0,43
	21 24	⊙	3	170 9	+	47,9	⊙	3,5	86 4	+	0,439	+0,23
29. VI	23 20	⊙	3	93 8	+	125,0	⊙	3,5	43 7	+	0,596	+2,14
	8 24	⊙	3	109 1	+	109,7	⊙	4	172 2	+	0,124	+0,20
	10 19	⊙	3	190 1	+	28,7	⊙	4	176 6	+	0,108	+0,21
	12 24	⊙	2	194 9	+	23,9	⊙	4	174 9	+	0,114	+0,25
	14 22	⊙	3	194 1	+	24,7	⊙	3	175 8	+	0,111	+0,04
	16 20	⊙	3	189 7	+	29,1	⊙	5	166 9	+	0,143	+0,28
	18 18	⊙	4,5	187 0	+	31,8	⊙	5	153 0	+	0,195	+0,27
	20 09	⊙	3	172 6	+	46,2	⊙	3,5	116 4	+	0,329	+0,11
	20 09	⊙	3	132 1	+	86,7	⊙	3,5	89 6	+	0,329	+0,11

Дата наблюдения	Становое — Боршева					Боршева — Становое					δh	
	Время наблюдения час. мин.	условия потопля	качество изображе-	z_1	δz_1	k_1	условия потопля	качество изображе-	z_2	δz_2		k_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30. VI	22 16	○ лб	2	79,5	+139,3	0,511	○ лб	2	62,9	+143,1	0,525	+0,15
	0 18	○ тх	3	114,0	+104,8	0,385	○ лб	5	121,3	+84,7	0,311	-0,83
	2 22	○ тх	4	61,4	+157,4	0,578	○ тх	5	18,0	+188,0	0,690	+1,24
	4 24	○ тх	4	43,8	+175,0	0,642	○ тх	—	—	—	—	—
	6 20	○ тх	2	95,3	+123,5	0,453	○ тх	2	55,6	+150,4	0,552	+1,09
	13 22	○ св	3	191,5	+27,3	0,100	○ св	2	178,6	+27,4	0,101	0,00
15 18	○ св	5	187,4	+31,4	0,115	○ св	4	175,6	+30,4	0,112	0,112	-0,04
17. VII	Второй период											
	90°00'											
	7 17	○ лб	4	122°,3	+36,5	0,134	○ лб	4	107°,1	+38,9	0,143	+0,35
	9 02	○ тх	3	128,8	+30,0	0,110	○ лб	3	119,9	+26,1	0,096	0,00
	10 18	○ в	3	132,7	+26,1	0,096	○ лб	2	119,9	+26,1	0,096	+0,20
	11 50	○ св	3	137,7	+21,1	0,077	○ св	2	109,4	+36,6	0,134	+0,14
	13 24	○ св	3	125,7	+33,1	0,122	○ св	3,5	92,0	+54,0	0,198	+0,55
	14 51	○ тх	3	118,4	+40,4	0,148	○ тх	4	—	—	—	—
	16 19	○ св	4,5	125,0	+33,8	0,124	○ лб	—	—	—	—	—
	18 04	○ лб	3	74,1	+84,7	0,311	○ тх	2	90,8	+55,2	0,203	-1,20
	19 20	○ тх	2	47,1	+111,7	0,410	○ тх	2	53,1	+92,9	0,341	-0,77
	20 20	○ тх	3	31,5	+127,3	0,467	○ тх	2	41,5	+104,5	0,384	-0,92
18. VII	5 01	○ лб	4,5	107,8	+51,0	0,187	○ тх	5	107,6	+38,4	0,141	+0,03
	5 54	○ лб	4	121,4	+37,4	0,137	○ тх	4	108,5	+37,5	0,138	0,00
	7 30	○ лб	3	121,4	+37,4	0,137	○ тх	4	114,8	+31,2	0,115	-0,07
	8 51	○ в	3	126,2	+32,6	0,120	○ тх	3	113,4	+32,6	0,120	+0,19
	10 21	○ лб	2	130,9	+27,9	0,103	○ лб	1	113,4	+31,2	0,115	+0,07
	11 58	○ лб	3	129,4	+29,4	0,108	○ лб	3	114,8	+31,2	0,115	+0,05
	13 16	○ лб	3	130,6	+28,2	0,104	○ в	3,5	116,4	+29,6	0,109	+0,15
	15 01	○ лб	4	133,6	+25,2	0,093	○ в	3,5	116,8	+29,2	0,107	+0,01
	16 16	○ лб	4,5	130,2	+28,6	0,105	○ лб	3,5	116,8	+29,2	0,107	+0,01
	17 46	○ в	4,5	124,1	+34,7	0,127	○ лб	4	108,2	+37,8	0,139	+0,12

Дата наблюдения	Становое — Боршева					Боршева — Становое					δh		
	Время наблюдения час. мин.	Условия видения	качество изобра- жения	z_1	δz_1	k_1	Условия полюса	качество изображе- ния	z_2	δz_2		k_2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
19. VII	19 17	○ лб	5	110,4	+48,7	0,178	○ мх	4	99,3	+46,7	0,171	-0,09	
	20 11	○ мх	5	79,5	+79,3	0,291	○ мх	3	76,5	-69,5	0,255	-0,41	
	5 05	○ лб	3	95,0	+63,8	0,234	○ мх	5	63,9	+82,1	0,301	+0,74	
	5 44	○ лб	3	102,7	+56,1	0,206	○ мх	5	86,0	+60,0	0,220	+0,15	
	7 21	○ лб	4,5	117,4	+41,4	0,152	—	—	—	—	—	—	
	8 50	○ мх	3	129,2	+29,6	0,109	○ мх	3,5	117,8	+28,2	0,103	-0,07	
	10 18	○ лб	2	130,0	+28,8	0,106	○ лб	2	118,8	-27,2	0,100	-0,07	
	11 44	○ лб	2	133,8	+25,0	0,092	○ лб	2	121,5	-24,5	0,090	-0,03	
	13 19	○ лб	3	130,4	+28,4	0,104	○ лб	3	112,4	+33,6	0,123	+0,20	
	14 46	○ лб	3	128,9	+29,9	0,110	○ лб	3	114,1	-31,9	0,117	+0,08	
	16 20	○ лб	4	131,4	+27,4	0,101	○ лб	3,5	115,2	-30,8	0,113	+0,13	
	17 48	○ лб	5	127,6	+31,2	0,115	○ лб	3,5	112,7	-33,3	0,122	+0,07	
19 16	○ лб	5	120,5	+38,3	0,141	○ лб	4,5	104,3	-41,7	0,153	+0,13		
20 16	○ лб	5	112,6	+46,2	0,170	○ лб	5	103,2	-42,8	0,157	-0,14		
20. VII	7 24	○ лб	3,5	127,2	+31,6	0,116	○ лб	5	113,3	-32,7	0,120	+0,04	
	8 48	○ лб	3	125,5	+33,3	0,122	○ лб	4	112,7	-33,3	0,122	-0,01	
	10 29	○ лб	3	132,7	+26,1	0,096	○ лб	3,5	117,4	+28,5	0,105	+0,09	
	11 58	○ лб	3	129,0	+29,8	0,109	○ лб	2	117,1	-28,9	0,106	-0,04	
	13 18	○ лб	3	132,0	+26,8	0,099	○ лб	2	115,1	-30,9	0,113	+0,15	
	14 58	○ лб	3	132,4	+26,4	0,097	○ лб	2	119,7	-26,3	0,097	-0,01	
	16 23	○ лб	3	129,1	+29,7	0,109	○ лб	2	116,7	-29,3	0,108	-0,02	
	17 50	○ лб	5	126,2	+32,6	0,120	○ лб	5	108,2	-37,8	0,139	+0,21	
	19 15	○ лб	5	112,7	+46,1	0,169	○ лб	5	105,4	-40,6	0,149	-0,23	
	20 12	○ лб	4	99,2	+59,6	0,219	○ лб	3,5	92,4	-53,6	0,197	-0,25	
	6. IX	Третий период (инструменты на штативах)											
		10 23	○ лб	3	90°01'	+30,0	0,110	○ лб	3	90°03'	+31,5	0,116	+0,07
11 18		○ лб	3	128° 8 133 8	+25,0	0,092	○ лб	—	—	—	—	—	

Дата наблюдения	Время наблюдения час. мин.	Становое — Боршева						Боршева — Становое						δh
		условия	качество изображения	z_1	δz_1	k_1	условия	качество изображения	z_2	δz_2	k_2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
7. IX	6 26	—	—	—	—	—	⊙ <i>св</i>	3,5	93,7	+ 52,3	0,192	—		
	10 30	⊙ <i>в</i>	3	135,3	+ 23,5	—	—	—	—	—	—	—		
	12 26	⊙ <i>в</i>	3	136,6	+ 22,2	0,086	⊙ <i>св</i>	3	118,0	+ 28,0	0,103	+ 0,25		
	13 26	⊙ <i>в</i>	3	132,8	+ 26,0	0,095	—	—	—	—	—	—		
	14 21	⊙ <i>в</i>	2	126,0	+ 32,8	0,120	⊙ <i>в</i>	3	118,3	+ 27,7	0,102	- 0,20		
	15 23	⊙ <i>лв</i>	3	131,0	+ 27,8	0,102	⊙ <i>лв</i>	3	112,4	+ 33,6	0,124	+ 0,25		
	16 14	⊙ <i>лв</i>	3	129,0	+ 29,8	0,109	⊙ <i>в</i>	3	112,9	+ 33,1	0,122	+ 0,14		
	17 11	⊙ <i>лв</i>	5	118,1	+ 40,7	0,149	⊙ <i>лв</i>	4,5	107,1	+ 38,9	0,143	- 0,07		
	18 08	⊙ <i>мх</i>	3,5	76,8	+ 82,0	0,301	⊙ <i>лв</i>	3,5	58,3	+ 87,7	0,322	+ 0,23		
	19 13	⊕ <i>мх</i>	2	33,4	+ 125,4	0,460	⊙ <i>мх</i>	2	09,7	+ 136,3	0,501	+ 0,46		
	8 18	—	—	—	—	—	⊕ <i>мх</i>	4	112,9	+ 33,1	0,122	—		
	9 21	⊙ <i>мх</i>	1	129,8	+ 29,0	0,106	⊙ <i>мх</i>	1	117,2	+ 28,8	0,106	0,00		
	10 20	⊙ <i>лв</i>	3	132,1	+ 26,7	0,098	⊕ <i>лв</i>	2	124,9	+ 21,1	0,078	- 0,22		
11 16	⊕ <i>лв</i>	3	126,2	+ 32,6	0,119	⊕ <i>лв</i>	1	109,2	+ 36,8	0,136	+ 0,18			
12 20	⊕ <i>лв</i>	3	130,9	+ 27,9	0,102	⊕ <i>лв</i>	4	107,7	+ 38,3	0,141	+ 0,44			
13 10	⊕ <i>лв</i>	3	127,8	+ 31,0	0,114	⊕ <i>лв</i>	3	106,6	+ 39,4	0,145	+ 0,35			
Третий период (инструменты на сигналах)														
8. IX	14 16	⊕ <i>лв</i>	4	90°01'	+ 33,8	0,124	⊕ <i>лв</i>	4	90°05'	+ 37,0	0,136	+ 0,13		
	15 22	⊙ <i>лв</i>	3	65°, 1	+ 31,6	0,116	⊙ <i>лв</i>	3	49°, 0	+ 33,0	0,121	+ 0,06		
	16 18	⊕ <i>лв</i>	4,5	67, 2	+ 37,3	0,137	⊕ <i>лв</i>	3,5	53, 0	+ 32,5	0,119	- 0,20		
	17 14	⊕ <i>мх</i>	4	61, 5	+ 46,2	0,170	⊕ <i>лв</i>	4,5	53, 5	+ 42,4	0,156	- 0,16		
	17 52	⊕ <i>мх</i>	3	52, 6	+ 49,8	0,183	⊕ <i>лв</i>	4	43, 6	+ 54,0	0,198	+ 0,17		

По отклонениям отдельных приемов измерения зенитных расстояний от их средних значений по каждой их серии вывели суммарное влияние случайных ошибок визирования. Оказалось, что в дневное время от 8 до 18 час эта суммарная ошибка μ_z довольно устойчива; средние ее значения по отдельным периодам измерений приведены в табл. 13.

Таблица 13

Из наблюдений на пункте	период	II период	III период	По всему материалу
Становое	$\pm 2",4$	$\pm 3",0$	$\pm 2",0$	$\pm 2",6$
Боршева	2 ,3	3 ,6	4 ,2	3 ,6

В одной серии наблюдений в среднем выполнялось по 7,5 приемов измерения зенитного расстояния. Поэтому суммарное влияние случайных ошибок на выведенное по каждой серии измерений среднее значение зенитного расстояния равно $\pm 0",9$ на пункте Становое и $\pm 1",3$ — на пункте Боршева. Соответствующая ошибка превышения, полученного из двустороннего геодезического нивелирования, равна $\pm 0,065$ м.

В ночное время суммарная случайная ошибка измерения зенитного расстояния одним приемом была значительно больше и в ряде случаев достигала ± 13 — $26"$. Такие значительные колебания зенитных расстояний объяснялись исключительно влиянием рефракции. Медленные смещения изображений фонарей в поле зрения трубы иногда замечались даже на глаз.

Линия Становое — Петровское

Наблюдения по этой линии выполнялись попеременно различными наблюдателями с 15 по 18 августа с площадки № 3 сигнала Становое (до 11 часов 16.VIII, инструментом ThB № 69618 и далее ОТБ № 70) и с переносного штатива, установленного под малой пирамидой на пункте Петровское (инструментом ОТБ № 71). Визирные цели так же, как и в других исследованиях, находились приблизительно на высоте инструментов. Программа наблюдений была совершенно аналогична программе двустороннего геодезического нивелирования по линии Становое — Боршева.

В табл. 14 приведена сводка результатов геодезического нивелирования после приведения их к линии, соединяющей центры вертикальных кругов обоих инструментов. При вычислении поправок измеренных зенитных расстояний за рефракцию учитывались также суммарные поправки за разность ренов верхнего и нижнего изображений штрихов и за ошибки штрихов круга, приведенные в графе «инструментальная поправка». Теоретические зенитные расстояния были приняты равными: для наблюдений с сигнала Становое

$$z_1^\circ = 90^\circ 21' 25",8$$

и для наблюдений со штатива Петровское

$$z_2^\circ = 89^\circ 44' 59",3$$

Расчетное суммарное влияние систематических ошибок нерефракционного происхождения по ранее приведенным данным равно

$$\begin{array}{l} \text{на величины } \delta z_1 \text{ и } \delta z_2 \dots \pm 1",1, \\ \text{„ „ } \delta h \dots \pm 0,045 \text{ м.} \end{array}$$

Время наблюдения час. мин.	Становое — Петровское					Петровское — Становое							
	условия погоды	качество наблюдения	z ₁	инстру- менталь- ная по- правка	δz ₁	k ₁	условия погоды	качество наблюдения	z ₂	инстру- менталь- ная по- правка	δz ₂	k ₂	δh
17 26	○ сс	3,5	90°19'	+0",3	+45",9	0,238	○ сс	3	89°43'	-0",3	+52,4	0,273	+0,19
18 13	○ в	3	84,8	0,0	+61,0	0,316	○ лс	3,5	67",2	-0,2	+71,9	0,374	+0,32
19 14	○ в	3	42,9	+0,3	+102,6	0,533	○ лс	1	02,1	-0,3	+117,5	0,612	+0,44
5 42	○ сс	2	60,5	+0,3	+85,0	0,442	○ в	1	36,9	-0,3	+82,7	0,430	-0,07
6 12	○ сс	2	81,0	+0,3	+64,5	0,334	○ лс	1	54,4	-0,2	+66,1	0,344	+0,06
7 18	○ сс	3	114,6	0,0	+31,2	0,162	○ в	4	85,0	-0,3	+34,6	0,180	+0,10
8 13	○ в	3	121,9	+0,3	+23,6	0,123	○ в	4	91,1	-0,2	+28,4	0,148	+0,14
9 13	⊕ в	4	124,9	0,0	+20,9	0,108	○ в	4	101,6	-0,3	+18,0	0,094	-0,08
10 14	○ сс	4,5	121,3	+0,3	+24,2	0,126	⊕ сс	4	85",2	-0,2	+34,3	0,178	+0,29
11 16	○ сс	3	125,0	+1,2	+19,6	0,102	⊕ сс	4	103,3	-0,4	+16,4	0,085	-0,09
12 12	○ сс	3	124,6	+1,2	+20,0	0,104	○ в	3	99,1	-0,2	+20,4	0,106	+0,01
13 15	⊕ сс	2	124,0	+1,2	+20,6	0,106	⊕ сс	4,5	90,8	-0,4	+28,9	0,150	+0,24
14 12	○ сс	3	125,0	+1,2	+19,6	0,102	○ сс	4	99,6	-0,4	+20,1	0,104	+0,01
15 13	○ сс	4	119,1	+1,2	+25,5	0,132	○ сс	4	87,8	-0,2	+31,7	0,165	+0,18
16 12	○ сс	3	113,9	+1,2	+30,7	0,159	○ в	3,5	83,8	-0,2	+35,7	0,186	+0,15
17 21	⊕ сс	2	100,2	+1,2	+44,4	0,230	⊕ в	2	53,3	-0,2	+66,2	0,344	+0,63
18 13	⊕ сс	3	103,6	+1,2	+41,0	0,212	⊕ сс	1	64,5	-0,3	+55,1	0,286	+0,41
19 18	○ сс	4	86,4	+1,2	+58,2	0,302	○ сс	1	37,0	-0,2	+82,5	0,428	+0,70
19 38	○ сс	4	77,3	+1,2	+67,3	0,349	○ сс	1					

Время наблюдения час. мин.	Становое — Петровское						Петровское — Становое						
	условия погоды	качество наблюдения	z ₁	инстру- менталь- ная по- правка	δz ₁	k ₁	условия погоды	качество наблюдения	z ₂	инстру- менталь- ная по- правка	δz ₂	k ₂	δh
8 30	⊙ лс	3	120,9	+1,2	+ 23,7	0,123	⊙ лс	1	104,7	- 0,3	+ 14,9	0,077	-0,2с
9 15	⊙ лс	4	121,3	+1,2	+ 23,3	0,121	⊙ лс	2	107,0	-0,2	+ 12,5	0,065	-0,31
10 17	⊕ сс	3	122,8	+1,2	+ 21,8	0,113	⊕ сс	4	85,5	-0,3	+ 34,1	0,177	+0,36
11 18	⊙ сс	2	128,0	+1,2	+ 16,6	0,086	⊙ сс	2,5	116,8	-0,2	+ 2,7	0,014	-0,40
12 14	⊙ сс	3	127,1	+1,2	+ 17,5	0,091	⊙ сс	1	118,1	-0,2	+ 1,4	0,007	-0,47
13 18	⊙ сс	3,5	129,2	+1,2	+ 15,4	0,080	⊙ сс	1	114,8	-0,4	+ 4,9	0,025	-0,30
14 16	⊙ сс	3	132,0	+1,2	+ 12,6	0,065	⊙ сс	3	114,9	-0,2	+ 4,6	0,024	-0,23
15 17	⊙ сс	2	126,0	+1,2	+ 18,6	0,096	⊙ сс	3	102,5	-0,3	+ 17,1	0,089	-0,04
16 11	⊕ сс	3,5	104,6	+1,2	+ 40,0	0,208	⊙ сс	3	84,8	-0,2	+ 34,7	0,180	-0,16
17 22	⊕ сс	5	112,8	+1,2	+ 31,8	0,165	⊕ ссδ	2	72,7	0,0	+ 46,6	0,242	+0,43
18 13	⊙ сс	3,5	114,8	+1,2	+ 29,8	0,155	⊙ сс	2	72,0	0,0	+ 47,3	0,246	+0,51
19 14	⊕ сс	3	97,8	+1,2	+ 46,8	0,244	⊕ сс	2	55,2	+0,3	+ 63,8	0,332	+0,49
19 48	⊕ δδ	3	98,1	+1,2	+ 46,5	0,242	⊕ сс	2	57,8	0,0	+ 61,5	0,320	+0,43
20 04	⊕ сс	4	92,8	+1,2	+ 51,8	0,270	⊕ сс	5	96,9	0,0	+ 22,4	+0,116	-0,10
8 14	⊕ сс	3,5	118,6	+1,2	+ 26,0	0,135	⊕ сс	4	109,9	+0,3	+ 9,1	+0,047	-0,23
9 22	⊙ сс	3,5	127,7	+1,2	+ 16,9	0,088	⊙ сс	1	120,4	0,0	- 1,1	-0,006	-0,47
10 14	⊙ сс	3	129,5	+1,2	+ 15,1	0,078	⊙ сс	1	129,2	+0,3	- 10,2	-0,053	-0,62
11 16	⊙ сс	1	133,5	+1,2	+ 11,1	0,058	⊙ сс	1	128,5	0,0	- 9,2	-0,048	-0,63
12 18	⊙ сс	4	132,0	+1,2	+ 12,6	0,065	⊙ сс	1	124,1	+0,3	- 5,1	-0,026	-0,56
13 20	⊙ сс	4	130,2	+1,2	+ 14,4	0,075	⊙ сс	1	123,7	0,0	- 4,4	-0,023	-0,51
14 16	⊙ сс	1	131,6	+1,2	+ 13,0	0,068	⊙ сс	1	121,4	0,0	- 2,1	-0,011	-0,55
15 14	⊙ сс	2	127,6	+1,2	+ 17,0	0,088	⊙ сс	1	109,7	0,0	+ 9,6	+0,050	-0,30
16 10	⊙ лс	3	124,6	+1,2	+ 20,0	0,104	⊙ сс	2					

Суммарное влияние случайных ошибок инструментального и рефракционного происхождения и случайных ошибок визирования μ равно $\pm 2''{,}3$ при измерениях на пункте Становое и $\pm 3''{,}9$ на пункте Петровское. В среднем в каждой серии наблюдений было выполнено по 7,7 приемов измерения взаимных зенитных расстояний; в результате влияния указанных ошибок на средние значения зенитных расстояний по отдельным сериям наблюдений равно $\pm 0''{,}8$ на пункте Становое и $\pm 1''{,}4$ на пункте Петровское, а соответствующее влияние на величины δh равно $\pm 0,05$ м. Таким образом, точность собственно наблюдений по линии Становое — Петровское, которые выполнялись в более тяжелых метеорологических условиях, чем наблюдения по линии Становое — Боршева, не уступает точности последних. Поэтому можно считать, что значительные колебания величин δz_1 и δz_2 от серии к серии по линии Становое — Петровское (табл. 14) полностью обусловлены влиянием рефракции.

§ 11. Геодезическое нивелирование на малых расстояниях

С площадки № 1 пункта Становое были одновременно измерены зенитные расстояния фонаря (марки) на пункте Кривцы и марок на дополнительных точках № 1, 2, 3 и 4, расположенных на расстояниях около 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 км от пункта Становое приблизительно в створе пункта Кривцы. Эти измерения выгодно отличались от описанных в § 10 аналогичных работ тем, что в них удалось добиться полного соответствия внешних условий наблюдения разных визирных целей в каждом отдельном измерении их зенитных расстояний.

Наблюдения выполнялись в различных условиях погоды и продолжались в течение девяти полных дней.

По условиям погоды измерения зенитных расстояний можно разделить на три группы, а именно на измерения:

- 1) в ясную сухую погоду 26—29.VI,
- 2) в неустойчивую переменную погоду 17—19.VI и 2.VIII,
- 3) в пасмурную погоду 9, 27 и 28.VIII.

Зенитные расстояния наблюдаемых предметов измерялись по возможности непрерывно с восхода до захода солнца сменными наблюдателями, причем применялся большой оптический теодолит № 70. Отдельный прием измерения зенитных расстояний состоял из последовательных наблюдений верхних и нижних марок на точках № 1, 2, 3 и 4 и фонаря (иногда марки) на пункте Кривцы при круге лево (право) и в обратной последовательности при круге право (лево). При таком порядке наблюдений измерения зенитных расстояний всех наблюдаемых точек в каждом отдельном приеме относились к одному и тому же среднему моменту времени. При наблюдениях горизонтальную нить наводили на середину белой полосы марки.

Суммарные поправки за «разность ренов» и за ошибки штрихов вертикального круга теодолита № 70 с оценкой точности их определения приведены в табл. 15. После введения этих поправок в результаты измерений суммарное влияние систематических ошибок нерефракционного происхождения на значения δz может быть принято равным величинам, приведенным в последнем столбце табл. 15.

Полная сводка результатов всех приемов измерения зенитных расстояний до введения в них указанных поправок за инструментальные ошибки приведена в приложении IV, в котором цифры 1, 2, 3 и 4 означают номера наблюдаемых точек, а буквы «в» и «н» соответствуют верхней и нижней маркам на этих точках. Данные о метеорологических условиях во время измерений приведены в приложении V, 4.

Таблица 15

Название пунктов	Верхняя марка	Нижняя марка	Ошибка нерелракционного происхождения
Точка № 1	$+ 0",4 \pm 0",4$	$+ 0",8 \pm 0",5$	$\pm 1",4$
„ № 2	$+ 0,4 \pm 0,4$	$- 0,6 \pm 0,5$	$\pm 1,2$
„ № 3	$- 0,4 \pm 0,3$	Меньше 0,4	$\pm 1,3$
„ № 4	$+ 1,2 \pm 0,3$	$+ 1,2 \pm 0,3$	$\pm 1,1$
Кривцы	$- 1,0 \pm 0,2$		$\pm 1,1$

В табл. 16 приведены случайные ошибки измерения зенитных расстояний, выведенные для групп измерений по разностям смежных приемов как по двойным измерениям. При этом были использованы только наблюдения между 6 и 19 часами, когда ошибки измерений меньше по величине и более устойчивы. В более поздние и ранние часы случайные ошибки измерений колебались в пределах 3—5"

Таблица 16

Название пункта	Случайные ошибки μ_z в погоду		
	ясную	переменную	пасмурную
Кривцы	$\pm 2",0$	$\pm 1",8$	$\pm 2",1$
4 в	2,5	1,8	1,6
4 н	1,8	1,8	2,1
3 в	2,4	2,1	2,2
3 н	2,5	2,4	2,6
2 в	2,0	1,8	2,1
2 н	2,1	2,6	2,9
1 в	1,6	1,6	1,6
1 н	1,4	1,8	1,6

Необходимые для вычисления поправок за влияние рефракции теоретические зенитные расстояния и оценка точности их определения уже были даны в табл. 7.

На малых расстояниях выполнялось также и двустороннее нивелирование по линиям Становое — точка № 4 и Становое — точка № 5.

Измерения взаимных зенитных расстояний по этим линиям выполнялись с площадки № 1 пункта Становое теодолитом ОТБ № 70 и на другом конце линии с переносного штатива теодолитом ОТБ № 71. Наблюдения на обоих концах линий начинались одновременно через каждые полчаса и выполнялись в течение всего дня отдельными сериями, которые состояли из 6—8 приемов измерения зенитных расстояний.

Сводки результатов двустороннего геодезического нивелирования по линии Становое — точка № 4 по сериям измерений приведены в табл. 17. При этом зенитные расстояния, измеренные на точке № 4, отнесены к линии визирования с площадки пункта Становое на нижнюю марку

точки № 4. Теоретические зенитные расстояния по этой линии имели следующие значения:

$$z_1^\circ = 90^\circ 20' 38'',7; \quad z_2^\circ = 89^\circ 33' 25'',7.$$

Аналогичные сводки результатов измерений по линии Становое — точка № 5 приведены в табл. 18 (метеорологические данные для обеих линий см. в приложении V, 4). В этом случае все измеренные зенитные расстояния на обоих пунктах отнесены к действительным линиям визирования 12 июля. Это было достигнуто путем введения поправок в результаты измерений за изменения высоты инструмента и марки на пункте № 5 в другие дни. Кроме того, на пункте № 5 инструмент устанавливался внецентренно относительно марки на этом пункте. Поэтому протяженность линий визирования в прямом и обратном направлениях была различна. В соответствии с этим теоретические зенитные расстояния и длины линий визирования имели следующие значения:

$$z_1^\circ = 90^\circ 17' 25'',5; \quad z_2^\circ = 89^\circ 43' 49'',1;$$

$$s = 1006,54 \text{ м}; \quad s = 1006,03 \text{ м}.$$

Отметим здесь, что в таблицах 17 и 18 приведены инструментальные поправки (поправки за рен плюс поправки за ошибки нанесения штрихов круга), которые не вводились в измеренные зенитные расстояния, но учитывались при вычислении поправок δz за влияние рефракции. С учетом этих инструментальных поправок суммарные систематические погрешности нерелракционного происхождения в односторонних зенитных расстояниях будут складываться из влияния остаточных инструментальных погрешностей и систематических ошибок визирования, составляющих вместе около $\pm 1'',0$. Кроме того, при сопоставлении результатов двустороннего геодезического нивелирования с данными геометрического нивелирования необходимо учесть ошибки измерения расстояний между пунктами и ошибки геометрического нивелирования.

Общее влияние систематических ошибок нерелракционного происхождения на разность δh превышений, полученных из двустороннего геодезического нивелирования и геометрического нивелирования, по нашим данным можно положить равным для линии:

$$\begin{aligned} \text{Становое—точка № 4} & \dots \dots \dots \pm 9 \text{ мм}, \\ \text{Становое—точка № 5} & \dots \dots \dots \pm 5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Случайные ошибки измерения зенитных расстояний, вычисленные по отклонениям их значений, измеренных в отдельных приемах, от средних значений по сериям приемов, оказались равными

$$\begin{aligned} \text{Становое} & \dots \dots \dots \pm 2'',3; \\ \text{Точка № 4} & \dots \dots \dots \pm 3'',7; \\ \text{Точка № 5} & \dots \dots \dots \pm 4'',1. \end{aligned}$$

Каждая серия наблюдений 12—14 июля состояла в среднем из 6,4 приема, а в остальные дни исследований из 8 приемов измерения зенитных расстояний. Отсюда случайные ошибки средних значений зенитных расстояний по сериям измерений равны:

$$\begin{aligned} \text{Становое} & \dots \dots \dots \pm 0,8—0'',9; \\ \text{Точка № 4} & \dots \dots \dots \pm 1,3; \\ \text{Точка № 5} & \dots \dots \dots \pm 1,5—1,6. \end{aligned}$$

Следовательно, влияние случайных ошибок измерения зенитных расстояний на величины δh равно по линии:

$$\begin{aligned} \text{Становое—точка № 4} & \dots \dots \dots \pm 6 \text{ мм}; \\ \text{Становое—точка № 5} & \dots \dots \dots \pm 5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Таблица 17

№ серий	Время наблюдения час мин	Условия погоды	Становое—точка № 4			Точка № 4—Становое					
			качество изображения	z_1	инструментальная поправка	δz_1	качество изображения	z_2	инструментальная поправка	δz_2	δh мм
				90°26'	3 августа			89°32'			
1	7 13	○ лв	4	99,4	+1,2	-1,9	3	85,6	-0,4	+0,5	+12
2	42	○ лв	4	101,2	1,2	-3,7	3	86,9	0,3	-0,9	+15
3	8 11	○ лв	4	102,3	1,2	-4,8	3	94,4	0,3	-8,4	-18
4	44	○ лв	3	103,0	1,2	-5,5	3	95,2	0,4	-9,1	-17
5	9 12	○ лв	5	98,1	1,2	-0,6	4,5	90,2	0,4	-4,1	-18
6	42	○ лв	3,5	104,1	0,6	-6,0	3	97,4	0,1	-11,6	-26
7	10 14	○ в	4,5	101,1	1,2	-3,6	3	89,6	0,3	-3,6	+2
8	43	○ в	4,5	100,9	1,2	-3,4	4,5	85,9	0,4	+0,2	+18
9	11 12	○ в	4,5	104,8	1,2	-7,3	3,5	95,6	0,3	-9,9	-10
10	42	○ в	3,5	103,1	1,2	-5,6	2	96,3	0,1	-0,5	-23
11	12 12	○ в	4	103,9	1,2	-6,4	4,5	96,3	0,1	-0,5	-19
12	42	○ в	3	100,2	1,2	-2,7	3	88,1	0,1	-2,3	+1
13	13 10	○ в	2	102,7	1,2	-5,2	3	93,8	0,4	-7,7	-12
14	41	○ в	3	96,6	0,6	+1,5	5	84,0	0,3	+2,0	+2
15	14 12	○ в	4	102,2	1,2	-4,7	4,5	90,9	0,1	-5,1	-7
16	42	○ в	5	101,5	1,2	-4,0	4,5	88,5	0,1	-2,7	+7
17	15 10	○ в	4	96,4	1,2	+1,1	4	88,8	0,4	-2,7	-18
18	40	○ в	4	97,7	1,2	-0,2	3,5	88,6	0,3	-2,6	-10
19	16 12	○ св	5	93,7	1,2	+3,8	5	82,1	0,5	+4,1	+1
20	40	○ св	4	101,4	1,2	-3,9	3,5	92,2	0,4	-6,1	-10
21	17 10	○ св	4	100,7	1,2	-3,2	3,5	89,8	0,3	-3,8	-3
22	40	○ вд	5	92,4	1,2	+5,1	5	78,8	0,5	+7,4	+11
23	18 10	○ лв	4,5	89,0	1,2	+8,5	5	78,5	0,1	+7,3	-6
24	40	○ лв	4	82,0	1,2	+15,5	4,5	72,6	0,5	+13,6	-9
25	19 10	○ лв	3,5	76,0	1,2	+21,5	3,5	62,1	0,5	+24,1	+14
26	41	○ тх	4	61,6	0,6	+36,5	2	45,4	0,5	+40,8	+20
27	20 08	○ тх	4	52,0	0,6	+46,1	2,5	34,3	0,5	+51,9	+27
					4 августа						
28	4 44	○ тх	3,5	56,8	+1,2	+40,7	3,5	46,5	-0,5	+39,7	-5
29	5 12	○ лв	3,5	59,1	1,2	+38,4	2	41,5	0,5	+44,7	+30
30	40	○ лв	3	70,5	1,2	+27,0	3,5	65,2	0,5	+21,0	-30
31	6 12	○ лв	3	84,8	1,2	+12,7	4,5	69,8	0,5	+16,4	+18
32	41	○ тх	4	94,5	1,2	+3,0	5	84,7	0,5	+1,5	-8
33	7 09	○ тх	3	96,0	1,2	+1,5	4,5	86,0	0,5	+0,2	-7
34	39	○ тх	3	97,2	1,2	+0,3	3,5	87,8	0,5	-1,6	-9
35	8 10	○ лв	2	97,0	1,2	+0,5	3,5	84,0	0,3	+2,0	+8
36	40	○ тх	2	99,3	1,2	-1,8	2,5	90,6	0,5	-4,4	-12
37	9 10	○ лв	2	100,6	1,2	-3,1	2	95,2	0,1	-9,4	-30
38	40	○ лв	2	102,3	0,6	-4,2	2,5	95,7	0,3	-9,7	-27
39	10 12	○ лв	2,5	104,9	1,2	-7,4	2,5	99,6	0,3	-13,6	-30
40	40	○ лв	2,5	104,7	1,2	-7,2	2	93,8	0,3	-7,8	-3
41	11 12	○ лв	2	103,3	1,2	-5,8	2	93,3	0,2	-7,4	-8
42	40	○ лв	2	102,1	1,2	-4,6	2	93,7	0,3	-7,7	-15
43	12 11	○ тх	1	102,2	1,2	-4,7	1	92,9	0,3	-6,9	-11
44	42	○ лв	2	102,4	1,2	-4,9	1	84,6	0,5	+1,6	+31
45	13 14	○ лв	4	101,0	1,2	-3,5	3	89,4	0,4	-3,3	+1
46	40	○ лв	2	101,6	1,2	-4,1	1	89,7	0,4	-3,6	+3
47	14 10	○ лв	1	100,6	1,2	-3,1	1	94,1	0,2	-8,2	-25
48	40	○ в	3,5	99,9	1,2	-2,4	4,5	84,7	0,3	+1,3	+18
49	15 09	○ в	2	99,7	1,2	-2,2	2	91,5	0,3	-5,5	-15
50	42	○ в	3,5	98,9	1,2	-1,4	3	87,2	0,2	-1,3	+2
51	16 12	○ лв	4,5	95,7	1,2	+1,8	4	83,0	0,2	+2,9	+6
52	38	○ тх	4,5	95,7	0,6	+2,4	4	78,1	0,5	+8,1	+27

№ серии	Время наблюдения час мин	Условия погоды	Становое—точка № 4			Точка № 4—Становое					
			качество изображения	z_1	инструментальная поправка	δz_1	качество изображения	z_2	инструментальная поправка	δz_2	δh мм
53	17 13	⊙ тх	4,5	100",2	+0",6	-2",1	5	80",4	-0,5	+5",8	+39
54	38	⊙ лв	5	99,1	0,6	-1,0	4	85,4	0,5	+0,8	+8
55	18 07	⊙ лв	5	95,9	1,2	+1,6	5	84,4	0,5	+1,8	-1
4 сентября											
				90°27'				89°32'			
1	10 13	⊙ лв	3	39",1	+1",2	-1",6	3	94",5	+0",0	-8",8	-35
2	42	⊙ лв	3	40,6	1,2	-3,1	2	92,8	0,0	-7,1	-19
3	11 11	⊙ лв	3	41,1	1,2	-3,6	2	93,1	0,3	-7,7	-19
4	40	⊙ лв	3	41,1	1,2	-3,6	2	94,3	0,3	-8,9	-25
5	12 08	⊙ лв	3	40,3	1,2	-2,8	2	94,7	0,3	-9,0	-30
6	39	⊙ лв	3,5	41,4	1,2	-3,9	2	92,6	0,3	-7,2	-15
7	13 08	⊙ лв	3,5	39,2	1,2	-1,7	3	89,3	0,0	-3,6	-8
8	39	⊙ лв	3,5	38,4	1,2	-0,9	3	88,4	0,3	-3,0	-10
9	14 10	⊙ лв	2	39,4	1,2	-1,9	2	91,3	0,0	-5,6	-18
10	43	⊙ лв	4	39,6	1,2	-2,1	2	91,2	0,3	-5,8	-17
11	15 12	⊙ лв	3	38,1	1,2	-0,6	2	86,0	0,0	-0,3	+1
12	38	⊙ лв	3,5	34,6	1,2	+2,9	2	85,6	0,3	-0,2	-14
13	16 09	⊙ лв	4,5	36,2	1,2	+1,3	2	80,6	0,0	+5,1	+19
14	38	⊙ лв	4	23,2	1,2	+14,3	3,5	77,0	0,0	+8,7	-26
15	17 08	⊙ лв	5	30,2	1,2	+7,3	4	79,1	0,3	+6,3	-4
16	38	⊙ лв	5	31,6	1,2	+5,9	4,5	80,0	0,0	+5,7	-1
17	18 08	⊙ тх	4,5	23,3	1,2	+14,2	4,5	70,9	0,3	+14,5	+2
18	38	⊙ тх	4	17,3	1,2	+20,2	4,5	65,6	0,0	+20,1	-1
19	19 10	⊙ тх	2	07,0	1,2	+30,5	3	53,7	0,3	+31,7	+7
5 сентября											
20	6 40	⊙ лв	5	30",5	+1",2	+7",0	4,5	76,0	+0",3	+10,0	+15
21	7 08	⊙ лв	5	31,2	1,2	+6,3	5	74,4	0,0	+11,3	+24
22	38	⊙ лв	4,5	34,0	1,2	+3,5	5	80,3	0,3	+5,1	+9
23	8 12	⊙ лв	4,5	37,7	0,6	+0,4	5	83,9	0,0	+1,8	+7
24	43	⊙ лв	4,5	38,2	1,2	-0,7	5	92,4	0,3	-7,0	-29
25	9 11	⊙ лв	4	40,9	1,2	-3,4	4	86,1	0,0	-0,4	+15
26	42	⊙ лв	4	37,9	1,2	-0,4	4	85,0	0,3	+0,4	+8
27	10 10	⊙ лв	3,5	41,0	1,2	-3,5	3,5	89,6	0,0	-3,9	-2
28	40	⊙ лв	3	41,1	1,2	-3,6	3,5	86,1	0,3	-0,7	+15
29	11 08	⊙ лв	3	37,1	1,2	+0,4	4	93,2	0,3	-7,8	-39
30	38	⊙ в	3	38,8	1,2	-1,3	4	91,5	0,0	-5,8	-21
31	12 08	⊙ св	3,5	40,6	1,2	-3,1	3,5	86,3	0,0	-0,6	+13
32	39	⊙ св	4	37,9	1,2	-0,4	5	86,0	0,0	-0,3	+1
33	13 10	⊙ св	5	38,4	1,2	-0,9	5	81,8	0,0	+3,9	+23
34	39	⊙ св	5	37,6	1,2	-0,1	5	88,9	0,3	-3,5	-15
35	14 09	⊙ св	5	39,2	1,2	-1,7	4,5	88,4	0,0	-2,7	-5
36	41	⊙ св	5	35,6	1,2	+1,9	4,5	83,4	0,3	+2,0	+2
37	15 10	⊙ св	5	34,2	1,2	+3,3	5	79,8	0,0	+5,9	+13
38	40	⊙ св	4,5	37,2	1,2	+0,3	5	86,5	0,3	-1,1	-6
39	16 10	⊙ св	5	31,7	1,2	+5,8	5	80,2	0,0	+5,5	-1
40	37	⊙ св	4	28,0	1,2	+9,5	4,5	74,6	0,3	+10,8	+8
41	17 12	⊙ св	5	28,4	1,2	+9,1	5	76,0	0,3	+10,0	+5
42	38	⊙ св	4	25,6	1,2	+11,9	3,5	71,2	0,3	+14,2	+11
43	18 08	⊙ в	3,5	21,6	1,2	+15,9	3,5	63,8	0,0	+21,9	+30
44	38	⊙ лв	3	18,5	1,2	+19,0	1	69,2	0,3	+16,2	-13
45	19 09	⊙ лв	2	07,0	1,2	+30,5	2	56,4	0,3	+29,0	-6

Таблица 18

№ серии	Время наблюдения час мин	Условия погоды	Становое—точка № 5			Точка № 5—Становое					
			качество изображения	z_1	инструментальная поправка	δz_1	качество изображения	z_2	инструментальная поправка	δz_2	δh мм
			90°17'			12 июля					
1	12 10	⊙ в	3	39",8	-1",0	-13",3	2	143",9	-0",1	-34",7	-51
2	44	⊙ в	3	43,7	1,0	-17,2	2	146,7	0,2	-37,4	-48
3	13 12	⊙ лв	3	45,5	1,0	-19,0	2	146,5	0,2	-37,2	-43
4	39	⊙ лв	3	46,8	1,0	-20,3	2	148,4	0,1	-39,1	-45
5	14 10	⊙ в	2	48,8	1,0	-21,9	2	149,2	0,2	-39,9	-43
6	39	⊙ в	2	43,9	1,0	-17,4	2	150,4	0,2	-41,1	-56
7	15 08	⊙ лв	3	45,5	1,0	-19,0	2	142,7	0,2	-33,4	-34
8	42	⊙ в	3	41,0	1,0	-14,5	3	129,4	0,1	-20,2	-12
9	16 08	⊙ в	3	40,8	1,0	-14,3	3	141,4	0,1	-32,2	-42
10	42	⊙ в	3	33,8	0,2	-8,1	4,5	120,8	0,1	-11,6	-9
11	17 11	⊙ в	4,5	35,5	0,2	-9,8	4,5	121,2	0,1	-12,0	-6
12	40	⊙ в	4,5	30,8	0,2	-5,1	5	116,3	0,1	-7,1	-6
13	18 10	⊙ в	4,5	32,8	0,2	-7,1	4,5	116,3	0,1	-7,1	-1
14	38	⊙ в	5	25,2	0,2	+0,5	5	105,3	0,1	+3,9	+8
15	19 08	⊙ лв	5	23,6	0,2	+2,1	5	103,1	0,1	+6,1	+9
16	42	⊙ тх	4,5	20,0	1,0	+6,5	5	97,4	0,1	+11,8	+14
17	20 10	⊙ тх	4,5	20,3	1,0	+6,2	5	101,9	0,1	+7,3	+4
18	42	⊙ тх	3	0,3	1,0	+26,2	3	57,8	0,1	+51,4	+63
			13 июля			13 июля					
19	5 48	⊙ тх	4,5	24",0	-1",0	+2",5	5	109",4	-0",2	-0",1	-5
20	6 08	⊙ тх	4,5	27,5	1,0	-1,0	5	112,9	0,2	-3,6	-5
21	6 41	⊙ тх	3	30,0	1,0	-3,5	4	116,8	0,2	-7,5	-9
22	7 08	⊙ тх	2	29,5	1,0	-3,0	3	119,2	0,2	-9,9	-15
23	41	⊙ тх	2	32,6	1,0	-6,1	3,5	117,0	0,2	-7,7	-3
24	8 12	⊙ тх	2	31,7	1,0	-5,2	3	119,2	0,2	-9,9	-10
25	42	⊙ тх	2	36,4	0,2	-10,7	2	123,0	0,2	-13,7	-8
26	9 12	⊙ тх	2	34,9	0,2	-9,2	2	124,8	0,1	-15,6	-16
27	40	⊙ тх	2	35,6	0,2	-9,9	2	127,7	0,1	-18,5	-20
28	10 10	⊙ лв	2	37,7	1,0	-11,2	2	128,6	0,1	-19,4	-18
29	43	⊙ лв	1	38,2	1,0	-11,7	1	187,0	0,2	-27,7	-40
30	11 12	⊙ лв	1	37,0	1,0	-10,5	1	134,5	0,2	-25,2	-37
31	41	⊙ тх	1	40,4	1,0	-13,9	1	135,4	0,2	-26,1	-29
32	12 10	⊙ тх	3	34,1	1,0	-7,9	1	133,0	0,2	-23,7	-38
33	14 14	⊙ тх	2	41,0	1,0	-14,5	2	141,2	0,2	-31,9	-41
34	42	⊙ тх	1	37,7	1,0	-11,2	2	130,8	0,2	-21,5	-24
35	15 11	⊙ тх	1	36,4	1,0	-9,1	2	122,4	0,1	-13,2	-9
36	42	⊙ лв	1	37,4	1,0	-10,9	2	127,9	0,1	-18,7	-17
37	16 14	⊙ лв	1	30,5	1,0	-4,0	2	123,3	0,1	-14,1	-23
38	41	⊙ лв	1	35,4	1,0	-8,9	1	119,0	0,1	-9,8	-1
39	17 14	⊙ тх	4	28,8	1,0	-2,3	3	120,8	0,2	-11,5	-21
40	45	⊙ тх	4	31,8	1,0	-5,3	3,5	113,8	0,2	-4,5	+3
41	18 12	⊙ тх	5	28,0	1,0	-1,5	5	105,9	0,2	+3,4	+13
42	40	⊙ лв	5	26,6	1,0	-0,1	5	103,2	0,2	+6,1	+16
43	19 10	⊙ лв	5	22,3	1,0	+4,2	5	103,4	0,2	+6,9	+5
44	44	⊙ тх	4	13,6	1,0	+12,9	4	86,4	0,2	+22,9	+26
45	20 08	⊙ тх	4	7,6	1,0	+18,9	4	77,1	0,2	+32,2	+33
			14 июля			14 июля					
46	4 19	⊙ тх	4	6",7	-1",0	+19",8	4	85",4	-0",2	+23",9	+11
47	42	⊙ лв	3	10,5	1,0	+16,0	4	92,0	0,2	+17,3	+4
48	5 10	⊙ лв	4	15,5	1,0	+11,0	4	95,2	0,2	+14,1	+8
49	40	⊙ лв	4	20,6	1,0	+5,9	4	99,1	0,1	+10,1	+12

№ серий	Время наблюдения час мин	Условия погоды	Становое—точка № 5				Точка № 5—Становое				
			качество изображения	z_1	инструментальная поправка	δz_1	качество изображения	z_2	инструментальная поправка	δz_2	δh мм
50	6 13	○ лв	4	25",3	-1",0	+ 1",2	4	108",9	-0",1	+ 0",3	- 1
51	39	○ лв	4	28,0	1,0	- 1,5	5	113,7	0,2	- 4,4	- 6
52	7 12	○ лв	4	33,3	1,0	- 6,8	4	119,5	0,2	-10,2	- 8
53	40	○ лв	3	34,5	1,0	- 8,0	4	122,2	0,1	-13,0	-10
54	8 12	○ лв	3	36,4	1,0	- 9,9	3	127,8	0,2	-18,5	-20
55	41	○ лв	3	37,1	1,0	-10,6	4	126,8	0,1	-17,6	-15
56	9 12	○ лв	2	40,1	1,0	-13,6	3	133,1	0,2	-23,8	-24
57	41	○ в	4	33,4	1,0	- 6,9	4	120,2	0,1	-11,0	- 9
58	10 11	○ лв	4,5	31,8	1,0	- 5,3	4	120,7	0,2	-11,4	-14
59	41	○ в	3	38,1	1,0	-11,6	2	128,5	0,2	-19,2	-17
60	11 12	○ в	2	41,8	1,0	-15,3	2	136,5	0,2	-27,2	-28
61	42	○ в	2	42,3	1,0	-15,8	2	138,7	0,2	-29,4	-32
62	12 09	○ лв	2	41,2	1,0	-14,7	2	136,8	0,2	-27,5	-30
63	42	○ св	1	45,1	1,0	-18,6	1	141,5	0,2	-32,2	-32
14 августа											
1	9 10	○ лв	3	31",3	-1",0	- 4",8	3,5	129",4	-0",2	-20",1	-36
2	40	○ лв	3	31,5	1,0	- 5,0	3	127,4	0,1	-18,2	-31
3	10 10	○ лв	3,5	31,4	1,0	- 4,9	3,5	126,2	0,2	-16,9	-28
4	38	○ лв	3,5	32,0	1,0	- 5,5	3,5	121,8	0,1	-12,6	-16
5	11 12	○ лв	3,5	31,5	1,0	- 5,0	3,5	125,5	0,2	-16,2	-26
6	38	○ лв	4,5	30,6	1,0	- 4,1	3,5	121,1	0,1	-11,9	-17
7	12 10	○ лв	3,5	30,0	1,0	- 3,5	3,5	123,8	0,2	-14,5	-26
8	38	○ лв	3,5	29,6	1,0	- 3,1	3,5	127,0	0,1	-17,8	-34
9	13 10	○ в	3,5	29,1	1,0	- 2,6	3,5	119,6	0,2	-10,3	-17
10	40	○ в	4,5	27,2	1,0	- 0,7	3,5	116,3	0,1	- 7,1	-14
11	14 10	○ в	4	26,7	1,0	- 0,2	3,5	116,9	0,2	- 7,6	-17
12	41	○ св	4,5	26,2	1,0	+ 0,3	3	116,8	0,1	- 7,6	-18
13	15 09	○ в	4,5	25,7	1,0	+ 0,8	3	116,8	0,2	- 7,5	-19
14	38	○ в	4,5	23,3	1,0	+ 3,2	3,5	113,6	0,1	- 4,4	-17
15	16 10	○ в	5	24,8	1,0	+ 1,7	4,5	114,8	-0,2	- 5,5	-16
16	40	○ в	5	23,6	0,2	+ 2,1	4,5	114,4	+0,1	- 5,4	-18
17	17 10	○ в	5	20,6	0,2	+ 5,1	4,5	108,5	-0,2	+ 0,8	-12
18	38	○ в	5	18,6	0,2	+ 7,1	5	102,7	0,2	+ 6,6	- 2
19	18 12	○ лв	5	18,7	1,0	+ 7,8	4,5	101,0	0,1	+ 8,2	+ 2
20	42	○ лв	4	14,7	1,0	+11,8	4	98,0	0,2	+11,3	0
21	19 10	○ лв	4	10,8	1,0	+15,7	4	93,6	0,1	+15,6	+ 1
22	39	○ лв	4	5,4	1,0	+21,1	4	87,9	0,2	+21,4	+ 2
23	20 09	○ лв	3,5	0,9	1,0	+25,6	3	69,9	0,1	+39,3	+35

§ 12. Выводы о выгоднейшем времени дня для геодезического нивелирования

Весь опыт геодезического нивелирования показывает, что невозможно найти такого времени суток, когда влиянием рефракции на точность измерения зенитных расстояний можно было бы пренебречь. Во всех случаях из самих материалов геодезического нивелирования выводятся средний коэффициент рефракции, который используют при обработке измерений. Поскольку влияние рефракции должно всегда учитываться, для нас не так важно, чтобы коэффициент рефракции был по абсолютной величине наименьшим. Наиболее выгодным для выполнения геодезического нивелирования будет то время, когда коэффициенты рефракции наиболее устойчивы, как при переходе от одной линии нивелирования к другой,

так и в течение дня и день ото дня. В этом случае отклонения коэффициентов рефракции, соответствующих отдельным измерениям, от некоторого среднего коэффициента будут наименьшими.

Для того чтобы сделать выводы о выгоднейшем времени для нивелирования, нами были составлены графики суточного изменения влияния рефракции, относящиеся к различным условиям измерений. Результаты одностороннего нивелирования показаны на рис. 21, 22, 23 (Становое — Кривцы). Результаты двустороннего нивелирования представлены на рис. 24, 25, 26 (Становое — Боршева) и рис. 27 (Становое — Петровское). Рисунок 28 (нивелирование на малые расстояния) построен по средним значениям δz (или k), которые были найдены по всем измерениям, выполненным в одних и тех же условиях погоды, и попали в соответственный двухчасовой интервал.

Из приведенных графиков сразу можно видеть, что периоды инверсии температуры — ночь, раннее утро, поздний вечер — невыгодны для измерений зенитных расстояний. Это совпадает с нашими предварительными соображениями, изложенными в § 3. Более предпочтительным является дневной период, в пределах которого и будем искать выгоднейшее время для геодезического нивелирования.

Поскольку геодезическое нивелирование чаще всего выполняют по сторонам триангуляции, мы использовали для выводов прежде всего материалы своих измерений на большие расстояния с сигналов Становое (площадки № 2 и 3) и Боршева, считая, что эти данные соответствуют условиям, при которых геодезическое нивелирование дает хороший результат.

Наблюдения были разбиты на группы в зависимости от времени дня. Для каждой из групп, независимо от того, где и какого числа исполнялись измерения, были вычислены среднее значение коэффициента рефракции k и среднее квадратическое колебание m_k коэффициентов рефракции между сериями измерений (табл. 19). Не принимались во внимание измерения перед дождем и после дождя, когда замечалось резкое увеличение коэффициентов рефракции (31.VII после 16 час, табл. 11; 17.VII после 14 час, табл. 12; 17.VIII после 16 час, табл. 14), а также измерения по направлению Становое — Михайловская Слобода 15.IX в 8 час 50 мин, выполненные во время утреннего тумана при отсутствии видимости по всем другим направлениям. После исключения этих аномальных данных, составляющих 7% измерений (между 9 и 17 часами — 4,5%), наш материал стал в большей степени отвечать нормальным условиям измерений.

Таблица 19

Время дня час мин	7 30—9	9—10 30	10 30—12	12—14	14—15 30	15 30—17	17—18	9—17
Число серий измерений	24	60	36	60	67	82	45	305
k	0,134	0,100	0,087	0,089	0,095	0,096	0,122	0,094
m_k	$\pm 0,023$	$\pm 0,038$	$\pm 0,040$	$\pm 0,036$	$\pm 0,048$	$\pm 0,037$	$\pm 0,044$	$\pm 0,040$

Наиболее устойчивым коэффициент рефракции оказался в утренние часы между 7 час 30 мин и 9 часами. Однако в это время бывали самые плохие условия видимости, поэтому в ясную погоду удавалось наблюдать только на гелиотроп. У нас нет оснований по небольшому количеству таких данных делать выводы о предпочтительности утренних измерений.

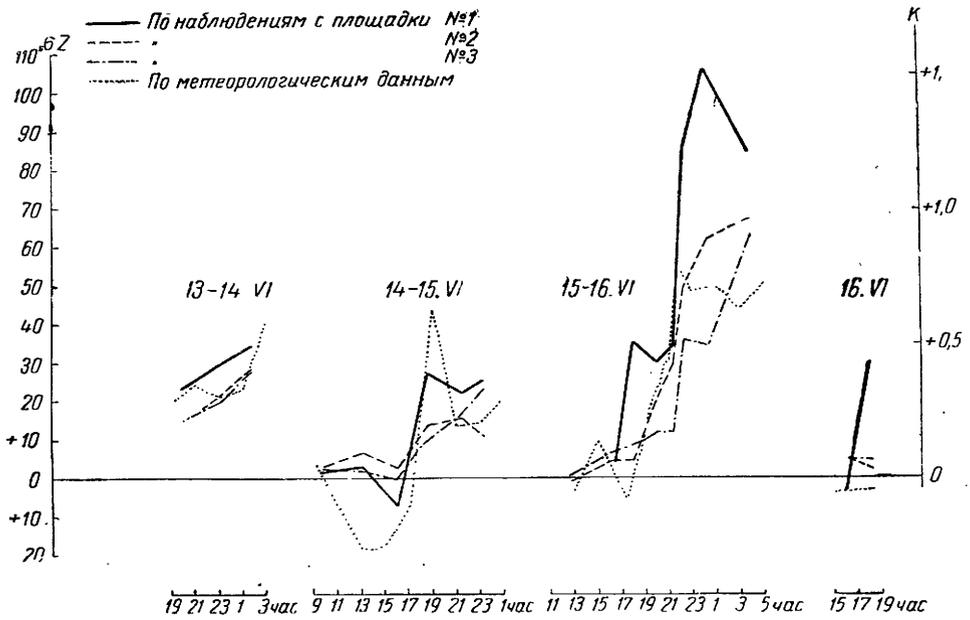


Рис. 21

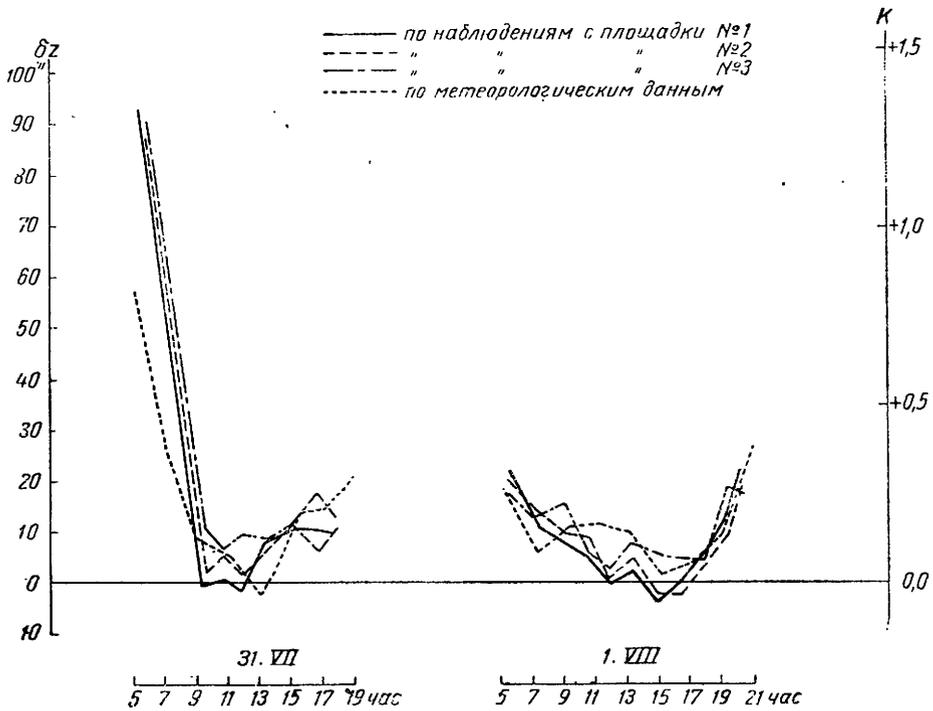
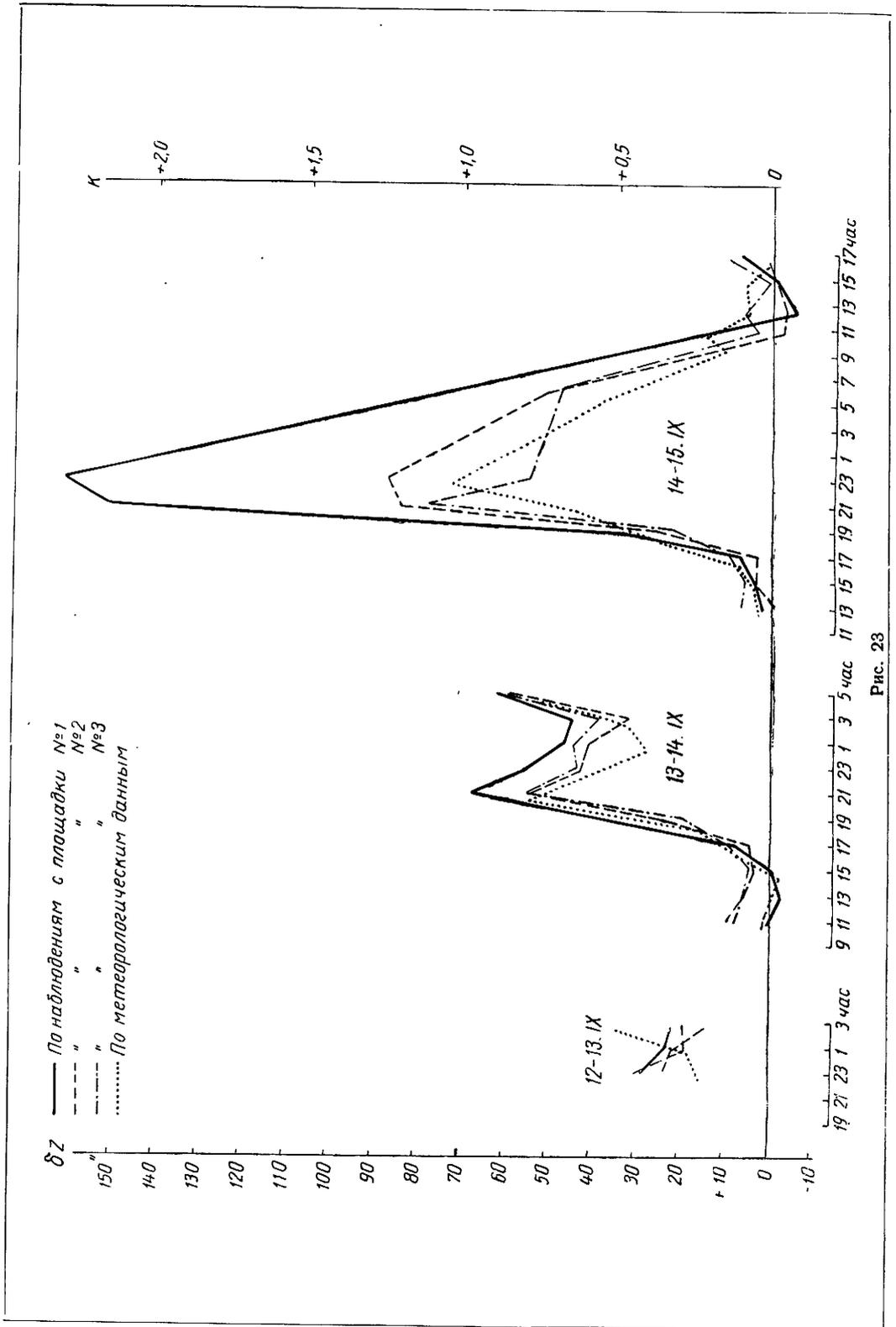


Рис. 22



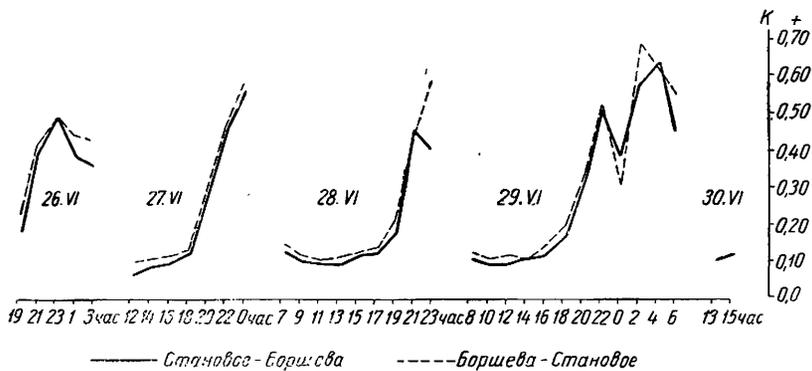


Рис. 24

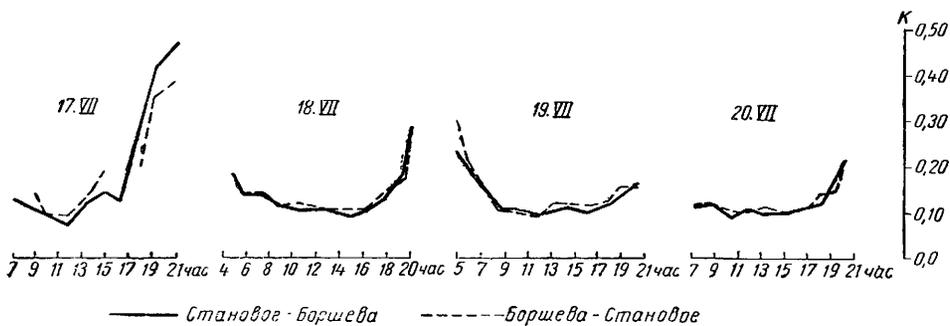


Рис. 25

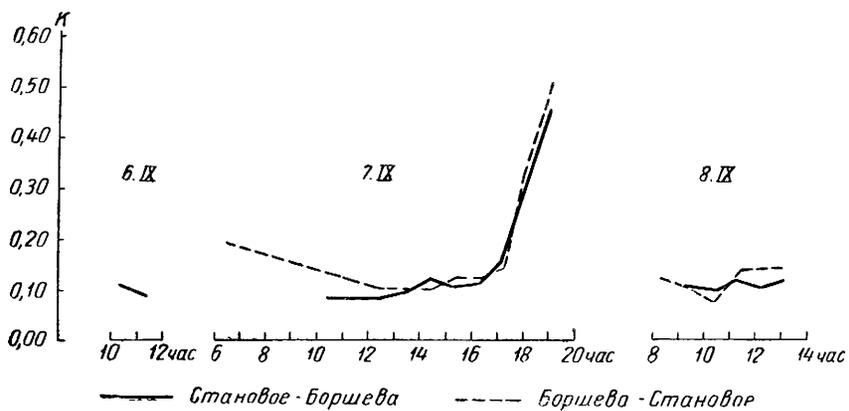


Рис. 26

Для всех интервалов дня между 9 и 18 часами величина m_k имеет практически одно и то же значение, а между 9 и 17 часами весьма мало меняется и средний коэффициент рефракции. Если все измерения между 9 и 17 часами объединить в одну группу (последний столбец табл. 17),

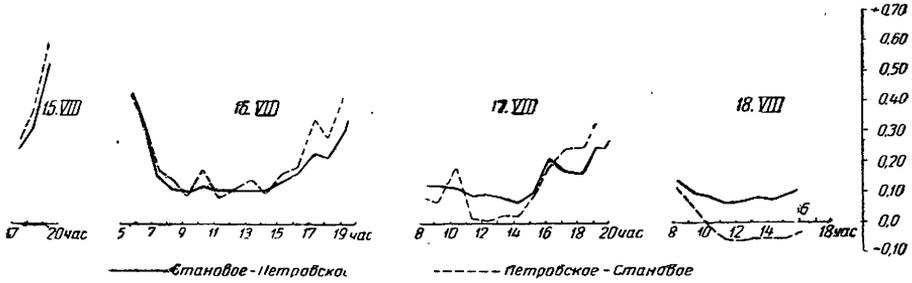


Рис. 27

то получим практически то же значение величин k и m_k , что и для более ограниченных интервалов времени дня. Таким образом, весь период дня между 9 и 17 часами одинаково пригоден для геодезического нивелирования.

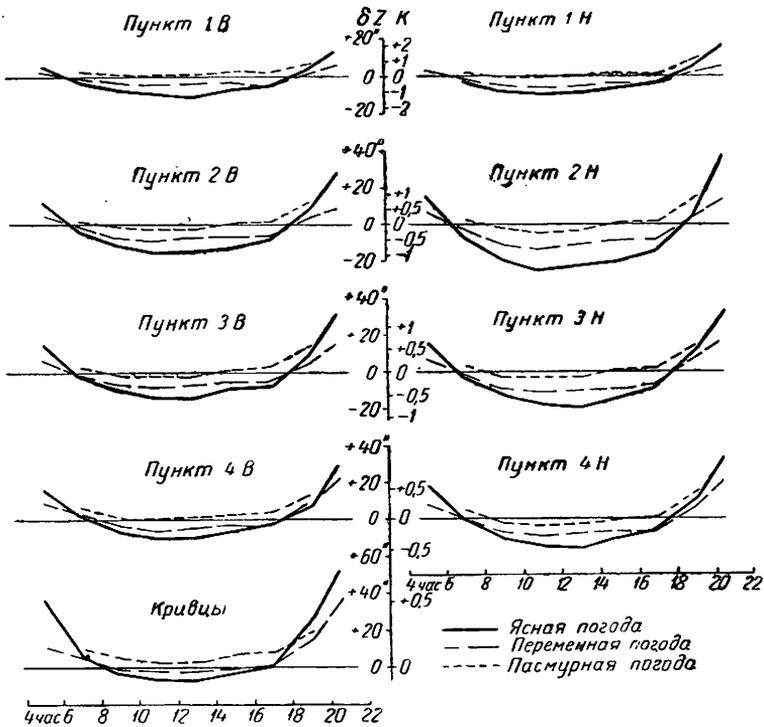


Рис. 28

Поскольку более ранние и поздние интервалы дня дают также удовлетворительный результат геодезического нивелирования, то указанные границы могут считаться границами выгоднейшего времени для измерения зенитных расстояний летом и ранней осенью. Наши материалы

показывают, что в июне и первой половине июля, когда день наибольший, указанные границы можно расширить до 8 и 18 часов. В среднем получается, что геодезическое нивелирование следует начинать не ранее, чем через три часа после восхода, и кончать не позднее, чем за три часа до захода солнца.

Геодезическое нивелирование со штативов на большие расстояния дало значительно худший результат, чем с сигналов. Среднее квадратическое колебание коэффициента рефракции в период дня между 9 и 17 часами оказалось равным $\pm 0,08$, а между 17 и 18 часами возросло до $\pm 0,15$. Это находится в соответствии с высказыванием Ф. Н. Красовского* о том, что при наблюдениях со штативов не следует проводить геодезическое нивелирование на расстоянии свыше 4 км. Рассматривая измерения на большие расстояния при малой высоте визирного луча, как исключительный случай, мы не будем останавливаться на них и перейдем к наблюдениям со штативов по коротким линиям (§ 11).

Применительно к геодезическому нивелированию в триангуляции нам достаточно будет рассмотреть результаты одностороннего нивелирования по линиям Становое — Кривцы ($s = 4,4$ км) и Становое — точка № 4 ($s = 2,0$ км). В последнем случае рассмотрим только наблюдения на верхнюю марку, более соответствующую по высоте над почвой простой пирамиде. В табл. 20 приведены для различных часов измерений средние значения коэффициентов k для ясной, пасмурной и переменной погоды и величины их колебаний μ_k , которые выводились по уклонениям коэффициентов рефракции, полученных из отдельных наблюдений, от их средних значений. Нами не использованы наблюдения во время и после дождя 8 августа.

Таблица 20

Часы дня	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18
	Становое — Кривцы					
<i>k</i> в погоду:						
ясную	+ 0,08	— 0,05	— 0,10	— 0,11	— 0,04	+ 0,01
переменную	+ 0,04	+ 0,03	+ 0,03	+ 0,02	+ 0,01	— 0,02
пасмурную	+ 0,11	+ 0,08	+ 0,03	+ 0,05	+ 0,10	+ 0,12
μ_k	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$
	Становое — точка № 4					
<i>k</i> в погоду:						
ясную	+ 0,07	— 0,22	— 0,29	— 0,30	— 0,19	— 0,09
переменную	+ 0,09	— 0,11	— 0,18	— 0,13	— 0,08	— 0,09
пасмурную	+ 0,26	+ 0,03	+ 0,01	+ 0,03	+ 0,08	+ 0,14
μ_k	$\pm 0,09$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,12$	$\pm 0,11$	$\pm 0,10$

Как видно из табл. 20, наибольшие расхождения коэффициентов рефракции при переходе от одной линии к другой или при перемене условий погоды замечаются между 10 и 14 часами, т. е. в полуденное время. Наименьшие расхождения получались утром между 6 и 8 часами и вечером между 16 и 18 часами.

При небольшой высоте визирного луча над почвой выгоднейший период дневного времени для геодезического нивелирования получается

* Красовский Ф. Н. и Данилов В. В. Руководство по высшей геодезии, ч. I, вып. 2, М., Геодезиздат, 1938.

иной, чем при значительной высоте луча. Это объясняется особенностями дневного распределения температуры (см. § 3). Интенсивное перемешивание воздуха приводит к тому, что при значительных вертикальных градиентах температуры вблизи почвы все же в более высоких слоях воздуха днем наблюдаются устойчивые градиенты температуры, близкие к их нормальному значению. В соответствии с этим и влияние рефракции в дневное время, неустойчивое при небольших высотах визирного луча, становится устойчивым с увеличением высоты луча над земной поверхностью.

Различие условий наблюдений при разных высотах визирного луча исчезает, когда облачность значительна. Как видно из табл. 20, в пасмурную погоду изменение величин k в течение дня и от линии к линии оказывается меньше влияния случайных колебаний рефракции μ_k . В этих условиях геодезическое нивелирование можно проводить весь день, достаточно лишь поставить ограничение о том, что не следует измерять зенитные расстояния около полудня при небольшой высоте визирного луча и в ясную теплую погоду, чтобы были применимы наши прежние выводы.

Полуденное время невыгодно для измерений еще и потому, что оно является периодом плохих изображений, когда визирование на предметные цели выполняется весьма неуверенно. Напомним, что только по этому признаку Ф. Н. Красовский предлагал не измерять зенитных расстояний между 11 и 13 часами*. Поэтому целесообразно объединить наши прежние и новые выводы, изложив их так: измерение зенитных расстояний выгоднее всего выполнять в условиях лучшей видимости в период от 8—9 до 17 часов дня.

Тем самым мы практически избежим полуденных часов измерений в жаркую погоду, когда условия видимости плохие, и сможем наблюдать в эти часы при значительной облачности.

§ 13. Сопоставление данных геодезического нивелирования и метеорологических данных

В своей работе мы сделали попытку найти соответствие между данными геодезического нивелирования и метеорологическими данными, исходя из простейших представлений о распределении температуры в приземных слоях воздуха.

По данным метеорологии вертикальный градиент температуры в первом приближении может быть представлен статистической формулой

$$\frac{dT}{dh} = a + \frac{c}{h}, \quad (13.1)$$

где a — градиент температуры в нормальной атмосфере; c — аномальная часть градиента температуры на высоте 1 м над почвой; h — высота над почвой в метрах. Тогда приведенная нами в § 2 формула (2.18) для точечного коэффициента рефракции κ получит вид:

$$\kappa = 668,7 \frac{p}{T^2} \left(0,0342 + a + \frac{c}{h} \right). \quad (13.2)$$

* Красовский Ф. Н. и Данилов В. В. Руководство по высшей геодезии, ч. I, вып. 2, М., Геодезиздат, 1938.

Нами отброшен не имеющий значения член Δx_e . Учитывая же (2.20), получаем

$$x = x_0 + q \frac{c}{h}, \quad (13.3)$$

где x_0 — коэффициент рефракции при данной температуре и давлении в «нормальной» атмосфере; $q = 668,7 \frac{p}{T^2}$.

Для обычных условий в равнинных районах средней полосы летом имеем $p = 740$ мм, $T = 290^\circ$ и $q = 5,9$. Этой величиной q мы будем пользоваться во всех своих расчетах.

Примем, что коэффициент c в формуле (9.1) постоянен в момент измерений для любой вертикали на всем протяжении визирного луча. Это равносильно предположению, что слои воздуха с равными вертикальными градиентами температуры параллельны подстилающей поверхности. Тогда, согласно (1.17) и (13.3), необходимый для обработки геодезического нивелирования коэффициент рефракции k получаем по формуле

$$k = x_0 + \frac{2qc}{s^2} \int_0^s \frac{1}{h} l dl. \quad (13.4)$$

Обозначим по аналогии с (1.17)

$$\frac{1}{h_s} = \frac{2}{s^2} \int_0^s \frac{1}{h} l dl. \quad (13.5)$$

Тогда формула (13.4) получит простой вид, подобный (13.3)

$$k = x_0 + q \frac{c}{h_s}. \quad (13.6)$$

Если бы визирный луч шел параллельно почве, то величина h_s равнялась бы высоте h луча над почвой. Поэтому мы назвали величину h_s эквивалентной высотой. Она не зависит от метеорологических данных и может быть вычислена при наличии профиля линии нивелирования. В дальнейшем увидим, что эта высота является очень удобной характеристикой условий прохождения визирного луча над подстилающей поверхностью.

Пользуясь формулой (13.6) и метеорологическими данными, мы вычислили ожидаемые коэффициенты рефракции для геодезического нивелирования по линии Становое — Кривцы, наблюдаемые коэффициенты рефракции для которой приведены в табл. 11. Эквивалентная высота по этой линии была рассчитана для измерений с площадки № 1 и оказалась равной 9,4 м. Нормальные коэффициенты рефракции подсчитывали по формуле (2.20) для адиабатической атмосферы.

Вычисленные по формуле (13.6) и полученные из измерений коэффициенты рефракции представлены на рис. 21, 22 и 23 (дополнительный масштаб в левой части рисунка позволяет получить поправку δz за рефракцию). Как видно, корреляция между теми и другими коэффициентами довольно хорошая. При всей определенности корреляции нельзя все же говорить о практической возможности вычисления поправок за рефракцию по метеорологическим данным. Это в особенности относится к ночному времени, когда расхождение предвычисленного и наблюдаемого влияния рефракции доходило до нескольких десятков секунд. Очевидно,

что при инверсии температуры распределение ее вдоль одной вертикали плохо отражает распределение температуры в окрестности при радиусе в несколько километров. В дневное время расхождения предвычисленных и наблюдаемых величин δz хотя и доходят до 10—15", но все же не имеют определенного систематического характера и во многом обусловлены неточностью отдельных измерений температуры. Поэтому можно надеяться, что средние значения коэффициентов рефракции, найденные по метеорологическим и геодезическим данным из больших рядов измерений, в дневное время будут близки друг к другу.

Для проверки этого предположения по материалам одновременного одностороннего геодезического нивелирования с трех площадок пункта Становое (см. § 10, табл. 11) мы вычислили средние коэффициенты рефракции, используя все измерения, выполненные между 9 и 17 часами дня, т. е. в период, наиболее выгодный для геодезического нивелирования. Не были приняты во внимание только аномальные наблюдения во второй половине дня 31 июля (см. § 12), а также измерения с отдельных площадок, когда отсутствовали одновременные измерения с других площадок.

По измерениям температуры, выполненным в часы геодезического нивелирования с трех площадок, мы подсчитали среднее значение аномального градиента температуры, которое оказалось равным $c = -0,18$ град/м. Соответствующие этому значению c коэффициенты рефракции приведены в графе I табл. 21. При этом, как и выше, было принято предположение о нормальной адиабатической атмосфере (о значении графы II скажем далее).

Таблица 21

Линия нивелирования	h_z m	Коэффициент рефракции по геодезическим измерениям	Коэффициент рефракции k по метеорологическим данным	
			I	II
С 1—К	9,4	+ 0,02	+ 0,03	+ 0,04
С 2—К	14	+ 0,05	+ 0,07	+ 0,08
С 3—К	19	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,10
С 1—МС	10	+ 0,05	+ 0,04	+ 0,05
С 2—МС	19	+ 0,07	+ 0,09	+ 0,10
С 3—МС	23	+ 0,12	+ 0,10	+ 0,11
С 1—П	5,1	- 0,11	- 0,07	- 0,07
С 2—П	13	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,07
С 3—П	22	+ 0,09	+ 0,09	+ 0,11
С 2—Ж	11	+ 0,08	+ 0,04	+ 0,10
С 3—Ж	17	+ 0,11	+ 0,08	+ 0,12
С 1—Б	14	+ 0,12	+ 0,07	+ 0,09
С 2—Б	26	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,12
С 3—Б	32	+ 0,11	+ 0,11	+ 0,12

Подобным образом были подсчитаны средние коэффициенты рефракций для линий двустороннего нивелирования Становое — Боршева и Становое — Петровское (табл. 22).

Для линии Становое — Боршева были использованы измерения зенитных расстояний и температурные измерения в дневное время между 9 и 17 часами (табл. 12 и прил. V). Не принимались во внимание аномальные наблюдения вечером 17 июля (см. § 12), а также мало-

численные наблюдения с сигналов в III периоде. Для линии Становое — Петровское использовались все измерения между 8 и 17 часами.

Таблица 22

Дата измерения	Число использованных серий	Эквивалентные высоты h_2		c	k по геодезическим измерениям		k по метеорологическим наблюдениям	
		прямая	обратная		прямой	обратный	прямой	обратный
Становое — Боршева								
26—30.VI	14	25,8	30,2	— 0,24	+ 0,098	+ 0,114	+ 0,085	+ 0,093
17—20.VII	21	25,8	30,2	— 0,34	+ 0,103	+ 0,110	+ 0,064	+ 0,075
6—8.IX	10	13,8	12,5	— 0,17	+ 0,106	+ 0,117	+ 0,071	+ 0,064
Становое — Петровское								
16.VIII	9	17,9	8,2	+ 0,05	+ 0,118	+ 0,135	+ 0,149	+ 0,169
17.VIII	9	17,9	8,2	— 0,11	+ 0,109	+ 0,073	+ 0,101	+ 0,062
18.VIII	8	17,9	8,2	— 0,24	+ 0,084	+ 0,006	+ 0,065	— 0,027

Как уже указывалось, метеорологические наблюдения проводились на обоих концах линий двустороннего нивелирования. Для вывода аномального градиента температуры c по линии Становое — Петровское были использованы наблюдения на обоих пунктах нивелирования. При анализе измерений температуры, выполненных во время нивелирования по линии Становое — Боршева, обнаружилось, что градиенты температуры на пункте Боршева больше по абсолютной величине, чем на пункте Становое. Вычисленные по измерениям температуры на пункте Боршева коэффициенты рефракции плохо соответствовали результатам геодезического нивелирования, даже исполненного с того же пункта Боршева. Это можно объяснить условиями прохождения визирного луча и особенностями расположения названных пунктов. Визирный луч по линии Становое — Боршева проходил над обработанными полями и частично над лесом. Сигнал Становое также располагался среди обработанного поля, между тем как пункт Боршева находился на земельном участке, который много лет не перепахивался и был покрыт невысокой луговой растительностью. Так как градиенты температуры в приземном слое воздуха в большой мере зависят от растительного покрова, то измерения температуры на пункте Становое лучше давали представление о значениях ее градиентов по линии нивелирования. Поэтому и при вычислении градиентов мы пользовались только данными, полученными на пункте Становое.

Характерно, что наибольшие расхождения «геодезических» и «метеорологических» коэффициентов рефракции замечаются для линий Становое — Боршева и Становое — Жирошкино, которые в какой-то части располагаются над лесом. В виде опыта мы приняли, что над лесом градиенты температуры в два раза меньше, чем над почвой* (такое предположение вполне оправдано, см. § 3), и получили для линии Становое — Боршева следующие значения «метеорологических» коэффициентов рефракции (в скобках даны «геодезические» коэффициенты):

* Удобнее всего оказалось принять новые значения эквивалентных высот, удвоив при их вычислении по профилю линии нивелирования высоты прохождения визирного луча над лесом. Новые значения h_2 для линии Становое — Боршева и Становое — Жирошкино приведены в табл. 28.

	Прямое нивелирование	Обратное нивелирование
Июнь	+0,091 (+0,098)	+0,100 (+0,114)
Июль	+0,071 (+0,103)	+0,085 (+0,110)
Сентябрь	+0,088 (+0,106)	+0,084 (+0,117)

Если, кроме того, при вычислениях принять гипотезу стандартной атмосферы, для которой $a = -0,0065 \text{ град/м}$, то получим

	Прямое нивелирование	Обратное нивелирование
Июнь	+0,105 (+0,098)	+0,115 (+0,114)
Июль	+0,089 (+0,103)	+0,101 (+0,110)
Сентябрь	+0,104 (+0,106)	+0,099 (+0,117)

Вычисленные при тех же предположениях о градиентах температуры над лесом и строении нормальной атмосферы коэффициенты рефракции для линий одностороннего нивелирования приведены в графе II табл. 21.

Таким образом, мы получили хорошую сходимость результатов вычислений по геодезическим и метеорологическим данным, особенно, если принять гипотезу нормальной стандартной атмосферы. Значит, при больших расстояниях оправдываются те представления о распределении температуры в атмосфере, которые положены в основу определения эквивалентной высоты.

Отметим особо, что по метеорологическим данным и эквивалентным высотам определяется порядок и знак Δh систематического влияния рефракции на превышение, полученное методом двустороннего нивелирования. Это видно из табл. 23.

Таблица 23

Линия нивелирования	Дата измерений	Δh (м) по данным:	
		геодезическим	метеорологическим
Становое— Боршева	26—30.VI	+ 0,07	+ 0,10
	17—20.VII	+ 0,08	+ 0,15
	6— 8.IX	+ 0,12	— 0,04
Становое— Петровское	16.VIII	+ 0,09	+ 0,11
	17.VIII	— 0,20	— 0,21
	18.VIII	— 0,43	— 0,51

Величину Δh подсчитывали по формуле

$$\Delta h = \frac{k_{\text{обр.}} - k_{\text{пр.}}}{4R} s^2, \quad (13.7)$$

используя данные, приведенные выше.

Рассмотрим теперь, как согласуются метеорологические данные и данные геодезического нивелирования на малые расстояния. При этом используем результаты одностороннего нивелирования с пункта Становое на пункт Кривцы и точки № 1, 2, 3, 4 (приложение IV). По отдельным группам измерений, указанных в § 11, мы вычислили средние коэффициенты рефракции для периода дня между 8 и 18 часами (табл. 24). При этом не были использованы только измерения, выполненные во время и после дождя 2 августа. Так же, как и раньше, вычислили по метеорологическим наблюдениям во время геодезического нивелирования

средние аномальные градиенты температуры s (табл. 25) и соответствующие им коэффициенты рефракции (см. табл. 24), основываясь на той же гипотезе нормальной адиабатической атмосферы.

Таблица 24

Название пунктов	$h, м$	Ясная погода		Переменная погода		Пасмурная погода	
		$k_{\text{геод.}}$	$k_{\text{мет.}}$	$k_{\text{геод.}}$	$k_{\text{мет.}}$	$k_{\text{геод.}}$	$k_{\text{мет.}}$
Кривцы	9,4	- 0,06	- 0,02	+ 0,02	+ 0,01	+ 0,08	+ 0,09
Точка 4в	6,2	- 0,22	- 0,10	- 0,12	- 0,06	+ 0,06	+ 0,06
4н	5,7	- 0,36	- 0,12	- 0,23	- 0,08	- 0,04	+ 0,05
3в	4,6	- 0,46	- 0,18	- 0,26	- 0,13	0,00	+ 0,03
3н	3,9	- 0,61	- 0,24	- 0,39	- 0,17	- 0,05	+ 0,01
2в	3,7	- 0,77	- 0,26	- 0,46	- 0,19	- 0,05	0,00
2н	2,7	- 1,11	- 0,40	- 0,68	- 0,31	- 0,11	- 0,05
1в	3,6	- 0,93	- 0,27	- 0,38	- 0,20	+ 0,20	0,00
1н	3,1	- 0,98	- 0,33	- 0,65	- 0,26	+ 0,09	- 0,02

Таблица 25

Условия погоды	s по температуре измерения	s_m по измерениям зенитных расстояний точки								
		Кривцы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
Ясно	-0,26	-0,33	-0,40	-0,51	-0,49	-0,52	-0,60	-0,61	-0,70	-0,70
Переменно	-0,23	-0,20	-0,29	-0,38	-0,33	-0,37	-0,40	-0,40	-0,34	-0,49
Пасмурно	-0,09	-0,10	-0,09	-0,18	-0,12	-0,13	-0,12	-0,12	+0,03	-0,13

Как видно, расхождения между геодезическими и метеорологическими коэффициентами рефракции столь велики, что можно говорить лишь об известной их корреляции. Причиной этих расхождений не могли быть систематические ошибки геодезических измерений. Если подсчитать на основании табл. 15 их возможное влияние на наблюдаемые коэффициенты, то оно будет составлять для направления на:

пункт Кривцы	$\pm 0,015$
точку № 4	$\pm 0, 03$
" № 3	$\pm 0, 05$
" № 2	$\pm 0, 07$
" № 1	$\pm 0, 17$

Главной причиной расхождений указанных коэффициентов не могли быть и ошибки измерения температуры. Это показывает табл. 25, в которой приведены величины градиентов температуры, выведенные по метеорологическим наблюдениям на пункте Становое, и средние интегральные градиенты s_m температуры для каждой линии визирования, найденные по формуле (13.6) по «геодезическим» коэффициентам рефракции. Если бы только измерения температуры были ошибочны, то величины s_m , выведенные по разным геодезическим измерениям, совпали. На самом деле величины s_m довольно близки к величинам s при наблюдениях на пункт Кривцы, но по мере уменьшения длины визирного

луча расхождения s и s_m увеличиваются. Имеется своеобразное положение, когда измерения температуры на пункте Становое меньше характеризуют ближайшие окрестности пункта, чем линии визирования большого протяжения. Такое на первый взгляд парадоксальное положение вполне можно объяснить тем, что ближайшие точки № 1 и № 2 располагались в низине, ограниченной с двух сторон возвышенностью, на которой находился пункт Становое, и с одной стороны лесом. По многочисленным наблюдениям метеорологов известно, что в замкнутых низинах градиенты температуры больше, чем на соседних возвышенностях. Это связано, как указывалось в § 3, с уменьшением коэффициентов турбулентного обмена в низинах в пределах защитного действия возвышенностей и должно быть особенно значительным в ветренную погоду. Действительно, по данным метеорологических наблюдений, при измерениях зенитных расстояний в ясную погоду, когда расхождение s и s_m особенно велики, постоянно дул умеренный юго-западный ветер, от которого низина была закрыта лесом.

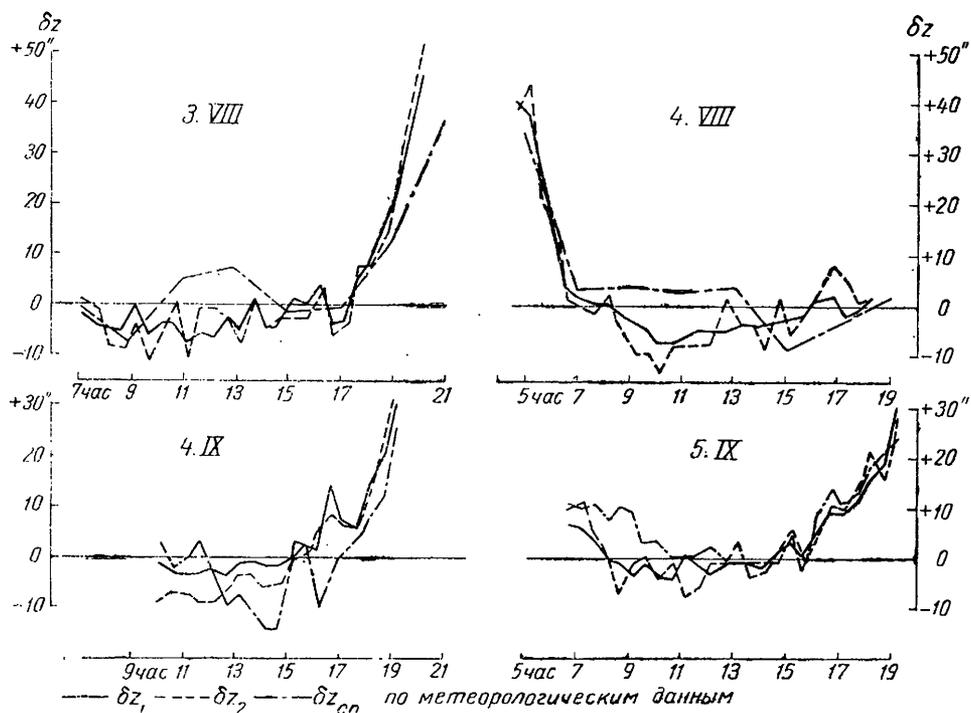


Рис. 29

Таким образом, при малых расстояниях местные особенности рельефа (а также, повидимому, и почвенного покрова) могут привести к значительным расхождениям «геодезических» коэффициентов рефракции и «метеорологических» коэффициентов, определенных по весьма упрощенной формуле с использованием измерений температуры только по одной вертикали вблизи точки стояния инструмента.

Удовлетворительное количественное соответствие между геодезическими и метеорологическими данными обнаруживается лишь при расстоянии в 2 км и более. Это подтверждает рис. 29, на котором показано суточное изменение влияния рефракции для линии Становое — точка № 4 во время двустороннего пивелирования. Для вывода δz из метеорологи-

ческих данных были использованы специальные измерения температуры, которые проводились на обоих концах линии Становое — точка № 4. Применялась формула, вытекающая из (13.6),

$$\delta z = \frac{\rho''}{2R} s \left(x_0 + q \frac{c}{h_0} \right). \quad (13.8)$$

Так как эквивалентные высоты для прямых и обратных измерений оказались близки друг к другу (5,7 м и 4,6 м), было принято в вычислениях среднее из этих высот. Снова приходим к выводу о том, что применительно к геодезическому нивелированию на расстояния, обычные в триангуляции, упрощенные представления о структуре приземных слоев воздуха оправданы.

§ 14. Зависимость точности геодезического нивелирования от высоты и длины визирного луча

Результаты исследований, представленные в предыдущем параграфе, позволяют вывести статистические зависимости между точностью геодезического нивелирования и высотой и длиной визирного луча. Введем следующие определения:

Устойчивое влияние рефракции — такое ее влияние на геодезическое нивелирование, которое было бы при некоторых «средних» условиях погоды в период измерений, т. е. при некотором среднем значении температуры, давления, нормального и аномальных градиентов температуры.

Неустойчивое влияние рефракции — колебания влияния рефракции, связанные с изменением состояния атмосферы. Устойчивое влияние рефракции нельзя выявить только по измерениям зенитных расстояний; его получают при сопоставлении их результатов с результатами геометрического нивелирования. Неустойчивое влияние рефракции можно оценить по колебаниям измеренных зенитных расстояний во времени. Наиболее быстрые чисто случайные колебания рефракции влияют на дисперсию измерений внутри отдельных серий последовательных приемов измерений. Их влияние трудно отделить от влияния других случайных ошибок измерений нерелаксионного происхождения. Практически оно наименее опасно, так как может быть ослаблено простым увеличением числа приемов. По этим причинам мы в дальнейшем будем изучать лишь такие колебания рефракции, которые выражены в изменениях средних зенитных расстояний при переходе от одной серии к другой.

Согласно (1.16), влияние рефракции на точность одностороннего нивелирования равно

$$m_n' = \frac{s^2}{2R} m_k. \quad (14.1)$$

Если в обработке геодезического нивелирования принят коэффициент рефракции k_0 , то устойчивое влияние рефракции на точность одностороннего нивелирования будет равно

$$\overline{m_n} = \overline{m_k} \frac{s^2}{2R}, \quad (14.2)$$

где $\overline{m_k}$ — среднее квадратическое значение разностей $(k - k_0)$, которое в соответствии с формулой (13.6) имеет вид

$$\overline{m_k} = \left(x_0 + q \frac{c}{h_0} \right) - k_0,$$

причем x_0 и c будут постоянными, относящимися к «средним» условиям погоды.

Чтобы выяснить, как влияет неустойчивость различных метеорологических элементов на точность геодезического нивелирования, продифференцируем (1.17) и получим

$$\Delta k = \frac{2}{s^2} \int_0^s \Delta x \, dl. \quad (14.3)$$

Однако Δx , согласно (13.2), можно представить в виде

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta p}{p} \frac{2\Delta T}{T} + \frac{\Delta a + \frac{\Delta c}{h}}{0,0342 + a + \frac{c}{h}},$$

откуда с учетом (13.3) имеем

$$\Delta x = x \frac{\Delta p}{p} - 2x \frac{\Delta T}{T} + q \Delta a + q \frac{\Delta c}{h}.$$

Подставляя эту величину в (14.3) и принимая во внимание (1.17) и (13.5), получаем

$$\Delta k = k \frac{\Delta p}{p} - 2k \frac{\Delta T}{T} + q \Delta a + \frac{q}{h_s} \Delta c_m. \quad (14.4)$$

Эту формулу мы написали в таком виде потому, что только изменения давления, температуры и ее нормального градиента можно практически положить одинаковыми для всех точек визирного луча. Величиной c_m обозначили некоторое среднее значение c на всем протяжении визирного луча.

Как было указано в § 2, влиянием изменений давления всегда можно пренебречь. Принимая среднее квадратическое колебание температуры порядка $\pm 5^\circ$, находим, что соответствующее среднее изменение коэффициента рефракции (при $k = 0,14$ и $T = 290^\circ$) равно

$$m_k^{(T)} = \pm 0,005. \quad (14.5)$$

В § 3 указывалось, что колебания коэффициента рефракции на больших высотах из-за изменений нормального градиента температуры происходят в пределах 0,04. На этом основании среднее квадратическое колебание коэффициента рефракции относительно его некоторого среднего значения можно положить равным

$$m_k^{(a)} = \pm 0,010. \quad (14.6)$$

Амплитуды колебаний аномальных градиентов температуры в разных точках отличаются и систематически из-за местных особенностей подстилающей поверхности, и случайно из-за преходящих изменений ее теплового баланса, связанных с прохождением облачности, выпадением осадков и пр. Чем больше длина визирного луча, тем значительнее происходит осреднение колебаний величин c вдоль визирного луча и тем меньше среднее квадратическое колебание величины c_m . Можно поэтому приближенно принять

$$m_k^{(c)} = \pm f \frac{s^t}{h_s}, \quad (14.7)$$

где f — множитель, зависящий от интенсивности колебаний аномальных градиентов температуры вдоль одной вертикали,

t — показатель степени, величина которого меньше нуля.

Соответственно с этим влияние рефракции на дисперсию зенитных расстояний от серии измерений к серии равняется

$$m_z = \pm F'' \frac{s^{t+1}}{h_s}, \quad (14.8)$$

где $F'' = \frac{f\rho''}{2R}$.

Для проверки формулы (14.8) были использованы материалы одностороннего нивелирования на малые расстояния. Для группы измерений в ясную, переменную и пасмурную погоду по всем наблюдениям, выполненным в дневное время между 8 и 18 часами, были вычислены среднее значение δz и среднее квадратическое отклонение $\overline{m_z}$ отдельных значений δz от среднего. На величину $\overline{m_z}$ повлияли не только рассматриваемая нами неустойчивая часть рефракции, но и чисто случайные ошибки μ_z . Используя данные табл. 16 в § 11, мы исключили влияние последних и нашли величины m_z по формуле

$$m_z = \sqrt{\overline{m_z^2} - \mu_z^2},$$

которые приведены в табл. 26.

Эти величины характеризуют колебания рефракции при однообразных условиях погоды. Как видно, колебания влияния рефракции увеличиваются либо при увеличении длины визирного луча, либо при уменьшении его эквивалентной высоты. Представим в соответствии с (14.8) эту зависимость формулой

$$m_z = \pm F s^{t+1} h_s^b. \quad (14.9)$$

Определив коэффициенты F , t и b по результатам наблюдений из уравнений вида

$$\lg m_z = \lg F + (1 + t) \lg s + b \lg h_s,$$

для рассматриваемых условий получили

$$\begin{aligned} F &= 13'', \\ t &= -\frac{1}{3}, \\ b &= -1, \end{aligned}$$

выражая h_s в метрах, а s — в километрах. Таким образом, с достаточной для расчетов точностью можно принять

$$m_z = 13'' \frac{s^{2/3}}{h_s}. \quad (14.10)$$

Как видно из табл. 26, величины m_z , найденные по формуле (14.10), мало отличаются от фактических данных.

Дополнительно нами были рассмотрены уклонения влияния рефракции от ее средних значений, выведенных в целом по всем материалам измерений между 8 и 18 часами без подразделения их на группы по условиям погоды. Соответствующие величины m_z характеризуют точность нивелирования, когда измерения прямых и обратных зенитных расстояний сколько угодно отличаются по датам исполнения и, следовательно, по условиям погоды. Найденные величины m_z неустойчивого влияния

Таблица 26

Название пунктов	h_3	Величина m_z в условиях погоды			$13'' \frac{s^{2/3}}{h_3}$
		ясной	переменной	пасмурной	
Кривцы	9,4 м	$\pm 3'',8$	$\pm 3'',8$	$\pm 4'',5$	$\pm 3'',7$
Точка 4в	6,2	2,5	3,5	2,8	3,3
4н	5,7	4,1	3,3	3,7	3,6
• 3в	4,6	3,2	3,2	3,1	3,7
3н	3,9	4,5	4,4	3,8	4,3
• 2в	3,7	3,3	3,1	2,1	3,5
2н	2,7	4,8	4,4	4,2	4,8
• 1в	3,6	2,1	2,6	1,4	2,3
1н	3,1	2,6	1,9	1,5	2,6

рефракции приведены в табл. 27. Определяя вновь по ним параметры формулы (14.9), попрежнему получили

$$t = -\frac{1}{3}; \quad b = -1,$$

но при этом коэффициент F оказался равным $19''$.

Таблица 27

Название пунктов	m_z	$19'' \frac{s^{2/3}}{h_3}$
Кривцы	$\pm 5'',4$	$\pm 5'',5$
Точка 4в	4,5	4,9
4н	5,4	5,3
• 3в	5,3	5,4
3н	6,7	6,4
• 2в	5,2	5,1
2н	7,5	7,1
• 1в	4,0	3,3
1н	3,4	3,8

Таким образом, в зависимости от устойчивости погоды коэффициент F менялся в пределах 13 — $19''$.

Проверим теперь эмпирически выведенную формулу

$$m_z = F'' \frac{s^{2/3}}{h_3} \quad (14.11)$$

на всех наших данных, относящихся к расстояниям более 2 км. По всем измерениям, выполненным между 9 и 17 часами, мы вычислили m_z таким же образом, как и для одностороннего нивелирования. Только при анализе результатов двустороннего нивелирования, где имеются средние значения зенитных расстояний по сериям из 4—8 приемов, можно было сразу получать величины m_z , минуя m_z и μ_z . Не принимались во внимание «аномальные» результаты (см. § 12).

В соответствии с (14.5), (14.6) и (14.11) ожидаемые величины m_z находили по формуле

$$m_z^2 = \rho^{n^2}(0,005^2 + 0,01^2) \frac{s^2}{4R^2} + \left(F'' \frac{s^{\frac{3}{2}}}{h_s} \right)^2,$$

откуда

$$m_z^2 = (0'',18 s)^2 + \left(F'' \frac{s^{\frac{3}{2}}}{h_s} \right)^2. \quad (14.12)$$

Поскольку измерения зенитных расстояний во всех исследованиях, кроме двустороннего нивелирования по линии Становое — Петровское, выполнялись в условиях устойчивой погоды, то для них при расчетах приняли $F = 13''$. Для измерений же при двустороннем нивелировании по линии Становое — Петровское, которое производилось в условиях неустойчивой погоды, было принято $F = 19''$.

Таблица 28

Линия нивелирования	s км	h_s м	m_z фактическая ± "	m_z ожидаемая ± "
Становое (пл. № 2)—Боршева	16,86	30,2	3,6	3,7
Боршева—Становое (пл. № 2)	16,86	35,6	3,6	3,5
Становое (пл. № 3)—Петровское	11,92	17,9	4,2	5,5
Петровское—Становое (пл. № 3)	11,92	8,2	13,9	12,2
Становое—точка № 4	2,00	5,7	2,9	3,6
Точка № 4—Становое	2,00	4,6	4,9	4,5
Становое (пл. № 1)—Боршева	16,86	18	3,3	5,4
Становое (пл. № 2)—Боршева	16,86	28	4,4	3,8
Становое (пл. № 3)—Боршева	16,86	34	3,8	3,5
Становое (пл. № 2)—Жирошкино	13,95	19	3,3	4,5
Становое (пл. № 3)—Жирошкино	13,95	28	3,7	3,4
Становое (пл. № 1)—Петровское	11,92	5,1	12,6	13,3
Становое (пл. № 2)—Петровское	11,92	13	5,8	5,5
Становое (пл. № 3)—Петровское	11,92	22	5,0	3,6
Становое (пл. № 1)—Мих. Слобода	7,25	10	4,0	5,0
Становое (пл. № 2)—Мих. Слобода	7,25	19	2,7	2,8
Становое (пл. № 3)—Мих. Слобода	7,25	23	1,9	2,4
Становое (пл. № 1)—Кривцы	4,43	9,4	3,9	3,8
Становое (пл. № 2)—Кривцы	4,43	14	2,7	2,6
Становое (пл. № 3)—Кривцы	4,43	19	2,6	2,0

Как видно из табл. 28, соответственные величины m_z , предвычисленные по формуле (14.12) и полученные из измерений, мало различаются. Возвращаясь к формуле (14.7), получаем

$$m_k^{(c)} = \pm \frac{f}{\sqrt[3]{s h_s}}, \quad (14.13)$$

где s — в километрах, а h_s — в метрах; f — по нашим данным равно 0,9—1,2.

Таким образом, влияние неустойчивой рефракции на точность одностороннего нивелирования равно

$$m_h' = \frac{s^2}{2R} \sqrt{(m_k^T)^2 + (m_k^a)^2 + (m_k^c)^2} = \frac{s^2}{2R} \sqrt{(0,010)^2 + (0,005)^2 + \left(\frac{f}{\sqrt[3]{s h_s}}\right)^2}. \quad (14.14)$$

Выведем теперь расчетные формулы для точности двустороннего нивелирования. В соответствии с (13.5) влияние устойчивой рефракции на отдельное превышение равняется

$$\Delta h = \frac{s^2}{4R} (k_{обр.} - k_{пр.}) = \frac{s^2}{4R} qc \left(\frac{1}{h_{s\text{обр.}}} - \frac{1}{h_{s\text{пр.}}} \right).$$

В среднем по большому материалу измерений можно положить

$$\frac{1}{h_{s\text{обр.}}} - \frac{1}{h_{s\text{пр.}}} = \frac{(h_{s\text{пр.}} - h_{s\text{обр.}})_{ср.}}{h_{s\text{ср.}}^2}$$

или, опуская индексы «ср» и обозначая $(h_{s\text{пр.}} - h_{s\text{обр.}}) = \Delta h_s$, получаем среднее квадратическое влияние устойчивой рефракции равным

$$\overline{m_h} = \frac{qc}{4R} \frac{s^2}{h_s} \frac{\Delta h_s}{h_s}.$$

Полагая $q = 5,9$, получаем

$$\overline{m_h} = \frac{5,9}{4R} \frac{s^2}{h_s} \frac{\Delta h_s}{h_s}. \quad (14.15)$$

Неустойчивое влияние рефракции в наиболее часто встречающемся случае, когда прямые и обратные зенитные расстояния измеряют одновременно, будет равно

$$m_h = \frac{m_h'}{\sqrt{2}}. \quad (14.16)$$

Теперь мы имеем все необходимые формулы для расчета точности геодезического нивелирования применительно к тем или иным условиям измерений. Величины s , h_s , $\frac{\Delta h_s}{h_s}$ характеризуют длины сторон нивелирования и их расположение относительно поверхности земли. Величины F , f и c зависят от метеорологических условий во время наблюдений. В дальнейшем мы попытаемся установить, каковы эти величины для тех или иных условий измерений. В главе IV попытаемся, кроме того, численно оценить устойчивое и неустойчивое влияние рефракции на результаты геодезического нивелирования в одной из производственных сетей.

§ 15. Особые случаи применения геодезического нивелирования

В предыдущих параграфах мы рассматривали геодезическое нивелирование как метод высотного обоснования, при котором измерения зенитных расстояний выполняют на пунктах триангуляции. Выясним теперь некоторые возможности самостоятельного применения геодезического нивелирования.

а) Одновременное двустороннее геодезическое нивелирование. Такого рода измерения нами выполнялись как по длинным, так и по коротким линиям. Результаты их представлены в табл. 12, 14, 17 и 18 в графах δh .

Оказывается, что в тех случаях, когда профиль линии нивелирования «симметричен» относительно визирного луча, т. е. $h_{з. пр.} \approx h_{з. обр.}$, одновременное геодезическое нивелирование дает большую точность, чем неодновременное. Значительно увеличивается также выгоднейшее время для нивелирования. По линии Становое — точка № 4 ($s = 2$ км) практически все дневное время оказалось пригодным для измерений, по линии Становое — Боршева — период дня между 7 и 20 часами. Результаты нивелирования были плохими лишь после грозы 17 июля (табл. 12). Коэффициент рефракции в каждом случае оказывался заметно большим вблизи того пункта, где была гроза. Если исключить эти аномальные данные, то двустороннее нивелирование дает результат, представленный в табл. 29.

Таблица 29

Линия нивелирования	Δh	m_h	
		для одновременного нивелирования	для неодновременного нивелирования
Становое—Боршева	+ 0,10 м	$\pm 0,14$ м	$\pm 0,21$ м
Становое—точка № 4	— 0,006	0,018	0,028

В ней обозначено через Δh устойчивое влияние рефракции, через m_h — неустойчивое влияние, которое для неодновременного нивелирования рассчитывалось по формуле

$$m_h^2 = \frac{m_{з. пр.}^2 + m_{з. обр.}^2}{4} s^2. \quad (15.1)$$

Величины $m_{з. пр.}$ и $m_{з. обр.}$ выбирались из табл. 28.

В тех случаях, когда профиль линии нивелирования «несимметричен» (линия Становое — Петровское и Становое — точка № 5), одновременное нивелирование заметно отличалось по точности от неодновременного либо только в часы наилучших изображений (по линии Становое — точка № 5), либо вообще не отличалось (Становое — Петровское).

Таким образом, применяя метод одновременного двустороннего нивелирования, нужно тщательно следить за тем, чтобы во всех отношениях условия измерений на обоих концах линии нивелирования были сходными.

б) Геодезическое нивелирование при расстояниях менее 2 км. При расстояниях менее 2 км геодезическое нивелирование до последнего времени проводилось только инструментами невысокой точности (теодолитами-тахеометрами, кипрегелями). Как показывают наши исследования, если расстояния до наблюдаемых пунктов меньше 5 км, то влияние рефракции на зенитные расстояния в дневное время не превышает 20". Понятно, что такой величиной можно пренебречь, когда зенитные расстояния измеряются инструментами одноминутной точности. Точно так же не имеет никакого смысла учитывать влияние рефракции при помощи коэффициента рефракции + 0,14, как это рекомендуется инструкциями по топографическим съемкам. Рисунок 28 ясно показывает, что такая «поправка за рефракцию» совершенно не отражает типичного состояния самого нижнего слоя атмосферы толщиной 5—8 м в дневное время.

Есть, однако, технические возможности уменьшить погрешности геодезического нивелирования на малых расстояниях до тех пределов, которые ограничиваются ошибками рефракционного происхождения. Эти возможности выявились, например, в связи со значительным повышением точности дальномерных измерений. Чтобы выяснит указанные возможности, используем материалы геодезического нивелирования по линии Становое — точка № 5 длиной в 1 км.

Наблюдения по этой линии проводились в основном в самые жаркие дни июля. Подстилающей поверхностью являлось поле, с которого незадолго до начала нашей работы скосили кормовые травы, профиль ее был резко асимметричен относительно линии визирования. Если при наблюдениях с пункта Становое ($h_s = 3,35$ м) визирный луч сразу «отрывался» от земли, то при наблюдениях с пункта № 5 ($h_s = 2,2$ м) высота визирного луча на протяжении более 100 м не превышала 1,6 м. Все это давало основание ожидать, что влияние рефракции на результаты двустороннего геодезического нивелирования по линии Становое — точка № 5 будет довольно значительным.

Наблюдения 14 августа выполнялись в период времени, характеризовавшийся повышенной влажностью почвы и воздуха и интенсивным испарением в дневное время, а также сильными ночными и утренними туманами, которые препятствовали наблюдениям даже самых близких пунктов.

Для наглядности поправки прямого и обратного зенитного расстояния по линии Становое — точка № 5 за влияние рефракции по наблюдениям каждого дня в отдельности представлены графически на рис. 30,

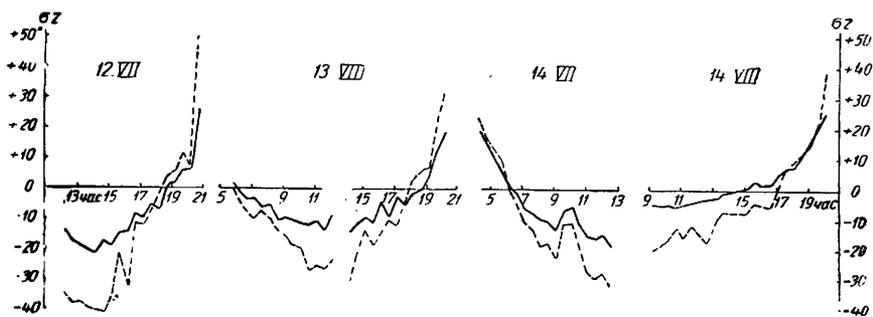


Рис. 30

на котором они показаны соответственно сплошной и пунктирной линиями. На этих графиках обращает на себя особое внимание прежде всего то, что различие влияний рефракции на прямое и обратное зенитное расстояния доходит до $20''$ в полуденное время и постепенно уменьшается по мере приближения к моментам разрушения и наступления инверсии температуры (около 5—6 и 18—19 часов). В этом случае уже не замечается устойчивости влияния рефракции, особенно по наблюдениям на точке № 5, от которой визирный луч на значительном протяжении шел очень низко над почвой. Обычное дневное изменение влияния рефракции на зенитные расстояния оказалось нарушенным 14 августа во второй половине дня (повидимому из-за сильного испарения рано наступила инверсия температуры). По этой причине результаты наблюдений 14 августа в дальнейшем не используем. Используя только результаты наблюдений 12—14 июля, мы составили табл. 30.

Таблица 30

Время дня час мин	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—19.30
Число использованных серий измерений	8	8	7	8	8	8	6
Δz_1	— 3",6	— 9",5	— 11",9	— 15",9	— 14",8	— 7",2	— 0",3
m_{z_1}	± 3,2	± 2,5	± 3,3	± 4,4	± 4,4	± 3,8	± 3,7
Δz_2	— 7,0	— 16,1	— 23,2	— 33,1	— 27,6	— 12,9	+ 3,2
m_{z_2}	± 5,2	± 4,5	± 6,3	± 5,7	± 10,5	± 8,4	± 5,2
Δh в мм	— 8	— 16	— 28	— 43	— 32	— 14	+ 9
m_h в мм	± 15	± 13	± 18	± 18	± 28	± 23	± 16

В таблице Δz_1 и Δz_2 — среднее влияние рефракции на измеренные зенитные расстояния в соответствующие часы дня; m_{z_1} и m_{z_2} — среднее квадратическое отклонение отдельных величин δz_1 и δz_2 (см. табл. 18) от Δz_1 и Δz_2 , причем индекс «1» соответствует направлению Становое — точка № 5, индекс «2» — обратному направлению; Δh — средняя ошибка одновременного двустороннего нивелирования; m_h — ожидаемая ошибка неодновременного двустороннего нивелирования, полученная по формуле (15.1).

Из таблицы видно, что неустойчивое влияние рефракции m_z мало менялось в течение дня (отдельные случаи заметных изменений этого влияния вполне объясняются неточностью его вывода по результатам измерений только в течение двух-трех дней). Систематическое же влияние рефракции Δh на двустороннее геодезическое нивелирование менялось в течение дня и между 10 и 16 часами превышало ее случайное влияние. Отсюда приходим к выводу, что в ясную жаркую погоду при небольшой высоте визирного луча над почвой и достаточной точности измерения зенитных расстояний ограничение времени наблюдений утренним (до 10 час) и вечерним (после 16 час) периодами привело бы к повышению точности геодезического нивелирования при малых расстояниях. Однако оно безусловно не должно проводиться в течение 1—2 часов после восхода и до захода солнца.

Таблица 31

Период наблюдения	Δz_1	m_{z_1}	Δz_2	m_{z_2}	Δh мм	m_h	$\sqrt{\Delta h^2 + m_h^2}$
От 8 до 18 час	— 9",9	± 5",1	— 22",6	± 10",1	— 32	± 27	± 42
• 6—10 до 16—19 час 30 мин	— 5,1	4,5	— 8,0	10,4	— 8	27	28
• 8—10 до 16—18 час	— 8,4	3,2	— 14,5	6,8	— 15	19	24

Этот вывод еще лучше подтверждается таблицей 31, в которой приведена сравнительная характеристика влияния рефракции по различным

промежуткам дневного времени. Напомним, что период от 8 до 18 часов оказался, по нашим исследованиям, наиболее благоприятным для геодезического нивелирования при большой длине визирного луча. Согласно же данным, приведенным в табл. 31, при расстоянии в 1 км его можно принять практически равным периоду времени, наилучшему для проведения геометрического нивелирования и дальномерных измерений, т. е. периоду времени с 6 до 10 час и с 16 до 19 час 30 мин.

При надлежащей постановке работ точность геодезического нивелирования при расстояниях между пунктами до 1 км даже в сложных внешних условиях оказывается не намного грубее точности технического нивелирования. Эта точность может быть еще повышена, если измерения прямых и обратных зенитных расстояний выполнять по времени как можно ближе одно к другому. Данный вывод подтверждается следующими расчетами по материалам двустороннего геодезического нивелирования по линии Становое — точка № 5. Мы разбили материал наблюдений каждого дня по группам, соответствующим двухчасовым промежуткам времени. В каждом из этих промежутков были найдены соответственно для измерений прямых и обратных зенитных расстояний средние величины (Δz_1 , Δz_2 , m_{z_1} , m_{z_2}). Далее, пользуясь этими данными, мы оценили систематическое (Δh) и случайное (m_h) влияния рефракции на точность одновременного двустороннего нивелирования, при этом измерения взаимных зенитных расстояний отличались не более чем на 2 часа. В среднем по всем двухчасовым промежуткам между 4 и 19 часами мы получили следующие характеристики влияния рефракции:

$$m_{z_1} = \pm 3'',4,$$

$$m_{z_2} = \pm 5'',4,$$

$$\Delta h = \frac{\Delta z_1 - \Delta z_2}{2} \frac{s}{\rho''} = -22 \text{ мм},$$

$$m_h = \pm 16 \text{ мм},$$

$$\sqrt{(\Delta h)^2 + m_h^2} = 27 \text{ мм},$$

которые значительно меньше соответствующих величин, приведенных в первой строке табл. 31 и относящихся к более ограниченному периоду дня. Если не принимать во внимание измерений, выполненных при плохом качестве изображений, т. е. при характеристике изображений в 1 и 2 балла, то получим

$$m_{z_1} = \pm 3'',4,$$

$$m_{z_2} = \pm 5'',2,$$

$$\Delta h = -12 \text{ мм},$$

$$m_h = \pm 16 \text{ мм},$$

$$\sqrt{(\Delta h)^2 + m_h^2} = \pm 20 \text{ мм}.$$

Таким образом, ограничение времени наблюдений часами хороших и удовлетворительных изображений и в этом случае приводит к значительному ослаблению систематического влияния рефракции на точность двустороннего геодезического нивелирования при небольшой высоте и длине визирного луча.

Глава III

АНАЛИЗ ВАЖНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМНОЙ РЕФРАКЦИИ

§ 16. Исследование земной рефракции на Северном Кавказе

По вопросам геодезического нивелирования в прошлом были выполнены довольно крупные исследования. К этим исследованиям относится прежде всего работа по определению разности уровней Черного и Каспийского морей, выполненная отечественными астрономами и геодезистами А. Савичем, Г. Саблером и Г. Фуссом в 1836—1837 гг. под научным руководством В. Я. Струве. Результаты этой работы, в которой применялся метод геодезического нивелирования, описаны ее участниками в ряде трудов, явившихся в свое время большим вкладом в развитие геодезии. Наиболее полно описал работу В. Я. Струве, тщательно обработав ее результаты и впервые всесторонне рассмотрев вопросы о влиянии земной рефракции на точность геодезического нивелирования*.

Не входя в подробности исследований В. Я. Струве, изложенные в статье Б. Н. Рабиновича**, напомним здесь некоторые основные его мысли и выводы, которые с течением времени были незаслуженно забыты, и покажем, что они вполне согласуются с нашими выводами. В работе В. Я. Струве содержатся обширные материалы измерений, которые по точности не уступают современным измерениям.

Линия геодезического нивелирования, выполненного для определения разности уровней Черного и Каспийского морей, имела общее протяжение около 880 км и проходила от станции Кагальницкой вблизи устья Дона через Ставрополь, Георгиевск, Моздок и Кизляр до деревни Черный Рынок на Каспийском море. Для определения расстояний между смежными пунктами нивелирования в этой работе был впервые применен один из методов параллактической полигонометрии. Отдельные звенья полигонометрии имели форму ромбов, в которых малые диагонали длиной около 300 м измерялись непосредственно при помощи жезлов по бечеве, а большие диагонали длиной в среднем около 7 км определялись из тригонометрических вычислений. Углы на концах малых диагоналей (базисные пункты) измерялись с точностью до 6", а на концах больших диагоналей (основные пункты) измерялись с точностью до 1". Ошибка определения длины больших диагоналей и сторон ромбов составляла не более 1 : 35 000.

* *Struwe W. Beschreibung der zur Ermittlung des Höhenunterschiedes dem Schwarzen und dem Caspischen Meere... ausgeführten Messungen.* СПб, 1849.

** Рабинович Б. Н. Методы и средства, примененные русскими геодезистами в 1836—1937 гг. при определении разности уровней Черного и Каспийского морей. Труды МИИГАиК, вып. 18, М., Геодезиздат, 1954.

Зенитные расстояния по сторонам и большим диагоналям ромбов измерялись с особой тщательностью, так что ошибки собственно измерений в одном приеме не превышали $\pm 2''{,}5$. Из всех наблюдений В. Я. Струве составил пять независимых передач высоты и получил разность уровней Каспийского и Черного морей с ошибкой, которая по внутренней сходимости оказалась равной всего лишь $\pm 0{,}40$ мм и которая, конечно, свидетельствует о превосходных результатах всей этой работы. Кроме того, по ходу нивелирования делали засечки на четыре вершины Большого Кавказского хребта и вершину Бештау. Струве получил из многократных засечек одновременно отметки этих вершин и коэффициенты рефракции, действовавшей во время соответствующих измерений.

Наиболее значительным отличием методов работы русских астрономов от принятого ныне метода геодезического нивелирования являлось предпочтение вечернего времени спокойных изображений (после 15 часов) для измерения зенитных расстояний. Это проходит красной нитью через всю работу Струве и подчеркивается в окончательных выводах.

Прежде всего Струве установил явную зависимость величины влияния рефракции и его дисперсии от качества изображений. Суточный ход изменения качества изображений (значительные колебания изображений на восходе и закате солнца и в полуденное время, периоды спокойных изображений между восходом и полднем и между полднем и закатом солнца) особенно хорошо заметен в сухую и жаркую погоду при небольших высотах визирного луча над почвой. Именно в таких условиях и протекала описываемая работа, которая выполнялась в засушливом районе. Наблюдения производились со штативов, причем средняя высота луча была равна 13 м при наблюдениях по линиям между основными пунктами и 5 м при наблюдениях по линиям между базисными и основными пунктами.

Попутно отметим, что из материалов наших исследований можно видеть (см. гл. II), что наибольшие полуденные колебания изображений, как правило, соответствуют наибольшим отрицательным градиентам температуры у почвы, наибольшие утренние и вечерние колебания изображений — наибольшим положительным градиентам, а моменты спокойных изображений — градиентам температуры, близким к нулю (точнее, к нормальным градиентам). Иначе говоря, чем больше отклонения градиентов температуры от нормального градиента, тем интенсивнее колебания изображений, связанные с возникновением токов воздуха, выравнивающих неоднородности в распределении температуры. Следовательно, характеристика достоинства изображений в некоторой мере качественно заменяет характеристику аномальных градиентов температуры.

Замечательно, что В. Я. Струве в основном правильно понимал причинную связь между достоинством изображений и изменением рефракции. Он пишет:

«Причину этого изменения (изменения рефракции — авт.) надо искать во влиянии большего или меньшего нагрева земной поверхности (почвы), что нарушает правильную слоистость воздуха. Если почва теплее, чем соприкасающийся с ней воздух, то происходит расширение нижних слоев воздуха, которое приводит к уменьшению рефракции и, благодаря поднятию теплого воздуха, к колебаниям изображений. Если температура почвы равна температуре воздуха, то имеет место правильная слоистость воздуха, изображения успокаиваются, и этому состоянию соответствует нормальная рефракция. Однако чаще этот важный период нормального состояния имеет короткую продолжительность, так как

почва скоро теряет тепло благодаря излучению и испарению, становится холоднее прилегающих к ней слоев воздуха и вызывает теперь при заходе солнца возрастающую рефракцию, которая находится в связи с увеличивающимися колебаниями изображений.

Описанное изменение происходит одинаково, будет ли небо свободно от облаков или покрыто ими; только в последнем случае изменение медленнее, продолжительность отдельных состояний больше. Отклонения от этой закономерности редки и вызываются преимущественно внезапными атмосферными изменениями. Если, например, в пасмурную погоду изображения уже стали спокойными и вдруг затем небо проясняется и начинает греть солнце, то на короткое время возвращаются первичные колебания*, и большей частью скоро наступает новое спокойствие, после которого обычно тем быстрее наступают вторичные колебания. Непосредственно после ливня сильное охлаждение почвы может вызвать перед спокойствием вторичные колебания изображений с большей рефракцией, но, когда это действие пройдет, изображения снова становятся спокойными, после чего, как обычно, следует переход ко «вторичным колебаниям».

Наиболее продолжительная программа измерений зенитных расстояний была на основных пунктах. По этим материалам нагляднее всего можно было установить зависимость между влиянием рефракции и качеством изображений. Эту зависимость показывает табл. 32, составленная на основе таблиц, приведенных В. Я. Струве. В графах ($\delta z - \delta z_0$) приведены «угловые пертурбации», которые представляют разности поправок за рефракцию в зенитные расстояния при колеблющихся и «совершенно

Т а б л и ц а 32

Время суток	Качество изображений	Наблюдения с основного пункта на базисный $\rho'' \left(\frac{s}{R} \right)_{\text{ср.}} = 115'',5$			Наблюдения с основного пункта на основной $\rho'' \left(\frac{s}{R} \right)_{\text{ср.}} = 230'',7$			$k_1 - k_2$
		$\delta z - \delta z_0$	k_1	M_z	$\delta z - \delta z_0$	k_2	M_z	
День	Сильно колеблющиеся	-43",4	-0,55	$\pm 11'',1$	-36",4	-0,15	$\pm 7'',8$	-0,40
	Колеблющиеся	-23 ,3	-0,20	5 ,9	-24 ,4	-0,04	8 ,9	-0,16
	Слегка колеблющиеся	-14 ,1	-0,04	6 ,4	-14 ,1	+0,05	5 ,7	-0,09
	Почти спокойные	- 9 ,5	+0,04	4 ,4	- 9 ,2	+0,09	5 ,0	-0,05
	Спокойные	- 4 ,0	+0,13	3 ,2	- 4 ,0	+0,13	3 ,8	0,00
	Совершенно спокойные	0 ,0	+0,204	3 ,1	0 ,0	+0,163	3 ,6	+0,04
Вечер	Спокойные	+ 3 ,6	+0,27	3 ,4	+ 3 ,4	+0,20	3 ,3	+0,07
	Почти спокойные	+ 7 ,5	+0,33	4 ,6	+ 7 ,4	+0,23	7 ,5	+0,10
	Слегка колеблющиеся	+12 ,9	+0,43	6 ,2	+15 ,9	+0,30	8 ,0	+0,13
	Колеблющиеся	+20 ,6	+0,56	6 ,7	+22 ,6	+0,36	8 ,8	+0,20
	Сильно колеблющиеся	+38 ,3	+0,87	19	—	—	—	—

* В. Я. Струве называет первичными дневные колебания изображений, связанные с уменьшенной рефракцией, и вторичными — вечерние колебания изображений, связанные с увеличенной рефракцией.

спокойных» изображениях; в графах k — средние коэффициенты рефракции, рассчитанные на основании приведенных у Струве величин δz ; в графах M_z даны средние квадратические отклонения отдельных поправок за рефракцию от их средних значений. Эти величины не следует смешивать с величиной m_z , характеризующей случайное колебание влияния рефракции по данной линии нивелирования (см. § 14), так как на них сказывается также и различие условий наблюдений на отдельных пунктах.

Как видно из табл. 32, колебания изображений действительно коррелируются с изменениями рефракции: колебаниям одинаковой интенсивности днем и вечером соответствуют одного порядка угловые пертурбации. При спокойных изображениях влияние рефракции наиболее устойчиво: в этих условиях величины M_z и абсолютные величины разностей средних коэффициентов рефракции ($k_1 - k_2$) имеют наименьшие значения при наблюдениях как основных, так и базисных пунктов. Изменение коэффициентов рефракции в зависимости от качества изображений значительно больше при наблюдениях базисных пунктов, чем при наблюдениях основных пунктов, т. е. при меньшей высоте визирного луча над почвой. Все эти выводы, вытекающие из материалов работы В. Я. Струве, хорошо согласуются с изложенными выше нашими выводами из геодезического нивелирования при небольшой высоте визирного луча над почвой в ясную теплую погоду. Однако в условиях степного района Северного Кавказа преимущества часов спокойных изображений проявились еще заметнее, так как рефракционные влияния в этом случае оказались количественно более значительными, чем в наших исследованиях.

В конце своей работы Струве выводит эмпирическую формулу для вычисления коэффициента рефракции при спокойных изображениях (нормальной рефракции). Его формула, которой он придавал большое значение, имеет вид

$$k = \left(0,1448 + \frac{0,2596}{h} \right) \frac{p}{736,6} 1,0118^{(20^\circ - t)}, \quad (16.1)$$

где h — высота луча над почвой, t — температура по шкале Цельсия.

При выводе этой формулы Струве использовал все измерения по связи уровней Черного и Каспийского морей при спокойных изображениях, а также результаты одностороннего измерения зенитных расстояний отдельных вершин Кавказа (восточная и западная вершины Эльбруса, неизвестная вершина в 5163 м, Казбек, Бештау). Наблюдения на первые четыре вершины заслуживают особого внимания, так как в этих измерениях визирные лучи всюду проходили на большой высоте над почвой и влияние подстилающей поверхности почти не отражалось на результатах наблюдений. Значительную роль в выводах Струве сыграли земные наблюдения вершин Эльбруса, выполненные в гор. Ставрополе (190 км от Эльбруса) при температуре до -13°C . Поэтому коэффициенты земной рефракции, выведенные по измерениям зенитных расстояний четырех вершин Большого Кавказского хребта, лучше всего могут быть использованы для изучения зависимости влияния рефракции от температуры.

На рис. 31 графически представлена зависимость от температуры коэффициентов рефракции, полученных по наблюдениям указанных четырех вершин Кавказского хребта только при спокойных изображениях. На этом рисунке точки соответствуют наблюдаемым величинам коэффициентов рефракции, пунктирная линия представляет их значения, найденные по эмпирической формуле Струве, и сплошной линией показаны средние коэффициенты рефракции, полученные нами по гипотезе о стандартном строении атмосферы.

Из рис. 31 видно, что наблюдаемые коэффициенты рефракции при температуре выше 0°C хорошо согласуются с вычисленными нами величинами нормальных коэффициентов рефракции. При отрицательной температуре поверхность почвы была покрыта снегом (на это указывается у Струве). Наблюдения проводились в ясную морозную погоду, повидимому в условиях инверсии температуры в приземном слое воздуха, которая захватывала тем более высокие слои и приводила к тем большему увеличению коэффициентов рефракции, чем ниже была температура воздуха. Таким образом, расхождение эмпирической формулы Струве и формулы нормальной рефракции, приведенной в данной работе, объясняется тем, что при выводе формулы Струве объединены два существенно различных режима атмосферы при положительных и отрицательных температурах воздуха.

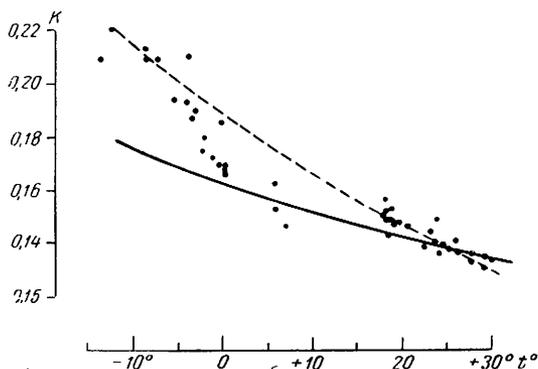


Рис. 31

Критическое рассмотрение формулы В. Я. Струве показывает, что эмпирический подход к анализу материала наблюдений даже при богатстве этого материала может привести к неверным выводам, если не изучено, хотя бы качественно, влияние различных внешних условий на распределение плотностей в атмосфере. Там, где В. Я. Струве имел такие качественные представления (вопрос о корреляции рефракции и качества изображений), выводы его подтверждаются нашими исследованиями. Следует отметить, что Струве уже подходил к правильному объяснению изменений рефракции изменением градиентов температуры (на это есть прямые указания в его работе), однако аналитически своей догадки не сформулировал. Только через несколько десятков лет немецкий геодезист Йордан вывел формулу рефракции, в которой была отражена ее связь с градиентами температуры.

§ 17. Исследование годичного изменения земной рефракции

Так как земная рефракция зависит от распределения градиентов температуры, то отсюда уже понятно, что ее влияние на зенитные расстояния наблюдаемых предметов меняется не только в течение дня, но и в различное время года. По вопросу об изменении земной рефракции в течение года имеется только одно исследование, которое также принадлежит русским ученым. Оно выполнялось И. И. Померанцевым, Рылке и другими под руководством Н. Я. Цингера в Пулкове с августа 1875 г. по август 1876 г. с продолжительным перерывом в зимнее время. Впоследствии результаты этой работы были обработаны и опубликованы в 1884 г. И. И. Померанцевым*.

В указанной работе с обсерватории Академии Генерального Штаба производились измерения зенитных расстояний трех пунктов, которые находились приблизительно в створе и которыми являлись:

Ц — окно колокольни церкви, расположенной на расстоянии 13,02 км от пункта наблюдения;

* Померанцев И. И. Исследование земной рефракции. Приложение № 3 к XVIII тому Записок императорской академии наук, СПб, 1884.

Б — марка, укрепленная на железнодорожной будке на расстоянии 5,06 км от инструмента;

в — марка, укрепленная на верстовом столбе на расстоянии 2,17 км от инструмента.

Составленный нами профиль местности по направлениям указанных пунктов приведен на рис. 32. Отсюда видно, что визирные лучи при наблюдении этих пунктов проходили по открытой местности и на значительной высоте. По нашим вычислениям, эквивалентные высоты визирных лучей при измерении зенитных расстояний пунктов Ц, Б и в были равны соответственно 24, 18 и 15 м.

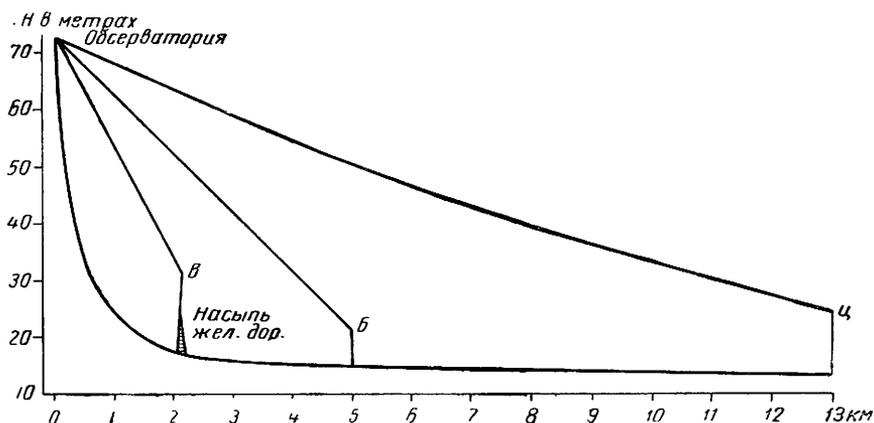


Рис. 32

Кроме зимнего перерыва, зенитные расстояния измерялись почти ежедневно, но только в дневные часы. В одном приеме измерений все три пункта наблюдались дважды при каждом положении круга в следующем порядке: Ц, Б, в, в, Б, Ц. Всего было выполнено 237 приемов измерения зенитных расстояний. Вся работа была проведена одним и тем же инструментом, которым служил вертикальный круг Репсольда. Для него при помощи двух коллиматоров (нивелир-теодолитов) предварительно была определена поправка за гнутые трубы, оказавшаяся равной $+4''{,}6$.

Наблюдаемые зенитные расстояния сравнивались с теоретическими зенитными расстояниями, для вычисления которых расстояния до наблюдаемых пунктов были получены из специальной триангуляции, а превышения инструмента над визирными целями — из нивелирования при помощи нивелир-теодолита. Однако проведенное нами изучение материалов исследований И. И. Померанцева показало, что найденные им теоретические зенитные расстояния ошибочны. В табл. 33 приводятся значения поправок за рефракцию δz , полученные И. И. Померанцевым при различных температурах по наблюдениям на спокойные изображения (графы 2—4).

Можно считать, что при большой высоте визирного луча над почвой и положительной температуре вертикальные градиенты температуры в периоды спокойных изображений будут в среднем близки к их стандартной величине — $0,0065 \text{ град}/\text{м}$. Поэтому следовало ожидать, что поправки за влияние рефракции (см. табл. 33, графы 5—7), вычисленные нами по формуле (2.21) на основании гипотезы стандартного строения атмосферы при различных значениях температуры и среднем давлении

Таблица 33

Температура	Наблюденные			Вычисленные			Наблюденные—вычисленные		
	Ц	Б	в	Ц	Б	в	Ц	Б	в
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-18°,75	+44",9	+10",9	-10",3	+46",0	+17",9	+7",7	-1",1	-7",0	-18",0
-12,5	+33,1	+7,1	-13,0	+43,2	+16,8	+7,2	-10,1	-9,7	-20,2
-6,25	+33,0	+4,0	-15,0	+41,8	+16,2	+7,0	-8,8	-12,2	-22,0
0	+29,3	+1,6	-16,6	+39,7	+15,4	+6,6	-10,4	-13,8	-23,2
+6,25	+26,5	-0,2	-17,7	+38,0	+14,8	+6,3	-11,5	-15,0	-24,0
+12,5	+24,8	-1,3	-18,3	+36,2	+14,1	+6,0	-11,4	-15,4	-24,3
+18,75	+23,7	-1,9	-18,7	+34,8	+13,5	+5,8	-11,1	-15,4	-24,5

755 мм будут близки к соответственным величинам, полученным из наблюдений. На самом же деле различие соответственных наблюдаемых и предвычисленных поправок за влияние рефракции очень велики и достигают по направлению на пункт *в* до $-24''{,}5$.

Заметим, что И. И. Померанцев в последней главе своей работы сам пытался сравнивать наблюдаемые поправки за рефракцию с их величинами, предвычисленными по многочисленным в его время гипотезам о строении атмосферы. Оказалось, что, несмотря на существенные расхождения отдельных гипотез одна от другой и от современных представлений о строении атмосферы, расхождение предвычисленных И. И. Померанцевым поправок за рефракцию от поправок, предвычисленных нами, на много меньше величин, приведенных в последних графах табл. 33. И. И. Померанцев признавал, что для объяснения расхождения наблюдаемых и предвычисленных поправок необходимо либо допустить, что в измерениях заключаются постоянные ошибки, либо предположить, что имеются «особые местные условия, влияющие на особый характер преломления света». Он решительно отвергал первое предположение и строил гипотезу о постоянном слое наибольшей плотности, находящемся на некоторой высоте над поверхностью почвы. Основанием для этого служил известный по ряду исследований и особенно из работы Н. Я. Цингера факт*, что в дневное время при нагреве почвы визирные лучи вблизи подстилающей поверхности обращены выпуклостью вверх, и коэффициент рефракции становится отрицательным. Мы в достаточной мере изучили это явление и знаем, что соответствующее состояние атмосферы очень неустойчиво и поддерживается только до тех пор, пока продолжается нагрев почвы. В вечернее же время, когда устанавливаются спокойные изображения, и позднее во всех случаях, независимо от высоты визирного луча над почвой, коэффициенты рефракции и поправки за рефракцию будут положительными. Мы не видим никаких особых внешних условий в районе Пулкова, чтобы в этом районе систематически в течение года были нарушены общие закономерности распределения плотности в атмосфере. Поэтому следует признать что данное И. И. Померанцевым объяснение причины сильно преуменьшенного против нор-

* Цингер Н. Я. Опыт нивелирных работ с нивелир-теодолитом. Зап. ВТО, ч. XXXVI, СПб, 1878.

мального и даже отрицательного влияния рефракции (направление на v) не обосновано, и предположить, что в его определении поправок за влияние рефракции имеются систематические ошибки.

Оказывается, что расхождения «наблюдённые — вычисленные» в табл. 33, полученные для температуры свыше 0° , хорошо выражаются формулой

$$\Delta = -8'',3 - \frac{1}{315} \frac{h}{s} \rho'', \quad (17.1)$$

из которой соответственно для пунктов $Ц$, $Б$ и $в$ имеем Δ равным $-11'',2$, $-15'',6$ и $-24'',3$. Первый член формулы приблизительно равен удвоенной поправке за гнутые трубы и имеет такое значение, будто она введена в наблюдения с обратным знаком.

Наиболее слабым местом в работе являлось определение «точных» разностей высот инструмента и визирных целей. Эту работу выполняли нивелир-теодолитом по методу, сходному с применяемым сейчас в тахеометрических ходах; только вместо отсчетов по дальномерным нитям измеряли параллактический угол α между двумя марками на вертикальной рейке. Влияние рефракции на превышение h при такого рода нивелировании будет являться основным источником ошибок* и равняться

$$\Delta h = h \frac{\Delta \alpha}{\alpha},$$

где $\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$ — величина, в дневное время отрицательная и достигающая $\frac{1}{200}$.

Соответствующая ошибка зенитного расстояния равна

$$\Delta z = \frac{h}{s} \rho'' \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$$

и совпадает по структуре, величине и знаку со вторым членом формулы (17.1).

На основании изложенных соображений при дальнейшем анализе материала И. И. Померанцева будем вводить в величины δz по наблюдениям пунктов $Ц$, $Б$ и $в$ поправки, равные соответственно, по данным табл. 33, $11'',3$; $15'',3$ и $24'',3$. При этом заметим, что при отрицательных температурах поправки за рефракцию и, следовательно, коэффициенты рефракции будут значительно больше их нормальных величин, которые приведены в табл. 34. Подобное же явление наблюдалось и в зимних наблюдениях в Ставрополе, описанных в § 16. Там оно получило объяс-

Таблица 34

Температура	Коэффициент рефракции из наблюдений			Нормальный коэффициент
	$Ц$	$Б$	$в$	
— 18°,75	0,266	0,320	0,40	0,218
— 12 ,5	0,210	0,273	0,32	0,205
— 6 ,25	0,209	0,236	0,26	0,198
0	0,195	0,206	0,22	0,188

* Цингер Н. Я. Опыт нивелирных работ с нивелир-теодолитом. Зап. ВТО ч. XXXVI, СПб, 1878.

нение, которое целиком относится и к наблюдениям в Пулкове. Из табл. 34 видно, что чем ниже визирный луч, тем сильнее на характере действия рефракции сказывается инверсия температуры.

Значительная часть работы И. И. Померанцева посвящена исследованию дневного изменения рефракции. Подбирая те или иные формулы, он пришел к выводу, что лучше всего изменение рефракции в течение дня можно выразить как функцию отношения часового угла Солнца в момент наблюдения к часовому углу его в момент захода (величина τ). Этим в достаточной мере учитывалось изменение продолжительности дня и ночи в течение года. Далее И. И. Померанцев сделал ряд других выводов, из которых для нас важно то, что:

1) изменяемость рефракции больше при ясном небе, чем при пасмурном;

2) летом амплитуда дневного изменения рефракции больше, чем зимой;

3) рефракция меньше меняется в течение года в момент установления спокойных изображений, когда $\tau = \pm 0,66$.

Все эти выводы находятся в согласии с нашими исследованиями и общими соображениями, изложенными в I главе, так как суточный ход рефракции определяется суточным изменением солнечной радиации, которая в свою очередь меняется сильнее летом и в ясную погоду.

По числовым данным, приведенным Померанцевым, можно сделать еще ряд дополнительных практически важных выводов о суточном и сезонном изменении влияния рефракции, если обработать эти данные так же, как были обработаны результаты нашего одностороннего нивелирования.

На рис. 33 нанесены все поправки за влияние рефракции, вычисленные по наблюдениям пунктов Ц и в в период с 7 апреля по 6 сентября (весна, лето и осень). Результаты наблюдений пункта Б по характеру их дисперсии и систематическому ходу займут промежуточное положение между представленными рядами измерений. Прерывистыми линиями показаны средние значения поправок за рефракцию, вычисленные для стандартной нормальной атмосферы при $t = 12^{\circ},5$ С. В отдельные дни влияние нормальной рефракции могло отклоняться от этой линии не более чем на 3" при наблюдениях пункта Ц и на 0",6 — при наблюдениях в. Мы видим, что устойчивое и неустойчивое влияния рефракции сравнительно мало меняются при изменении τ от 0 до $\pm 0,6-0,7$. Практически можно считать, что весь этот период дня, т. е. период дня, начинающийся примерно через 3 часа после восхода и кончающийся за 3 часа до захода солнца, благоприятен для измерения зенитных расстояний. Этот же вывод был сделан нами ранее по результатам геодезического нивелирования под Москвой при значительной высоте визирного луча над почвой

В табл. 35 приведены средние значения температуры и поправок за рефракцию, а также средние квадратические величины m_z колебаний влияния рефракции, выведенные по наблюдениям в отдельные периоды года при $+0,7 > \tau > -0,7$. По этим данным можно выявить три периода года, отличающихся один от другого по характеру устойчивого и неустойчивого влияния рефракции.

В самый продолжительный весенне-летний период (апрель — сентябрь) коэффициенты рефракции, как и следовало ожидать, были меньше нормальных. Неустойчивое влияние рефракции в это время хорошо интерпретируется формулой

$$m_z = \left(16'' \frac{s^2}{h} \right)^2 + (0'',18 s)^2,$$

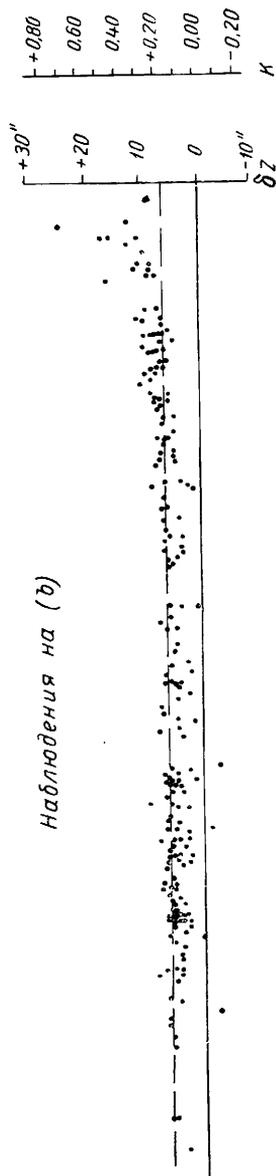
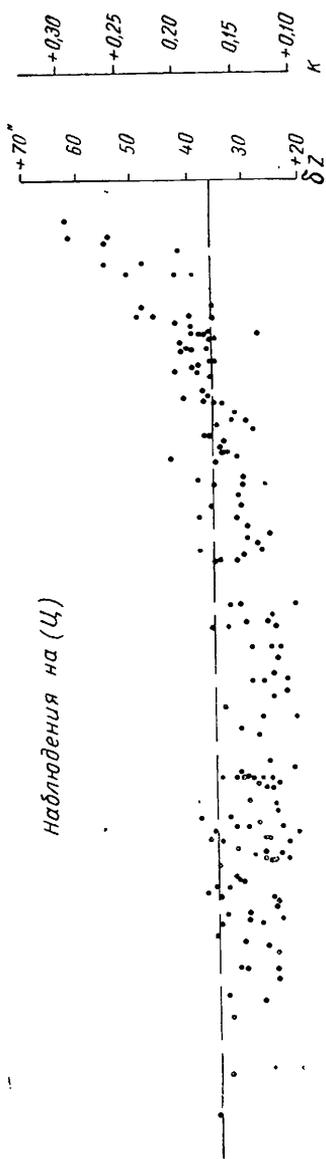


Рис. 33

Время года (месяцы)	t°	$k_{\text{ср.}}$			m_z		
		Ц	Б	в	Ц	Б	в
Апрель—май	+ 7°,3	+0,133	+0,128	+0,122	± 3",1	± 2",6	± 2",0
Июнь	+25 ,0	+0,141	+0,136	+0,134	6 ,1	3 ,0	2 ,5
Август	+18 ,5	+0,140	+0,138	+0,136	4 ,9	3 ,2	1 ,9
Сентябрь	+11 ,8	+0,142	+0,143	+0,142	4 ,1	2 ,6	1 ,4
Апрель—сентябрь	+13 ,6	+0,138	+0,136	+0,134	4 ,2	2 ,8	1 ,9
Октябрь—ноябрь	+ 2 ,4	+0,166	+0,173	+0,182	2 ,6	1 ,4	0 ,8
Зимний период	-10 ,7	+0,267	+0,334	+0,305	10 ,3	7 ,3	3 ,9

по которой для направлений на Ц , Б и в получаем, что величины m_z соответственно равны $\pm 4'',3$; $\pm 2'',8$; $\pm 1'',8$.

Октябрь и начало ноября (осенний период) характеризовались коэффициентами рефракции, близкими к нормальным. Колебания рефракции в этот период малы и хорошо представляются формулой

$$m_z = \left(6'' \frac{s^2}{h_s}\right)^2 + (0,18s)^2,$$

по которой для Ц , Б и в значения m_z получаются равными соответственно $\pm 2'',7$; $\pm 1'',3$ и $\pm 0'',8$.

В зимний период коэффициенты рефракции были значительно больше их нормальных значений и соответствовали инверсии температур. Случайное влияние рефракции зимой было в два с лишним раза больше, чем летом. Таким образом, зимний период явно непригоден для производства геодезического нивелирования.

§ 18. Исследование земной рефракции в горном районе

Метод геодезического нивелирования имеет особое значение для определения высот в горных районах, где применение метода геометрического нивелирования в большинстве случаев очень затруднительно. Отсюда возникает задача изучения влияния рефракции на результаты геодезического нивелирования в этих районах, в которых закономерности действия земной рефракции могут иметь свои особенности. Из исследований земной рефракции в горных районах заслуживают наибольшего внимания работы К. М. Бауэрнфейнда, хотя они и выполнены еще в прошлом веке.

Из обработки материалов исследований Бауэрнфейнда некоторыми учеными (Гюлландом и другими) были сделаны выводы о предпочтительности полуденного времени для геодезического нивелирования. В дальнейшем эти выводы без всяких оговорок механически были перенесены на любые условия. Сказанного достаточно для того, чтобы оправдать наше внимание к работам Бауэрнфейнда.

Следует отметить, что сам Бауэрнфейнд занимался вопросом, который нас мало интересует, а именно, он по результатам геодезического нивелирования пытался проверить свои соображения о распределении плотностей в атмосфере. Поэтому мы не будем рассматривать его собственные исследования, а воспользуемся лишь материалами наблюдений.

Рассматриваемая работа Бауэрнфейнда* проводилась с 16 по 27 августа 1881 г. Выполнялось одновременное двустороннее геодезическое нивелирование по сторонам треугольника сети триангуляции в Баварских Альпах. Один из пунктов треугольника Кампенванд ($H = 1565,97$ м) располагался на горной вершине, другой пункт Хохенштейг ($H = 484,00$ м) — на террасе в долине реки Инн и третий Иршенберг ($H = 753,63$ м) — на возвышенности в предгорьях Альп. Примерные профили линий нивелирования, составленные по карте масштаба 1 : 1 000 000, показаны на рис. 34. Все пункты были связаны геометрическим нивелированием.

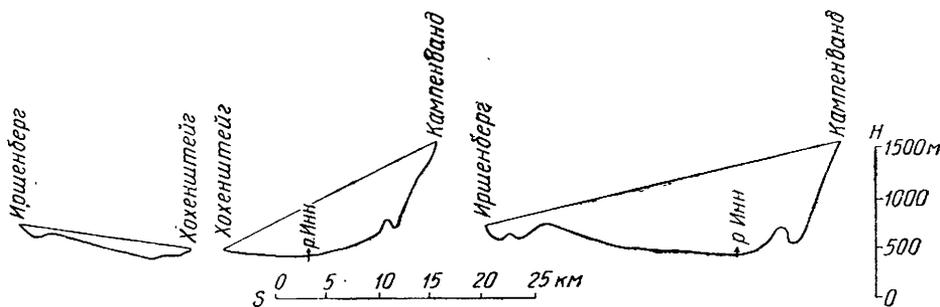


Рис. 34

Кроме того, на них были выполнены астрономические определения широты и долготы. Это позволило Бауэрнфейнду и многочисленным исследователям, использовавшим в дальнейшем его материалы, получать теоретические зенитные расстояния и влияние рефракции (разности наблюдаемых и теоретических зенитных расстояний). Исходя из соображений, изложенных в главе I, мы заново вычислили теоретические зенитные расстояния по полной формуле (1.8). При этом воспользовались уточненными исходными данными, приведенными в работе Эггерта** и дополнительно рассчитали также члены $\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$ и $\frac{\Delta E}{s}$ по методу, описанному в § 4.

Для поправки $\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$ была вычислена при помощи эллиптической палетки Молоденского только гипсометрическая часть, а остаточная часть из-за отсутствия гравиметрической съемки сгущения не учитывалась. При расчете члена $\frac{1000}{\gamma} \int_{AB} \Delta g_B dH$ в формуле (4.10) приняли, что $\Delta g_B = -108$ мгл, как это вытекает из работы Холопайнена***. Исполванные исходные данные и результаты вычисления теоретических зенитных расстояний приведены в табл. 36. Уклонения отвеса и соответствующие поправки даны для направления с первого пункта на второй. Приближенные расчеты показывают, что ошибки определения теоретических

* Bauernfeind K. M. Ergebnisse aus Beobachtungen der terrestrischen Refraction Zweite Mitteilung, München, 1883.

** Eggert O. Vergleichung der Ergebnisse des geometrischen und des trigonometrischen Nivellement nach den durch von Bauernfeind im Jahre 1881 ausgeführten Beobachtungen. Zeitschr. für Verm. 1900.

*** Holopainen P. E. On the gravity field and the isostatic structure of the earth's crust in the East Alps. Helsinki. 1947.

зенитных расстояний с учетом всех источников этих ошибок не превышают $\pm 2''$.

Т а б л и ц а 36

Линия нивелирования	Хохенштейг— Иршенберг	Хохенштейг— Кампенванд	Иршенберг— Кампенванд
s	17238,5 м	20445,8 м	34038,3 м
$H_2 - H_1$	+ 269,63 м	+ 1081,97 м	+ 812,34 м
$\frac{u_1 - u_2}{2}$	— 3",32	— 1",33	— 3",04
$\frac{u_1 + u_2}{2} - u_m$	— 1",14	— 2",12	— 0",70
$\frac{\Delta E}{s}$	— 0",11	+ 0",12	+ 0",13
$\Delta u'_1$	— 4",6	— 3",3	— 3",6
$\Delta u'_2$	— 2",1	+ 0",7	— 2",5
z°_1	89°10'48",1	93°07'10",5	88°47'25",0
z°_2	90 58 21 ,3	87 03 47 ,7	91 30 48 ,0

Измерения зенитных расстояний в исследованиях Бауэрнфейнда проводились одновременно по всем линиям нивелирования. Наблюдения выполнялись с туров, выложенных из камня, сменными наблюдателями через каждые полчаса круглые сутки, если позволяли условия видимости. Использовались астрономические инструменты высокой точности, снабженные окулярными микрометрами, микроскоп-микрометрами при вертикальных кругах и уровнями с ценой деления в 2—4". В ясную погоду визирными целями служили гелиотропы, а в пасмурную погоду и ночью — фонари с магниевыми или масляными лампами.

Погода во время наблюдений, судя по метеорологическим данным, приведенным у автора, была в основном теплой и устойчивой: температура в дневное время на пунктах Хохенштейг и Иршенберг составляла 15—27°, давление менялось только в пределах 3 мм. На пункте Кампенванд было систематически на 6—10° холоднее, чем на низинных пунктах, а давление было еще более устойчивым.

Используя материалы измерений Бауэрнфейнда и данные табл. 36, мы вычислили средние значения поправок за влияние рефракции и коэффициенты рефракции по соответствующим двухчасовым промежуткам каждого дня наблюдений и в среднем по всем дням исследований. Суточное изменение средних коэффициентов рефракции показано на рис. 35. Соответствующие кривые помечены начальными буквами названий пункта наблюдения и наблюдаемого пункта. Ночные часы отмечены косой штриховкой, вертикальными прерывистыми линиями ограничен интервал дня между 10 и 16 часами.

Оказывается, что по всем рядам измерений выделяются два периода небольшого систематического изменения влияния рефракции (ночной между 20 и 6 часами и дневной между 10 и 16 часами) и два переходных периода между 6—10 и 16—20 часами. Для всех этих периодов мы вычислили средние коэффициенты рефракции и средние квадратические отклонения отдельных поправок за рефракцию в зенитные расстояния от средних величин по соответствующим периодам суток. Полученные ре-

зультаты приведены в табл. 37, в которой для сравнения даны также нормальные стандартные коэффициенты рефракции κ_0

Таблица 37

Линия визирования	День		Утро и вечер		Ночь		κ_0
	$k_{\text{ср.}}$	m_z	$k_{\text{ср.}}$	m_z	$k_{\text{ср.}}$	m_z	
Х—И	+0,151	$\pm 4''$,1	+0,187	$\pm 9''$,4	+0,254	$\pm 11''$,9	0,154
И—Х	+0,127	2 ,8	+0,172	10 ,6	+0,233	12 ,0	0,154
Х—К	+0,131	5 ,0	+0,170	9 ,0	+0,205	12 ,0	0,151
К—Х	+0,149	1 ,9	+0,154	2 ,8	+0,167	2 ,9	0,146
И—К	+0,133	2 ,3	+0,145	4 ,2	+0,163	11 ,2	0,149
К—И	+0,139	2 ,0	+0,140	2 ,8	+0,149	4 ,6	0,146

Рассматривая данные табл. 37 и рис. 35, можно, прежде всего, прийти к выводу, что дневной период между 10 и 16 часами* является самым благоприятным временем для производства геодезического нивелирования в горных районах. В этот период наименьшими оказываются как систематические расхождения коэффициента рефракции по различным направлениям, так и случайные колебания влияния рефракции по каждому направлению.

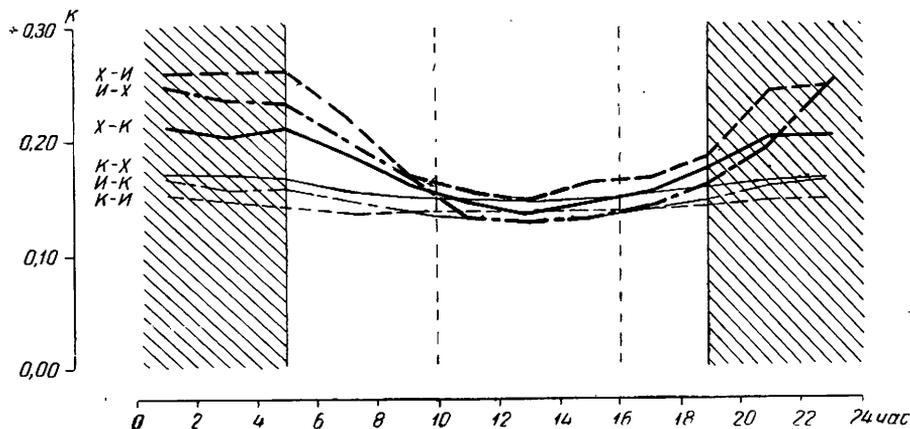


Рис. 35

Как и следовало ожидать, преимущества дневного периода оказались особенно заметными при наблюдениях по линии Хохенштейг — Иршенберг. Указанные преимущества, однако, очень заметны и при наблюдениях на пункте Хохенштейг по направлению на пункт Кампенванд, несмотря на большую высоту визирного луча над почвой. Здесь несомненно сказалось влияние ночного стока холодного воздуха с крутых склонов горного массива. Это приводило к возникновению мощного слоя инверсии температуры в долине реки Инн.

* При сравнении этих данных с полученными из наших исследований под Москвой нужно учитывать, что в СССР принято декретное время.

В отличие от равнинных и средневвысотных районов период, благоприятный для геодезического нивелирования, в горах начинался, по данным Бауэрнфейнда, на два часа позднее, вечерняя же граница этого периода оставалась неизменной. Возможно, что в этом сказались условия прохождения визирных лучей в горной долине (влияние ночного стока холодного воздуха с гор в утренние часы). Таким образом, и после привлечения данных Бауэрнфейнда у нас нет никаких оснований менять свои прежние выводы о выгоднейшем времени нивелирования. Нужно только вносить в них поправки применительно к конкретным условиям горного района.

Глава IV

ВЫВОДЫ ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ НИВЕЛИРОВАНИЮ

§ 19. Работы Украинского аэрогеодезического предприятия по геодезическому нивелированию

Одной из больших и важных работ по геодезическому нивелированию в последние годы явились работы Украинского аэрогеодезического предприятия в одном из южных степных районов Украины. Они выполнялись в сплошной сети триангуляции II и III классов с особой тщательностью. Целью их было создание обоснования для топографических съемок в масштабе 1 : 10 000 с сечением рельефа через 2,5 м. Все пункты II класса и частично пункты III класса имели высотные отметки из геометрического нивелирования. Это обстоятельство дает возможность использовать результаты указанных работ для изучения влияния земной рефракции на результаты геодезического нивелирования в южных степных районах.

Украинское аэрогеодезическое предприятие предоставило нам все основные материалы работ и краткую объяснительную записку.

В описываемых работах по геодезическому нивелированию применялись триангуляционные теодолиты ТТ 2/6, которые имеют вертикальный сектор со шкаловыми микроскопами, причем цена наименьшего деления шкалы равна 1'. Уровень при вертикальном секторе этих инструментов приблизительно в два раза грубее, чем у оптических теодолитов, и ничем не защищен от внешних воздействий. Кроме того, в объяснительной записке отмечен еще ряд недостатков этих инструментов, а именно: недостаточное увеличение микроскопов при вертикальном секторе; неровные тонкие и блеклые штрихи; нерезкость шкалы. Повидимому, точность вертикального сектора теодолитов ТТ 2/6 недостаточна для современных работ по геодезическому нивелированию.

Измерения зенитных расстояний наблюдаемых пунктов производились шестью приемами при двух кругах, причем наводили только среднюю нить трубы. В каждом приеме измерений наблюдались 2—4 пункта. Наблюдения выполнялись строго в околополуденное время, а именно между 11 и 13 часами дня. Визирными целями при наблюдениях служили малофазные ребристые цилиндры конструкции В. Н. Шишкина. Высота знаков измерялась довольно тщательно с точностью до 3—4 см. В объяснительной записке отмечено, что летом в жаркие дни визирные цели были видны плохо, хотя среднее расстояние до наблюдаемых пунктов составляло только 6 км.

Использованные нами работы Украинского аэрогеодезического предприятия охватывали полностью четыре и частично три трапеции топографической съемки в масштабе 1 : 100 000. Из всех этих измерений взяты

только 157 линий двустороннего и 17 линий одностороннего геодезического нивелирования, по которым разности высот их конечных пунктов можно было получить также и из геометрического нивелирования.

Используемые нами результаты работ Украинского аэрогеодезического предприятия по геодезическому нивелированию приведены в приложении VI, которое содержит: номера пунктов наблюдения и наблюдаемых пунктов, расстояния, эквивалентные высоты визирных лучей и наблюдаемые коэффициенты рефракции по каждой линии, а также общие сведения об условиях погоды и видимости.

Эквивалентные высоты визирных лучей вычислялись нами по данным карты в масштабе 1 : 100 000. Для некоторых линий эти высоты не могли быть вычислены из-за отсутствия необходимых данных. Наблюдаемые коэффициенты рефракции вычислялись по разностям соответственных превышений, полученных из геодезического и геометрического нивелирования.

Коэффициенты рефракции, заключенные в скобки, по разным признакам не внушают доверия и поэтому в дальнейшем не будут приняты во внимание. Звездочкой отмечены пункты, на которых измерения зенитных расстояний выполнялись наблюдателем *N*. Как будет показано в дальнейшем, его наблюдениям были свойственны некоторые ошибки личного или инструментального характера. Поэтому во всех статистических выводах эти наблюдения принимать во внимание не будем.

Работы Украинского предприятия выполнялись с 19 апреля до 20 ноября 1950 г. и частично в 1949 г. Следовательно, по их результатам можно судить о зависимости коэффициента рефракции от времени года. В табл. 38 приведены средние значения коэффициентов рефракции по отдельным месяцам и условиям погоды. Числа в скобках указывают на число отдельных значений, по которым получены соответствующие средние коэффициенты рефракции.

Таблица 38

Месяцы года	Средний коэффициент	Средний коэффициент при различных условиях погоды		
		ясно	переменно	пасмурно
Май	+ 0,073 (30)	+ 0,063 (14)	+ 0,061 (13)	+ 0,173 (3)
Июнь	+ 0,032 (47)	- 0,031 (10)	+ 0,047 (25)	+ 0,052 (12)
Июль	+ 0,105 (61)	+ 0,105 (11)	+ 0,093 (29)	+ 0,132 (21)
Август	+ 0,108 (32)	+ 0,135 (14)	+ 0,079 (15)	+ 0,133 (3)
Сентябрь	+ 0,020 (23)	- 0,013 (15)	+ 0,111 (4)	+ 0,051 (4)
Май—сентябрь	+ 0,073 (193)	+ 0,051 (64)	+ 0,073 (86)	+ 0,105 (43)
Октябрь—ноябрь	+ 0,162 (43)	+ 0,156 (17)	+ 0,129 (3)	+ 0,171 (23)

Как показывает табл. 38, в каждом месяце коэффициент рефракции в пасмурную погоду несколько больше, чем в ясные дни. Эта зависимость коэффициента рефракции от условий погоды особенно отчетливо обнаруживается по данным всех месяцев, вместе взятых. Но пробные вычисления показали, что применение различных коэффициентов рефракции для различных условий погоды не приводит к повышению точности результатов геодезического нивелирования, так как колебания этих коэффициентов в условиях постоянной погоды значительно превышали их различие при переходе от одних условий погоды к другим.

Из табл. 38 можно также видеть, что коэффициент рефракции летом (май—сентябрь) в любую погоду заметно меньше, чем осенью (октябрь—ноябрь). Разность систематической части влияния рефракции летом и осенью, а именно:

$$k_{\text{летн.}} - k_{\text{осен.}} = -0,089,$$

оказалась настолько значительной, что учет ее привел к повышению точности геодезического нивелирования. Так, в табл. 39 сопоставлены разности результатов геометрического и геодезического нивелирования по тем линиям, по которым измерения прямых и обратных зенитных расстояний были проведены в разное время года. По этим линиям превышения из двустороннего геодезического нивелирования получали обычным способом с введением поправок Δh за разность коэффициентов рефракции летом и осенью по формуле

$$\Delta h = \frac{s^2}{4R} (k_{\text{летн.}} - k_{\text{осен.}}). \quad (19.1)$$

Таблица 39

№ пункта, наблюдаемого летом	№ пункта, наблюдаемого осенью	s	$h - h_{\text{геом.}}$	Δh	$h + \Delta h - h_{\text{геом.}}$
6	5	5100	-0,17	+0,09	-0,08
12	1	11326	-0,52	+0,45	-0,07
12	11	5304	-0,33	+0,10	-0,23
30	33	6869	-0,12	+0,17	+0,05
32	33	5882	-0,23	+0,12	-0,11
39	33	6830	-0,36	+0,16	-0,20
39	40	5306	-0,05	+0,10	+0,05
45	40	8062	-0,11	+0,23	+0,12
55	83	5049	-0,12	+0,09	-0,03
56	83	6853	-0,16	+0,16	0,00
82	98	8101	-0,17	+0,23	+0,06
101	100	5872	-0,20	+0,12	-0,08
101	103	8716	-0,62	+0,27	-0,35
105	103	8823	-0,54	+0,27	-0,27
105	107	8189	-0,43	+0,24	-0,19
108	107	3936	-0,08	+0,05	-0,03
108	109	5668	-0,12	+0,11	-0,01
112	113	6951	-0,16	+0,17	+0,01
Средняя квадратическая ошибка M_h			$\pm 0,30 \text{ м}$		$\pm 0,15 \text{ м}$

Эта поправка вводилась в превышение пункта, на котором зенитные расстояния измерялись осенью, над пунктом, где измерения производились летом. Как видно из табл. 39, до введения указанных поправок все 18 разностей результатов геодезического и геометрического нивелирования имели знак минус. После введения поправок 16 из 18 разностей

уменьшились по абсолютной величине, а их среднее квадратическое значение уменьшилось от $\pm 0,30$ до $\pm 0,15$ м. Оно оказалось близким к соответственной ошибке ($m_h = \pm 0,16$ м при $s_{cp.} = 6,4$ км), выведенной из разностей $h - h_{geom.}$ по линиям, где измерения прямых и обратных зенитных расстояний выполнялись только летом.

Указанный прием исправления результатов геодезического нивелирования может иметь практическое применение во всех тех случаях, когда наблюдения выполнены в условиях большого различия коэффициентов рефракции в зависимости от погоды или времени года.

Наблюдения осеннего периода немногочисленны и разнородны. Поэтому по ним одним трудно сделать какие-нибудь определенные статистические выводы о неустойчивом влиянии рефракции осенью в степных районах. Наиболее интересны в этом отношении результаты, полученные в летний период, так как они соответствуют условиям, в которых выполняются почти все геодезические измерения. Зависимость влияния рефракции в этот период от высоты визирного луча наглядно отражает график, представленный на рис. 36, на котором по горизонтальной оси отложены эквивалентные высоты, а по вертикальной дана шкала коэффициентов рефракции. Наблюденные величины их нанесены в виде точек, причем величины, полученные по измерениям наблюдателя N , показаны светлым кружком. С первого же взгляда на этот рисунок можно видеть, что с уменьшением эквивалентной высоты визирного луча коэффициенты рефракции алгебраически уменьшаются, а их дисперсия увеличивается. Для уточнения выводов мы разделили все наблюдаемые коэффициенты рефракции, полученные в летнее время (исключая измерения наблюдателя N), на группы, ограниченные значениями эквивалентных высот, указанными в табл. 40.

Таблица 40

Значения h_e	$k_{cp.}$	$(s)_{cp.}$
Меньше 10 м	— 0,011	5,3 км
10,1—13,0	+ 0,013	5,3
13,1—16,0	+ 0,082	6,0
16,1—19,0	+ 0,118	6,6
19,1—23,0	+ 0,096	6,8
23,1—28,0	+ 0,116	7,3
28,1—35,0	+ 0,140	7,7
Больше 35 м	Неуверенно	8,6

Для каждой группы была вычислена средняя длина стороны и средний коэффициент рефракции. Соответствующие этим коэффициентам точки на рис. 36 соединены ломаной пунктирной линией. Оказалось, что по мере увеличения h_e эти точки приближаются к зоне, ограниченной двумя пунктирными прямыми линиями, которые обозначают возможные пределы колебания нормального коэффициента рефракции в зависимости от изменения среднего градиента температуры на больших высотах и колебания температуры и давления от пункта к пункту. Более того, дальнейшие расчеты показали, что пунктирная ломаная линия может

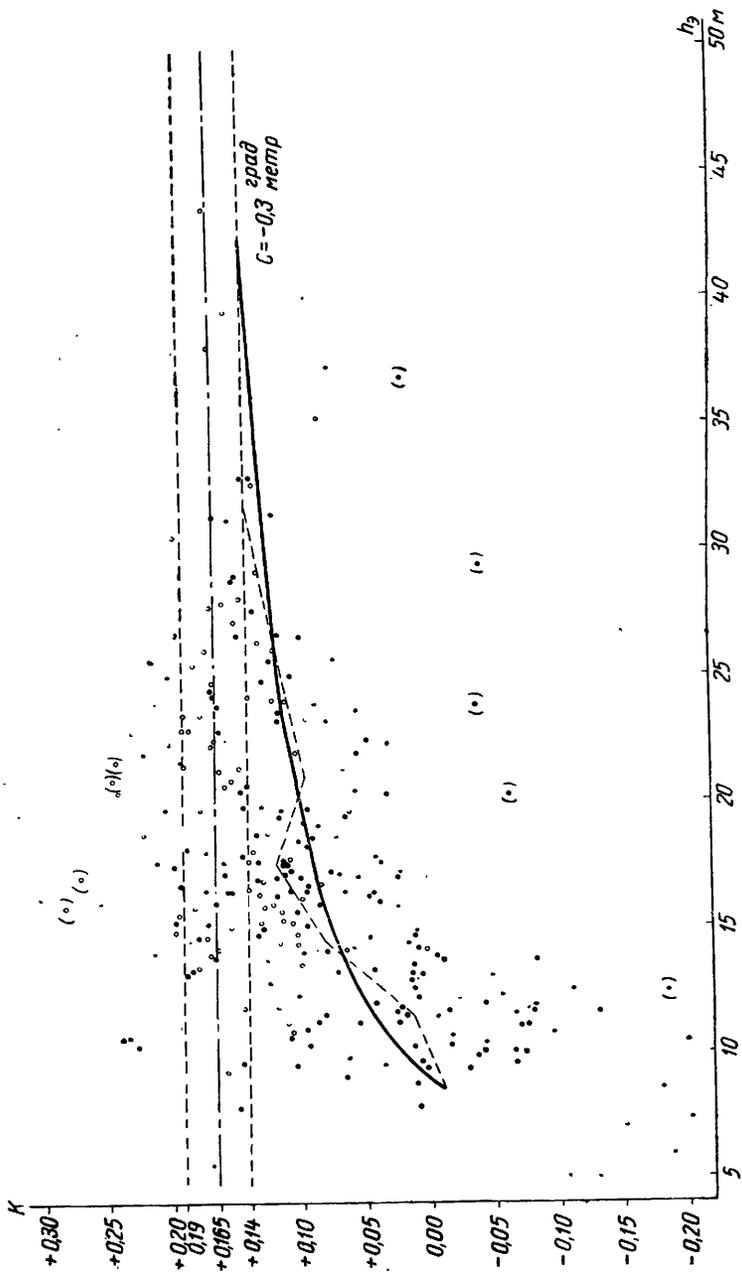


Рис. 36

быть довольно точно представлена сплошной кривой, определяемой уравнением

$$k = 0,170 - \frac{1,86}{h_s^{1,1}}. \quad (19.2)$$

Что же означает это уравнение? В § 9 мы отмечали, что изменение температуры в дневное время достаточно хорошо интерпретируется формулой

$$\frac{\partial T}{\partial h} = a + ch^b. \quad (9.1)$$

Но при выводе формулы эквивалентной высоты h_s и коэффициента рефракции в § 13 мы полагали, что

$$\frac{\partial T}{\partial h} = a + \frac{c}{h}.$$

Так как b немного отличается от -1 , то можно с известным основанием считать правильным в общем случае соотношение (сравните с 13.3)

$$k = x_0 + qch_s^b. \quad (19.3)$$

Сравнивая (19.2) с (19.3), приходим к выводу, что нормальный коэффициент рефракции 0,170 близок к стандартному коэффициенту рефракции 0,165, который получается при средних метеорологических условиях работ Украинского предприятия и на рис. 36 показан штрихпунктиром. Коэффициент b , равный $-1,1$, соответствует полуденным условиям. Коэффициенту 1,86 при $q = 5,9$ соответствует среднее значение градиента температуры на высоте 1 м над почвой, равное $-0,31$ град/м. Интересно, что примерно тот же средний градиент температуры в полдень был и при наших исследованиях под Москвой в жаркое и сухое лето 1951 г.

Чтобы судить по рассматриваемым материалам о случайном влиянии рефракции, необходимо предварительно выделить влияние ошибок нерелракционного происхождения, которые в этом случае могут быть значительны из-за неточности вертикального сектора у теодолитов ТТ 2/6. По многочисленным материалам обработки сетей геодезического нивелирования, выполненных теодолитом ТТ 2/6, случайная ошибка измерения зенитного расстояния шестью приемами равна $\pm 3''$,5. Можно предполагать, что примерно тот же порядок будет иметь систематическое влияние ошибок штрихов и ошибок округления при отсчитывании по шкаловому микроскопу. Тогда суммарная ошибка измерения зенитного расстояния за счет нерелракционных влияний будет равна $\pm 5''$,0. Этому соответствует ошибка вывода коэффициента рефракции при сопоставлении результатов одностороннего геодезического и геометрического нивелирования, равная

$$\Delta k_1 = \frac{5''}{s} \frac{2R}{\rho''} = \pm \frac{0,3}{s}, \quad (19.4)$$

где s выражено в километрах.

Другим источником ошибок определения коэффициентов рефракции могут быть погрешности определения разности высот инструмента и визирной цели (ошибки геометрического нивелирования между центрами геодезических знаков плюс ошибки определения высот инструмента и визирной цели над центрами). Можно считать, что их суммарное зна-

чение составляет в среднем $\pm 0,04$ м. Отсюда ошибка вычисления коэффициента рефракции будет равна

$$\Delta k_2 = \pm \frac{0,04}{s^2} 2R = \pm \frac{0,5}{s^2}. \quad (19.5)$$

Таким образом, общая ошибка коэффициента рефракции, обусловленная нерелракционными причинами, будет равна

$$m_{k_{\text{нерелфр.}}} = \sqrt{\Delta k_1^2 + \Delta k_2^2}.$$

После того как оценены погрешности нерелракционного происхождения, подберем значение коэффициента f в формуле (14.13)

$$m_{k_{\text{релфр.}}} = \frac{f}{h_a \sqrt[3]{s}}. \quad (14.13)$$

Эта формула в данном случае отражает полностью неустойчивое влияние рефракции, так как колебаниями абсолютной температуры (14.5) и нормального градиента (14.6) можно пренебречь.

Для выбора наиболее подходящего коэффициента f в каждой из групп коэффициентов рефракции, приведенных в табл. 41, были вычислены средние квадратические уклонения наблюдаемых коэффициентов рефракции m_k от линии « $c = -0,3$ град/м». Результаты вычислений приведены в табл. 41 в строке m_k

Таблица 41

Значения h_a	Меньше 10 м	10,1— 13,0	13,1— 16,0	16,1— 19,0	19,1— 23,0	23,1— 28,0	28,1— 35,0
m_k	$\pm 0,106$	$\pm 0,108$	$\pm 0,076$	$\pm 0,050$	$\pm 0,063$	$\pm 0,055$	$\pm 0,059$
$s_{\text{вес}} = \sqrt{\frac{n}{\sum \frac{1}{s^2}}}$	4,9 км	4,9	5,8	6,0	6,4	7,1	7,8
$m_{k_{\text{нерелфр.}}}$	$\pm 0,066$	$\pm 0,066$	$\pm 0,054$	$\pm 0,052$	$\pm 0,048$	$\pm 0,044$	$\pm 0,040$
$m_{k_{\text{релфр.}}}$ при $f = 1,2$	$\frac{\pm 0,084}{\pm 0,106}$	$\frac{\pm 0,061}{\pm 0,090}$	$\frac{\pm 0,047}{\pm 0,072}$	$\frac{\pm 0,036}{\pm 0,063}$	$\frac{\pm 0,031}{\pm 0,057}$	$\frac{\pm 0,025}{\pm 0,050}$	$\frac{\pm 0,020}{\pm 0,045}$
$m_{k_{\text{релфр.}}}$ при $f = 1,6$	$\frac{\pm 0,105}{\pm 0,124}$	$\frac{\pm 0,077}{\pm 0,101}$	$\frac{\pm 0,058}{\pm 0,079}$	$\frac{\pm 0,045}{\pm 0,069}$	$\frac{\pm 0,038}{\pm 0,061}$	$\frac{\pm 0,032}{\pm 0,054}$	$\frac{\pm 0,025}{\pm 0,047}$

Во второй строке этой таблицы приведены средние весовые длины сторон для каждой группы измерений. Эти величины необходимо было получить для применения формул (19.4) и (19.5). Суммарное нерелракционное влияние, выведенное по этим формулам, дано в третьей строке. В последних двух строках в числителях дана оценка неустойчивого влияния рефракции по формуле (14.13) при соответствующих значениях коэффициентов f , а в знаменателях приведены ожидаемые средние квадратические уклонения коэффициентов рефракции, равные

$$m_{\text{кож.}} = \sqrt{m_{k_{\text{нерелфр.}}}^2 + m_{k_{\text{релфр.}}}^2}.$$

Как видно, наилучшее соответствие m_k и $m_{k_{ож}}$ получается при коэффициенте f где-то в пределах от 1,2 до 1,6, так что его можно принять равным 1,4. Таким образом, случайное влияние рефракции оказалось в среднем немного больше, чем в наших исследованиях под Москвой ($f = 0,9 - 1,2$). Конечно, коэффициент f , равный 1,4, может несколько измениться, если более тщательно оценить нерелракционные влияния. Однако в основном наши расчеты отражают соотношение рефракционных и нерелракционных источников погрешностей геодезического нивелирования. Почти все значения вычисленных коэффициентов рефракции на рис. 36 укладываются в пределах области

$$k = 0,170 - \frac{1,86}{h_s^{1,1}} \pm 2,5 (m_k)_{ож},$$

вне которой оказываются лишь девять точек, заключенных в скобки, причем пять из них получено по наблюдениям N . Рисунок 36 ясно показывает, что отличие результатов измерений N от результатов измерений других наблюдателей происходит по причинам личного или инструментального характера. Можно предполагать, что наблюдатель N измерял зенитные расстояния часто не в около полуденные часы, а в периоды, примыкающие к периодам наилучшей видимости.

Пользуясь формулами, выведенными в § 14, оценим порядок устойчивого и неустойчивого влияния рефракции на точность одностороннего и двустороннего нивелирования, а также влияние ошибок нерелракционного происхождения.

А. Устойчивое влияние рефракции

Одностороннее нивелирование (см. 14.1):

$$\overline{m}_h' = \overline{m}_k \frac{s^2}{2R},$$

где \overline{m}_k — среднее квадратическое значение разностей

$$\left(x_0 + q \frac{c}{h_s} \right) - k_0.$$

Двустороннее нивелирование (см. 14.15):

$$\overline{m}_h = \frac{5,9c}{4R} \frac{s^2}{h_s} \frac{\Delta h_s}{h_s}.$$

Для рассматриваемой сети имеем $s = 6,4$ км, $h_{s_{cp}} = 14,3$ м, $c = -0,3$ и $q = 5,9$. Кроме того, дополнительный расчет показал, что $\frac{\Delta h_s}{h_s} = 0,3$ и $\overline{m}_k = \pm 0,07$ (при обработке сети в Украинском АГП принимали $k_0 = 0,12$). Таким образом, получаем $\overline{m}_h' = \pm 0,22$ м и $\overline{m}_h = \pm 0,06$ м.

Б. Неустойчивое влияние рефракции

Одностороннее нивелирование (см. 14.14):

$$m_h' = \frac{s^2}{2R} \sqrt{(0,010)^2 + (0,005)^2 + \left(\frac{f}{\sqrt[3]{s h_s}} \right)^2}.$$

Двустороннее нивелирование (см. 14.16):

$$m_h = \frac{m_h'}{\sqrt{2}}.$$

По нашим данным, $f = 1,4$, т. е. $\frac{f}{\sqrt[3]{s} h_{\text{ср}}} = 0,053$; $m'_h = \pm 0,17$ м;

$$m_h = \pm 0,12 \text{ м.}$$

Отсюда видно, что при двустороннем нивелировании более чем в три раза уменьшилось устойчивое влияние рефракции, которое стало заметно меньше неустойчивого влияния. Следует также отметить, что основной причиной неустойчивого влияния рефракции явились колебания аномальных градиентов температуры, по сравнению с которыми влияние колебаний температуры и нормального градиента пренебрегаемо малы.

Полное влияние рефракции на точность одностороннего нивелирования равно $\pm 0,28$ м, а на точность двустороннего нивелирования $\pm 0,13$ м, при этом для вывода среднего коэффициента рефракции k_0 были привлечены все измерения. Вес одностороннего нивелирования, по видимому, надо считать не в два, как принято, а в четыре раза меньше веса двустороннего нивелирования.

В. Нерепракционные влияния

В соответствии с данными, приведенными в этом параграфе, имеем для одностороннего нивелирования

$$m'_{\text{нерефр.}} = \sqrt{2m_i^2 + \left(\mu_z \frac{s}{\rho''}\right)^2} = \sqrt{2(0,03)^2 + (0,16)^2} = \pm 0,16 \text{ м;}$$

для двустороннего нивелирования:

$$m_{\text{нерефр.}} = \sqrt{2m_i^2 + \frac{1}{2}\left(\mu_z \frac{s}{\rho''}\right)^2} = \sqrt{2(0,03)^2 + \frac{1}{2}(0,16)^2} = \pm 0,12 \text{ м,}$$

где m_i — ошибка определения высоты инструмента и визирной цели; μ_z — нерепракционная ошибка измерения зенитного расстояния (для ТТ 2/6 имеем $\mu_z = \pm 5''$).

Отсюда видно, что при двустороннем нивелировании $m_{\text{нерефр.}}$ приближается по величине к рефракционным влияниям, поэтому в данном случае повышение точности измерений путем применения оптических теодолитов целесообразно. Оно приводит к заметному общему повышению точности геодезического нивелирования.

§ 20. Исследование земной рефракции в степном районе, выполненное Московским аэрогеодезическим предприятием

После того как была закончена обработка исследования ЦНИИГАиК по геодезическому нивелированию под Москвой, возник вопрос о том, насколько выводы из этих исследований применимы к степным районам нашей страны. Результаты работ Украинского предприятия могли лишь частично дать ответ на указанный вопрос, так как измерения зенитных расстояний выполнялись там только в полуденное время. Поэтому ЦНИИГАиК предложил Московскому аэрогеодезическому предприятию произвести исследование по геодезическому нивелированию в степном районе по разработанной нами программе. Основной задачей этой работы являлось изучение точности геодезического нивелирования в различные часы дня при разной длине и высоте визирного луча.

Эта работа выполнялась сотрудниками одного из геодезических отрядов Московского предприятия под руководством инж. Г. С. Дьякова в мае и сентябре 1952 г. в Сальских степях. Наблюдения выполнялись одновременно на пунктах Ново-Сиротский и II участок, на которых

измерялись зенитные расстояния всех смежных пунктов, если это было возможно по условиям видимости. Измерения зенитных расстояний выполнялись оптическими теодолитами со столбиков простых сигналов высотой в 6—7 м и со штативов высотой в 1,7—2,0 м. Названия наблюдаемых пунктов приведены в табл. 42, содержащей также данные, необходимые для вычисления теоретических зенитных расстояний. Эквивалентные высоты вычислялись по данным карты в масштабе 1 : 100 000.

Таблица 42

Название пунктов	s	H	l	h _э при наблюдении	
				с сигнала	со штатива
II участок	сигнал $i = 5,72$ м			штатив $i = 1,72$ м	
Ново-Сиротский	12550	95,91	9,75	13,1	8,6
Пограничная	11479	104,49	10,83	6,6	3,3
Орлов	4329	104,96	6,85	5,4	2,5
Лопатин	11858	74,36	14,09	8,8	4,6
Ново-Сиротский	сигнал $i = 6,94$ м			штатив $i = 1,80$ м	
II участок	12550	98,68	8,55	10,6	4,5
Пограничная	9849	104,49	10,83	8,0	3,8
Ивановка	2779	67,07	6,91	10,1	6,1
Ново-Сальский	7292	62,60	10,03	11,1	5,9

Район этих работ представлял степь с весьма слабо расчлененным рельефом. Визирные лучи по всем линиям нивелирования даже при наблюдениях с сигналов проходили низко над земной поверхностью. Поэтому результаты описываемых работ могут дать выводы о точности геодезического нивелирования в очень неблагоприятных условиях.

Зенитные расстояния наблюдаемых пунктов измерялись сериями по четыре приема через каждые два часа с 6 час и осенью с 6 час 30 мин до 18 час по московскому времени. Так как место работ находилось недалеко от осевого меридиана следующего от Москвы часового пояса, то можно считать, что солнечный полдень наступал приблизительно в 12 час дня по московскому времени.

В каждой серии наблюдений сначала измерялись взаимные зенитные расстояния по линии II участок — Ново-Сиротский, а затем поочередно по полной программе из четырех приемов измерялись зенитные расстояния всех остальных наблюдаемых пунктов. Перед началом и в конце каждой серии наблюдений при помощи термометра-праца измерялась температура на высоте инструмента.

Высота знаков определялась дважды разными исполнителями и в различное время путем непосредственного измерения стальной рулеткой с ошибкой не более 2 см. Отметки центров всех пунктов были получены из геометрического нивелирования по замкнутым ходам. С большой точностью были известны также расстояния между пунктами.

Ниже приводится характеристика условий работы весной и осенью на основании объяснительной записки, составленной инж. Г. С. Дьяковым.

Наблюдения выполнялись с 23 по 27 мая и 7 и 8 сентября 1952 г. на пункте II участок инж. Г. А. Кротковым (инструмент ОТ-02 № 9041), на пункте Ново-Сиротский — весной инж. В. У. Ярмонтовичем (инструмент ThB № 69609), а осенью — инж. А. М. Широковой (инструмент ОТ-02 № 9264).

Метеорологические условия во время измерений приведены в табл. 43.

Таблица 43

Дата	Температура		Облачность	Ветер	Осадки
	утром	днем и вечером			
23—25.V	16°	27°	Небольшая	ЮЗ слабый	Нет
26.V	15	18	Значительная	СВ слабый	Небольшой дождь
27.V	16	21	Переменная (с утра—туман)	СВ слабый	Нет
7—8.IX	14	33	Небольшая	ЮВ сильный	Нет

Видимость в дневное время была плохая, из-за чего отдельные направления в некоторых сериях измерений пропущены. Устойчивая видимость была по коротким линиям Орлов, Ново-Сальский и Ивановка. Изображения всех пунктов в дневное время были расплывчатые колеблющиеся. Особо следует отметить большие искажения, наблюдавшиеся с пункта II участок на пункты Лопатин и Орлов из-за низкого прохождения луча. При наблюдении пункта Орлов в дневное время изображения

Таблица 44

Наблюдаемый пункт	Серия измерений						
	6 час	8 час	10 час	12 час	14 час	16 час	18 час

Пункт наблюдения: II участок, сигнал

	23 мая						
Ново-Сиротский	—	—	—	+0,032	+0,097	+0,096	+0,146
Пограничная	—	—	—	+0,044	-0,051	+0,041	+0,310
Орлов	—	—	—	-0,145	-0,162	+0,010	+0,335
	24 мая						
Ново-Сиротский	+0,197	+0,117	+0,107	+0,084	+0,144	+0,106	+0,182
Пограничная	+0,056	+0,043	+0,065	+0,025	+0,018	+0,038	+0,491
Орлов	0,000	-0,019	-0,103	-0,154	-0,092	-0,009	+0,74
	27 мая						
Ново-Сиротский	—	—	—	+0,065	+0,063	+0,086	+0,156
Пограничная	—	—	—	-0,057	-0,058	+0,076	+0,255
Орлов	—	-0,276	-0,360	-0,264	-0,241	+0,066	+0,229
Лопатин	—	—	—	—	—	+0,059	+0,113
	7 сентября						
Ново-Сиротский	+0,142	+0,013	—	—	—	+0,078	+0,212
Пограничная	+0,048	-0,086	—	—	-0,128	+0,096	+0,259
Орлов	-0,038	-0,217	-0,331	-0,324	-0,175	+0,078	+0,394
Лопатин	+0,019	-0,030	—	—	—	+0,120	+0,334

Пункт наблюдения: II участок, штатив

	25 мая						
Ново-Сиротский	+0,098	+0,001	-0,050	+0,026	—	+0,047	+0,168
Пограничная	-0,028	-0,23	-0,28	—	-0,103	+0,057	+0,181
Орлов	-0,140	-0,52	-0,82	-0,80	-0,36	+0,026	+0,29
Лопатин	-0,091	-0,195	—	—	—	-0,020	+0,146

Наблюдаемый пункт	Серия измерений						
	6 час	8 час	10 час	12 час	14 час	16 час	18 час
	26 мая						
Ново-Сиротский	+0,120	—	+0,008	+0,036	-0,004	+0,071	+0,118
Пограничная	-0,102	—	-0,149	-0,146	-0,212	-0,024	+0,044
Орлов	-0,28	-0,72	-0,53	-0,41	-0,47	-0,076	+0,007
Лопатин	+0,085	-0,115	—	—	—	-0,021	+0,036
	8 сентября						
Ново-Сиротский	+0,166	+0,066	—	—	—	+0,202	+0,291
Пограничная	+0,076	-0,104	—	—	-0,181	+0,275	+0,42
Орлов	-0,082	-0,26	-0,51	-0,62	-0,31	+0,40	+0,72
Лопатин	+0,033	-0,135	—	—	—	+0,245	—

Пункт наблюдения: Ново-Сиротский, сигнал

	23 мая						
II участок	—	—	—	-0,058	-0,059	+0,101	+0,154
Пограничная	—	—	—	+0,009	+0,063	+0,139	+0,206
Ивановка	—	—	—	(+0,64)	(+0,44)	(+0,42)	(+0,44)
Ново-Сальский	—	—	—	(+0,165)	(+0,285)	(+0,269)	(+0,276)
	24 мая						
II участок	+0,248	+0,172	+0,188	+0,124	+0,131	+0,116	+0,208
Пограничная	+0,206	+0,139	+0,163	+0,123	+0,152	+0,150	+0,358
Ивановка	(+0,47)	(+0,40)	(+0,41)	(+0,40)	(+0,37)	(+0,44)	(+0,63)
Ново-Сальский	(+0,267)	(+0,220)	(+0,249)	(+0,306)	(+0,284)	(+0,256)	(+0,316)
	27 мая						
II участок	—	+0,094	+0,086	+0,122	+0,086	+0,089	+0,161
Пограничная	—	+0,020	+0,038	+0,069	+0,042	+0,107	+0,208
Ивановка	—	(+0,26)	(+0,26)	(+0,29)	(+0,31)	(+0,32)	(+0,50)
Ново-Сальский	—	(+0,096)	(+0,156)	(+0,172)	(+0,154)	(+0,198)	(+0,238)
	7 сентября						
II участок	+0,158	-0,030	-0,146	-0,101	-0,042	+0,104	+0,234
Пограничная	+0,111	-0,021	—	—	-0,076	+0,079	+0,285
Ивановка	+0,033	-0,114	-0,142	+0,033	-0,031	+0,069	+0,237
Ново-Сальский	+0,105	+0,031	+0,012	+0,082	+0,014	+0,107	+0,219

Пункт наблюдения: Ново-Сиротский, штатив

	25 мая						
II участок	-0,080	—	—	—	—	-0,029	+0,009
Пограничная	+0,107	-0,009	-0,201	-0,250	-0,079	+0,033	+1,148
Ивановка	(+0,21)	(+0,23)	(+0,12)	(+0,33)	(+0,25)	(+0,36)	(+0,38)
Ново-Сальский	(+0,148)	(+0,091)	(+0,132)	(+0,129)	(+0,104)	(+0,182)	(+0,163)
	26 мая						
II участок	+0,109	—	—	-0,101	-0,173	-0,097	+0,059
Пограничная	+0,035	-0,053	-0,106	-0,022	-0,053	+0,022	+0,095
Ивановка	(+0,20)	(+0,26)	(+0,14)	(+0,13)	(+0,12)	(+0,15)	(+0,25)
Ново-Сальский	(+0,097)	(+0,030)	(+0,036)	(+0,002)	(-0,008)	(+0,042)	(+0,140)
	8 сентября						
II участок	+0,220	-0,199	—	—	+0,016	+0,259	+0,51
Пограничная	+0,173	-0,186	-0,131	-0,260	+0,063	+0,308	+0,62
Ивановка	+0,072	-0,314	-0,162	-0,43	-0,07	+0,147	+0,55
Ново-Сальский	+0,095	-0,082	-0,031	-0,184	-0,004	+0,239	+0,52

были увеличены по ширине, болванка сигнала выглядела несоразмерно толстой, а сигнал был «прижат к земле».

Для анализа описываемого материала наиболее удобными оказались значения коэффициентов рефракции, которые выводились нами по отдельным сериям измерений и приведены в табл. 44. В ней указано время начала наблюдений каждой серии*.

Если сравнить таблицы 42 и 44, можно заметить, что чем меньше высота визирного луча, тем больше были отклонения наблюдаемых коэффициентов рефракции от нормального значения $+0,16$. Суточный ход этих отклонений был следующий: в 6 часов они либо отсутствовали, либо имели положительный знак, затем переходили через нуль и днем достигали наибольших отрицательных значений, в 16 часов снова приближались к нулю и позднее быстро достигали больших положительных значений. Сходные выводы получаем и по наблюдениям со штатива. Здесь только в еще большей мере проявлялись колебания коэффициентов рефракции. Установленная закономерность, понятная в свете изложенных ранее теоретических положений и результатов экспериментальных работ, не замечалась, однако, при весенних наблюдениях пунктов Ивановка и Ново-Сальский, расположенных в низине. Есть некоторые косвенные данные, которые позволяют предполагать, что причиной указанной аномалии результатов измерений являлись ошибки личного или инструментального характера, и скорее всего систематические ошибки визирования. Аномалии результатов измерений по тем же направлениям Ивановка и Ново-Сальский не замечалось осенью, когда измерения выполнял другой наблюдатель и другим инструментом. Кроме того, по данным объяснительной записки, все визирные цели были окрашены в черный цвет и по этим двум направлениям проектировались на землю, в то время как по всем другим — на небо. Соответствующие аномальным результатам измерений коэффициенты рефракции в табл. 44 заключены в скобки.

Можно далее показать, что большие колебания зенитных расстояний в Сальских степях объяснялись не какими-то особенными, резкими колебаниями градиентов температуры, а, прежде всего, небольшой высотой визирного луча над подстилающей поверхностью при значительной его длине. Для этого воспользуемся градиентами температуры на высоте 1 м над почвой, выведенными из геодезических измерений по формуле (13.6), а именно:

$$c = \frac{k - \kappa_0}{5,9} h_s,$$

приняв $\kappa_0 = 0,16$. Результаты вычисления представлены графически на рис. 37.

Оказывается, что во все дни, кроме 24 мая, градиенты температуры, полученные по разным направлениям, хорошо согласуются один с другим. Особенно хорошо это заметно по материалам осенней группы измерений. В весенней группе результаты менее согласуются, что скорее всего связано с различием растительного покрова на разных направлениях (на это есть указание в объяснительной записке). Величина вычисленных градиентов температуры оказывается такого же порядка, как и в наших исследованиях под Москвой или в расчетах по материалам Украинского АГП.

* Осенью последнюю серию начинали выполнять в 17 час 30 мин, чтобы успеть закончить ее до захода солнца в 18 час 40 мин.

Чтобы получить выводы о выгоднейшем времени для геодезического нивелирования, данные измерений с сигналов были обработаны точно так же, как и измерения с сигналов при исследованиях под Москвой

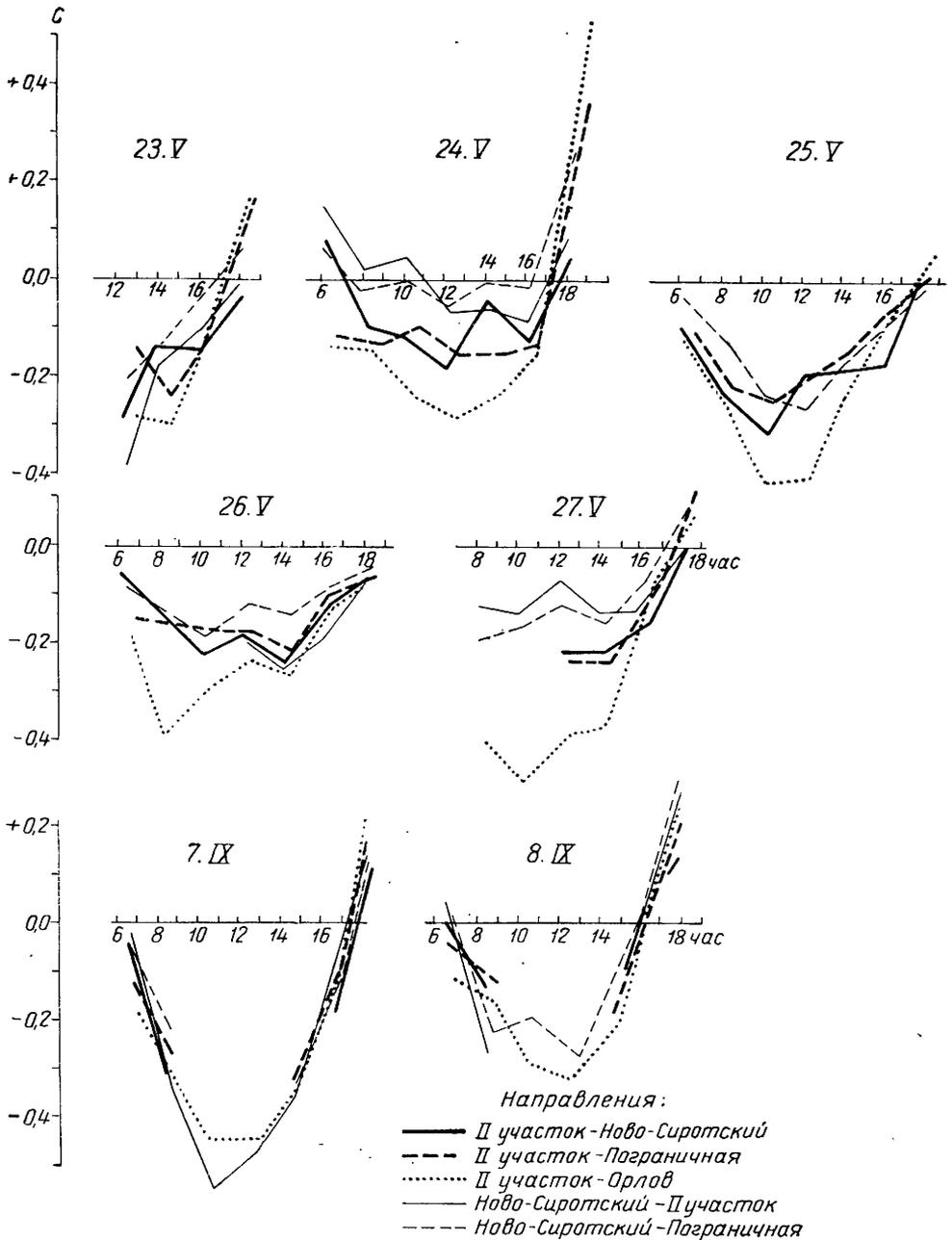


Рис. 37

(§ 12, табл. 17). Величины средних коэффициентов рефракций k , выведенных из всех измерений, и средних квадратических колебаний m_k , приведены в табл. 45. Вычисления проведены в двух вариантах с учетом

(II) и без учета (I) весенних наблюдений на пункты Ивановка и Ново-Сальский.

Т а б л и ц а 45

Время дня час мин	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—17 30	17 30—19
	I. Без учета аномальных данных						
Число серий	13	16	12	19	21	24	24
k	+ 0,100	— 0,011	— 0,036	— 0,016	— 0,015	+ 0,085	+ 0,251
m_k	± 0,09	± 0,12	± 0,19	± 0,13	± 0,11	± 0,04	± 0,13
	II. С учетом аномальных данных						
Число серий	15	20	16	25	27	30	30
k	+ 0,109	+ 0,040	+ 0,041	+ 0,061	+ 0,056	+ 0,145	+ 0,265
m_k	± 0,13	± 0,16	± 0,22	± 0,20	± 0,17	± 0,11	± 0,15

Как видно, наилучшие результаты геодезическое нивелирование дает между 6—8 час и между 16—17 час 30 мин. В это время влияние рефракции оказалось наиболее устойчивым для каждого из направлений день ото дня и от весны до осени, а вычисленные для разных направлений коэффициенты рефракции наиболее близко подходят один к другому. Отметим, что в это же время, как правило, были хорошие изображения. Выводы эти полностью соответствуют выводам, полученным в наших исследованиях под Москвой при небольших высотах визирного луча.

По данным исследований в Сальских степях можно судить о том, при каком соотношении эквивалентной высоты и длины визирного луча следует выполнять геодезическое нивелирование. Практически оказалось, что при соотношении $\frac{s}{h_s}$ большем 800, измерять зенитные расстояния можно только в короткий период наилучшей видимости утром и вечером. Поскольку этот период дня предназначен в триангуляции для измерения горизонтальных углов, а проводить попутно геодезическое нивелирование нецелесообразно, то соотношение

$$\frac{s}{h_s} < 800.$$

и устанавливает предельно малую высоту визирного луча над почвой.

§ 21. Точность геодезического нивелирования в сетях триангуляции

До сих пор еще нет ясного представления о характере и закономерностях влияния различных погрешностей геодезического нивелирования на точность передачи высот по пунктам сплошной сети триангуляции. В практических расчетах обычно исходят из точности двустороннего геодезического нивелирования по каждой из сторон сети и совершенно упускают из вида, что измерения зенитных расстояний по всем направлениям на каждом пункте триангуляции выполняются большей частью в сходных внешних условиях. Понятно, что это должно приводить к частичной компенсации отдельных ошибок и прежде всего рефракционных влияний при передаче высот через две и более линий нивелирования. Особенно заметную компенсацию рефракционных влияний следует ожидать при передаче высот по замкнутым полигонам. Выше (см. § 14) мы делили ошибки геодезического нивелирования на три группы:

а) устойчивое влияние рефракции, т. е. такое влияние рефракции, которое бывает при некоторой постоянной «средней» структуре атмосферы;

б) неустойчивое влияние рефракции, обусловленное отклонениями действительного строения атмосферы от «среднего»;

в) ошибки нерелаксионного происхождения.

Устойчивое влияние рефракции является основным источником ошибок при одностороннем нивелировании, а при двустороннем действии этого источника ошибок столь значительно компенсируется, что его можно не принимать во внимание.

Неустойчивое влияние рефракции на точность одностороннего нивелирования в данный момент по данному направлению приближенно выражается следующей формулой:

$$\Delta h = \alpha \frac{s^2}{h_a}, \quad (21.1)$$

где α — случайная величина, пропорциональная отклонениям градиента температуры на высоте 1 м от его общего среднего значения, соответствующего устойчивому влиянию рефракции. Формула (21.1) будет достаточно точна для расстояний, принятых в сетях триангуляции.

Среднее квадратическое неустойчивое влияние рефракции на точность одностороннего нивелирования будет выражаться аналогичной формулой

$$m_h = \pm A \frac{s^2}{h_a}, \quad (21.2)$$

где A — среднее квадратическое значение величины α .

Ранее мы давали другую более точную формулу

$$m_h = \pm \frac{f}{\sqrt{s}} \frac{s^2}{h_a},$$

где f для различных сетей равно 0,9—1,2.

Если принять $s = 6$ км, то соответствующие значения коэффициента A будут равны 0,04—0,06.

При наблюдении с какого-либо пункта условия измерений по разным направлениям будут сходными, следовательно, сходными будут не только устойчивое, но и неустойчивое влияние рефракции. Как показывают исследования, различие влияния рефракции по разным направлениям объясняется не столько изменением величины α в формуле (21.1), сколько колебаниями отношения $\frac{s^2}{h_a}$. Таким образом, величина

$$\bar{\Delta h} = \alpha \left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср.}}$$

характеризует неустойчивое влияние рефракции, общее для всех направлений с данного пункта, а величины

$$\bar{\delta h} = \alpha \left[\left(\frac{s^2}{h_a} \right) - \left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср.}} \right]$$

характеризуют влияние рефракции, меняющееся от направления к направлению.

Среднее квадратическое значение $\bar{\delta h}$ равно

$$\delta m_h = L m_h, \quad (21.3)$$

где L будем называть коэффициентом компенсации. Его находим по формуле

$$L = \frac{\left[\frac{s^2}{h_a} - \left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср.}} \right]}{\frac{s^2}{h_a}}. \quad (21.4)$$

Среднее квадратическое влияние ошибок $\bar{\Delta h}$ соответственно равно

$$\bar{m}_h = \sqrt{1 - L^2} \cdot m_h. \quad (21.5)$$

По материалам Украинского АГП мы рассчитали приблизительную величину L . На каждом пункте сети нивелирования были выбраны независимые пары направлений, для каждой из которых мы рассчитали величины $\left(\frac{s^2}{h_a} \right)_1$, $\left(\frac{s^2}{h_a} \right)_2$ и $\left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср}}$ и в среднем по 63 парам направлений получили

$$\left[\frac{s_1^2}{h_{a_1}} - \frac{s_2^2}{h_{a_2}} \right]_{\text{ср.}} \approx \sqrt{2} \left[\frac{s^2}{h_a} - \left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср.}} \right] \approx 1,4,$$

$$\left(\frac{s^2}{h_a} \right)_{\text{ср.}} \approx 2,0,$$

$$L \approx 0,5.$$

Подобное разделение ошибок на части $\delta \mu_h$, общие для всех направлений, и $\bar{\mu}_h$, меняющиеся от направления к направлению, можно провести и в группе ошибок нерелаксионного происхождения μ_h . Общими для всех направлений будут, например, ошибки определения высот инструмента и визирных целей и частично ошибки визирования.

Обозначим

$$\delta \mu_h = L_1 \mu_h, \quad (21.6)$$

$$\bar{\mu}_h = \mu_h \sqrt{1 - L_1^2},$$

где L_1 — коэффициент компенсаций нерелаксионных ошибок.

Наличие ошибок превышений, общих для всех направлений, приводит к различным последствиям. Важнее всего, во-первых, то, что при передаче превышений в полигонах такие ошибки, свойственные всем направлениям с каждого пункта, компенсируются при переходе через этот пункт. Это ведет к уменьшению накопления ошибок в полигонах нивелирования. Однако, во-вторых, влияние ошибок, общих для всех направлений с каждого пункта, может быть обнаружено лишь из расхождения результатов геодезического нивелирования и независимого геометрического нивелирования. Поэтому влияние «общих» ошибок почти не уменьшается при уравнивании и не сказывается на результатах оценки точности нивелирования по внутренней сходимости. Вследствие этого найденная точность будет завышенной.

Чтобы разъяснить первое из наших положений, дадим вывод случайного влияния рефракции на точность передачи высот методом двустороннего нивелирования по ходу, состоящему из n сторон.

Имеем при:

$$n=1 M_h = A \frac{s_1^2}{2} \sqrt{\left[\frac{1}{(h_s)_1}\right]^2 + \left[\frac{1}{(h'_s)_2}\right]^2} = \frac{A}{\sqrt{2}} \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}}, \quad (21.7)$$

$$n=2 M_h = \frac{A}{2} \sqrt{\left[\frac{s_1^2}{(h_s)_1}\right]^2 + \left[\frac{s_2^2}{(h_s)_2} - \frac{s_1^2}{(h'_s)_2}\right]^2 + \left[\frac{s_2^2}{(h_s)_3}\right]^2} = \\ = \frac{A}{\sqrt{3}} \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}} \sqrt{1+L^2}.$$

Продолжая этот вывод, получаем в разомкнутом ходе

$$n=3 M_h = \frac{A}{\sqrt{2}} \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}} \sqrt{1+2L^2},$$

$$\dots \dots \dots \\ n=n M_h = \frac{A}{\sqrt{2}} \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}} \sqrt{1+(n-1)L^2}. \quad (21.8)$$

В замкнутом ходе компенсация неустойчивого влияния рефракции будет большей, а именно: будем иметь при

$$n=3 M_h = \frac{A}{2} \sqrt{\left[\frac{s_1^2}{(h_s)_1} - \frac{s_3^2}{(h'_s)_1}\right]^2 + \left[\frac{s_2^2}{(h_s)_2} - \frac{s_1^2}{(h'_s)_2}\right]^2 + \left[\frac{s_3^2}{(h_s)_3} - \frac{s_2^2}{(h'_s)_3}\right]^2} = \\ = \sqrt{\frac{3}{2}} AL \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}},$$

$$\dots \dots \dots \\ n=n M_h = AL \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}} \sqrt{\frac{n}{2}}. \quad (21.9)$$

Если бы не было компенсации влияния рефракции, то получили бы

$$M_h = A \left(\frac{s^2}{h_s}\right)_{\text{ср.}} \sqrt{\frac{n}{2}}$$

Следовательно, в замкнутых полигонах двустороннего нивелирования неустойчивое влияние рефракции компенсируется приблизительно в два раза лучше, чем в разомкнутом ходе.

Формулы, подобные (21.8) и (21.9), можно написать и для влияния ошибок нерефракционного происхождения. Так, для разомкнутого хода будем иметь

$$\bar{M}_n = B s \sqrt{1+(n-1)L_1^2},$$

а для замкнутого хода

$$\bar{M}_n = B s L_1 \sqrt{\frac{n}{2}}.$$

где B — некоторый постоянный параметр.

Для рассмотренной нами сети Украинского АГП получено, что $A = 0,05$ и $B = 0,025$, если высоты выражены в метрах, а длины сторон — в километрах. Кроме того, для той же сети $s_{\text{ср.}} = 6$ км, а устойчивое влияние рефракции на результат двустороннего нивелирования равно $\pm 0,06$ м (см § 19).

Пользуясь этими данными, мы попытались подобрать такое значение L_1 , чтобы согласовать расчетные и фактические ошибки геодезического нивелирования в сети Украинского АГП. Результаты расчетов приведены в табл. 46.

Таблица 46

Определяемые величины	Разомкнутые полигоны			Замкнутые полигоны		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 3$	$n = 4$	
Средняя фактическая квадратическая не- вязка	$\pm 0,16 \text{ м}$	$\pm 0,18 \text{ м}$ (120)	$\pm 0,25 \text{ м}$ (100)	$\pm 0,17 \text{ м}$ (169)	$\pm 0,23 \text{ м}$ (58)	
Влияние рефрак- ции	неустой- чивое	$\pm 0,125$	$\pm 0,14$	$\pm 0,15$	$\pm 0,11$	$\pm 0,125$
	устойчи- вое	$\pm 0,06$	$\pm 0,085$	$\pm 0,105$	$\pm 0,105$	$\pm 0,12$
Прочие влияния при						
$L_1 = 1$	$\pm 0,10$	$\pm 0,145$	$\pm 0,18$	$\pm 0,18$	$\pm 0,21$	
$L_1 = \frac{3}{4}$	$\pm 0,10$	$\pm 0,125$	$\pm 0,14$	$\pm 0,115$	$\pm 0,135$	
$L_1 = \frac{1}{2}$	$\pm 0,10$	$\pm 0,115$	$\pm 0,125$	$\pm 0,085$	$\pm 0,10$	
Ожидаемая средняя квадратиче- ская невяз- ка при	$L_1 = 1$	$\pm 0,17$	$\pm 0,22$	$\pm 0,26$	$\pm 0,24$	$\pm 0,28$
	$L_1 = \frac{3}{4}$	$\pm 0,17$	$\pm 0,20$	$\pm 0,23$	$\pm 0,19$	$\pm 0,22$
	$L_1 = \frac{1}{2}$	$\pm 0,17$	$\pm 0,195$	$\pm 0,22$	$\pm 0,17$	$\pm 0,20$

Данные первой строки табл. 46 — средние квадратические невязки по ходам между пунктами, имеющими отметки из геометрического нивелирования или невязки в замкнутых полигонах (треугольниках или четырехугольниках). В скобках под этими данными поставлено число ходов или полигонов, использованных для вывода соответствующей невязки.

Как видно, наилучшее соответствие фактических и ожидаемых невязок полигонов получается при $L_1 = \frac{3}{4}$, т. е. влияние ошибок нерифракционного происхождения и быстро меняющейся рефракции ослабляется при передаче через точку примерно на 25%.

Рассмотренное нами явление компенсации ошибок в ходах и полигонах геодезического нивелирования относится к тому случаю, когда на каждом пункте хода измеряются зенитные расстояния только двух соседних пунктов, как это необходимо и достаточно для передачи отметок по полигону. Но своеобразие рядов и сетей триангуляции состоит в том, что в них имеется значительное число избыточных передач высот. Это не может не приводить к дополнительной компенсации ошибок при передаче отметок на пункты, которые удалены от опорных пунктов, имеющих отметки из геометрического нивелирования.

Отметка пункта O триангуляции наиболее просто будет получаться, если все соседние и непосредственно связанные с ним пункты A, B, C, \dots, N , имеют отметки из геометрического нивелирования. Этот случай часто встречался в работах Украинского АГП. Пусть по всем сторонам сети проведено двустороннее геодезическое нивелирование. Рассмотрим действие отдельных источников ошибок на точность определения отметки пункта O .

Неустойчивое влияние рефракции на точность определения высоты пункта O триангуляции будет складываться из независимых влияний рефракции по направлениям с пунктов $A, B, C, \dots N$ на пункт O и из связанных сходными внешними условиями влияний рефракции по обратным направлениям. В последние влияния войдет как та часть, которая меняется по различным направлениям и в среднем равна

$$I = LA \left(\frac{s^2}{h_s} \right)_{\text{ср.}},$$

так и та часть, которая является общей для всех направлений на данном пункте и в среднем равна

$$II = A \sqrt{1-L^2} \left(\frac{s^2}{h_s} \right)_{\text{ср.}}.$$

Аналогичным образом разделится влияние ошибок нерелракционного происхождения. Таким образом, ошибка двустороннего геодезического нивелирования по каждому направлению с пункта O на пункты $A, B, C, \dots N$ складывается из влияния ошибок, постоянных для всех этих направлений,

$$m_1 = \frac{1}{2} \sqrt{(1-L^2) \left(A \frac{s^2}{h_s} \right)^2 + (1-L_1^2) \mu^2}, \quad (21.10)$$

из таких же ошибок на пунктах $A, B, C, \dots N$ и, наконец, из суммарного влияния ошибок, меняющихся от линии к линии,

$$m_2 = \sqrt{\frac{L^2}{2} \left(A \frac{s^2}{h_s} \right)^2 + \frac{L_1^2}{2} \mu^2 + m_{\text{у.р.}}^2}. \quad (21.11)$$

где $m_{\text{у.р.}}$ — устойчивое влияние рефракции.

Следовательно, в превышение по каждой линии между пунктом O и соседними пунктами войдет ошибка, общая для всех этих линий и равная

$$m_{\text{общ.}} = m_1,$$

и ошибка, различная для каждой из этих линий, а именно:

$$m_{\text{разл.}} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Принимая по результатам работ Украинского АГП

$$\mu = 0,025 \text{ с}, \quad A = 0,05,$$

$$s = 6 \text{ км}, \quad \left(\frac{s^2}{h_s} \right)_{\text{ср.}} = 3,0,$$

$$L = \frac{1}{2}, \quad L_1 = \frac{3}{4},$$

будем иметь

$$m_1 = m_{\text{общ.}} = \pm 0,09 \text{ м}; \quad m_2 = \pm 0,115 \text{ м}; \quad m_{\text{разл.}} = \pm 0,145 \text{ м}.$$

Как уже указывалось выше, общая для всех направлений с данного пункта ошибка превышения $m_{\text{общ.}}$ не нарушает внутренней согласованности результатов геодезического нивелирования в сети и войдет в отметку пункта O , даже если произвести уравнивание. Положим, что число всех пунктов $A, B, C, \dots N$ равно n , а все превышения по линиям

$OB, OC, \dots ON$ равноточны. Тогда действительная ошибка отметки пункта O будет равна

$$(M_H)_{\text{общ.}} = \sqrt{m_1^2 \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{m_2^2}{n}}, \quad (21.12)$$

Из оценки точности по результатам уравнивания мы получим ее приулучшенной

$$(\bar{M}_H)_{\text{общ.}} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2}{n}},$$

следовательно,

при $n = 2$ $(M_H)_{\text{общ.}} = \pm 0,14$ м и $(\bar{M}_H)_{\text{общ.}} = \pm 0,10$ м,

а при $n = 4$ $(M_H)_{\text{общ.}} = \pm 0,12$ м и $(\bar{M}_H)_{\text{общ.}} = \pm 0,07$ м.

Рассмотрим теперь пример более сложной сети, показанной на рис. 38. Пусть пункты A_1, A_2, \dots, A_n имеют отметки, полученные из геометрического нивелирования, а по всем сторонам сети выполнено

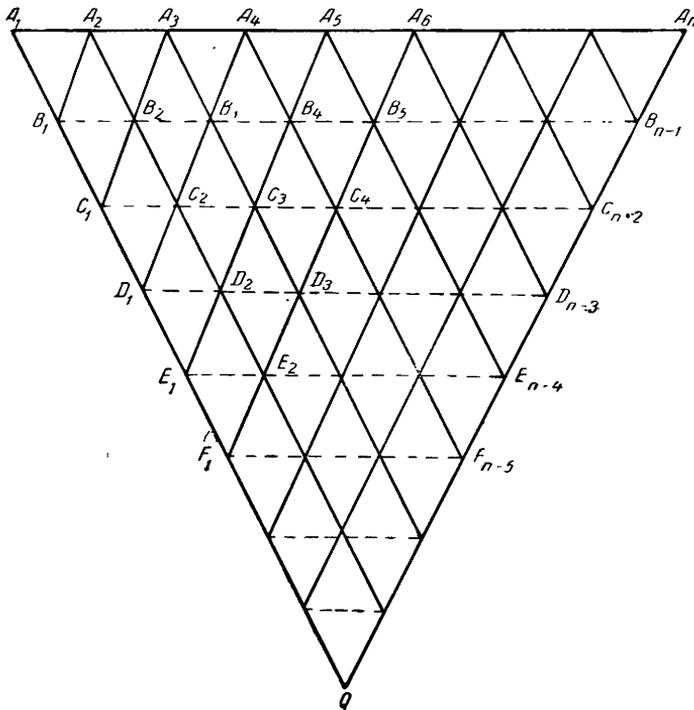


Рис 38.

двустороннее нивелирование. Предположим, что отметки пунктов сети вычисляли, не принимая во внимание связей по рядам $B_1, B_2, \dots, B_{n-1}, C_1, C_2, \dots, C_{n-2}$ и т. д., поэтому отметка пункта B_i , например, получена как среднее из отметок, переданных с пунктов A_i и A_{i+1} .

Тогда ошибки отметок пунктов ряда B_1, B_2, \dots, B_{n-1} , согласно (21.12) равны

$$(M_H)_B = \sqrt{\frac{3}{2} m_1^2 + \frac{1}{2} m_2^2},$$

а численная их величина по материалам Украинского АГП равна $\pm 0,14$ м. В дальнейшем для наглядности будем иллюстрировать все наши выводы величинами, полученными по тем же материалам.

При передаче отметок на пункты любого другого ряда расчет весов выглядит сложнее, поскольку, например, при передаче высот на пункт C_i исходные отметки пунктов B_i и B_{i+1} не будут вполне независимыми. Поэтому указанный расчет будем производить путем построения весовой функции.

Выразим ошибку отметки пункта C_1 через ошибки превышений, переданных по линиям B_1C_1 , B_2C_1 , A_1B_1 , A_2B_1 , A_2B_2 и A_3B_2 , и напишем:

$$\Delta H_{C_1} = \frac{\Delta h_{B_1C_1} + \Delta h_{B_2C_1}}{2} + \frac{\Delta h_{A_1B_1} + \Delta h_{A_2B_1} + \Delta h_{A_2B_2} + \Delta h_{A_3B_2}}{4}.$$

В ошибки превышений войдут погрешности, общие для всех направлений на каждом пункте, которые назовем $\bar{\Delta}h_{A_1}$, $\bar{\Delta}h_{A_2}$, $\bar{\Delta}h_{A_3}$ ч т. л. и погрешности, меняющиеся от направления к направлению, которые обозначим через $\Delta h'_{B_1C_1}$, $\Delta h'_{B_2C_1}$ и т. д.

Таким образом, будем иметь:

$$\Delta H_C = \frac{\Delta h'_{B_1C_1} + \Delta h'_{B_2C_1}}{2} + \frac{\Delta h'_{A_1B_1} + \Delta h'_{A_2B_1} + \Delta h'_{A_2B_2} + \Delta h'_{A_3B_2}}{4} + \frac{\bar{\Delta}h_{A_1} + 2\bar{\Delta}h_{A_2} + \bar{\Delta}h_{A_3}}{4} + \bar{\Delta}h_{C_1}.$$

и отсюда с достаточной точностью получим:

$$M_{HC} = \sqrt{\frac{11}{8} m_1^2 + \frac{3}{4} m_2^2} = \pm 0,145 \text{ м.}$$

Аналогичным образом при трех передачах имеем весовую функцию

$$\Delta H_D = \frac{\Delta h'_{C_1D_1} + \Delta h'_{C_2D_1}}{2} + \frac{\Delta h'_{B_1C_1} + \Delta h'_{B_2C_1} + \Delta h'_{B_2C_2} + \Delta h'_{B_3C_2}}{4} + \frac{\Delta h'_{A_1B_1} + \Delta h'_{A_2B_1} + \Delta h'_{A_2B_2} + \Delta h'_{A_3B_2} + \Delta h'_{A_3B_3} + \Delta h'_{A_4B_3}}{8} + \bar{\Delta}h_{D_1} - \frac{\bar{\Delta}h_{B_2}}{4} + \frac{\bar{\Delta}h_{A_1} + 2\bar{\Delta}h_{A_2} + 2\bar{\Delta}h_{A_3} + \bar{\Delta}h_{A_4}}{8}.$$

откуда получаем:

$$M_{HE} = \sqrt{\frac{39}{32} m_1^2 + \frac{27}{32} m_2^2} = \pm 0,145 \text{ м.}$$

Для четырех передач получим

$$M_{HE} = \sqrt{\frac{147}{128} m_1^2 + \frac{7}{8} m_2^2} = \pm 0,144 \text{ м}$$

и для n передач

$$M_{HQ} = \sqrt{\left[1 + \sum_1^n \frac{n-1}{4^n} + \frac{2(2n-1)}{4^n}\right] m_1^2 + \sum_1^n \frac{2n}{4^n} m_2^2},$$

следовательно, при $n \rightarrow \infty$ в пределе будем иметь:

$$M_{H_Q} = \sqrt{\frac{10}{9} m_1^2 + \frac{8}{9} m_2^2} = \pm 0,143 \text{ м.} \quad (21.13)$$

Таким образом, мы приходим к весьма важному выводу: с удалением от исходных пунктов порядок ошибок определения отметок пунктов геодезического нивелирования остается почти неизменным и меньше ошибки одной передачи высоты.

Последующее уравнивание не изменит влияния членов $\overline{\Delta h}$ на всех пунктах, кроме опорных, и уменьшит влияние остальных членов приблизительно в $\sqrt{\frac{3}{2}}$ раза, если сеть, показанная на рис. 38, лишь с одной стороны опирается на пункты геометрического нивелирования. Таким образом, после уравнивания будем иметь

$$(M_{H_Q})_{\text{уравн.}} = \sqrt{\frac{10}{9} m_1^2 + \frac{16}{27} m_2^2}. \quad (21.14)$$

Эти выводы относятся и к тому случаю, когда все пункты на границе сети будут иметь отметки из геометрического нивелирования. Такого рода построение сети геодезического нивелирования внутри полигона геометрического нивелирования надо считать наилучшим. При иных построениях (например, при передаче высот по простой цепи треугольников) отмеченной компенсации ошибок не будет.

Поскольку ошибки геодезического нивелирования в сплошных сетях триангуляции не накапливаются с расстоянием, густота опорных пунктов геометрического нивелирования и, следовательно, размеры его полигона должны выбираться в зависимости от соотношения его точности к точности одной передачи высоты методом геодезического нивелирования. Потребуем, чтобы средняя ошибка определения отметки опорного пункта методом геометрического нивелирования была в 2,5 раза меньше, чем ошибка любого пункта геодезического нивелирования, т. е. например, для работ Украинского АГП равна $\pm 0,05$ м. Такая точность будет обеспечена, если предельная невязка $f_{\text{пред.}}$ полигона геометрического нивелирования будет не более 20 см. Значит, при геометрическом нивелировании III класса, для которого

$$f_{\text{пред.}} = \pm 1 \text{ см} \sqrt{L},$$

получаем предельный допустимый периметр полигона $L = 200$ км. Таким образом, для высотного обоснования геодезического нивелирования достаточно иметь линии геометрического нивелирования III класса, расположенные примерно через 50 км друг от друга, т. е. как это и предполагается ныне действующими положениями о построении нивелирования III класса. Нивелирование IV класса будет играть тогда вспомогательную роль и служить только для привязок опорных пунктов сети триангуляции к ближайшим реперам III класса.

Указанные соображения мы проверили на фактическом материале. Из сети геодезического нивелирования, выполненного Украинским АГП, был выделен участок, в пределах которого большинство пунктов имели отметки из геометрического нивелирования. Схема этого участка в масштабе 1 : 200 000 изображена на рис. 39. Черными кружками обозначены пункты, имеющие отметки из геометрического нивелирования, а светлыми кружками — остальные пункты триангуляции. На этом рисунке около каждого пункта в числителе дроби стоит его отметка, которая для точек,

обозначенных светлыми кружками, получена из уравнивания, выполненного Украинским АГП. Такого рода отметки сопровождаются оценкой их ошибок, полученных также из уравнивания сети.

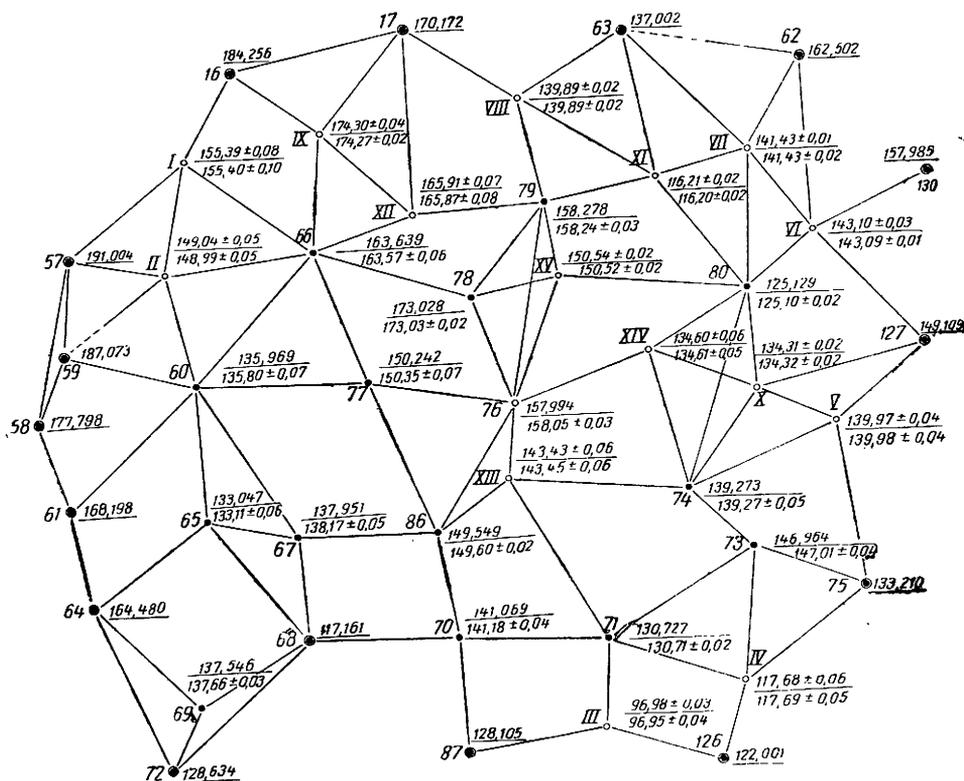


Рис. 39

При повторной обработке сети мы приняли за опорные пункты только те, которые расположены на границе участка и на рис. 39 обведены дополнительными кружками. Отметки остальных пунктов вычислили, воспользовавшись распространенным в практике методом последовательных приближений*. Эти отметки стоят в знаменателях дробей, причем их ошибки получены из нашего уравнивания. В табл. 47 сопоставлены результаты геодезического и геометрического нивелирования. Как и следовало ожидать, точность определения отметок по результатам уравнивания оказалась завышенной. Истинные ошибки отметок, полученных из геодезического нивелирования, достигают до 0,22 м, а средняя квадратическая величина их равна $\pm 0,095$ м. Распределение истинных ошибок не связано с удалением пунктов от твердых точек. Все эти результаты хорошо согласуются с нашими предварительными расчетами.

В табл. 48 приведены разности отметок одних и тех же пунктов по результатам уравнивания, выполненного Украинским предприятием (H_I) и нами (H_{II}). Отсюда видно, что оба уравнивания дали практически одни и те же результаты. Они как нельзя лучше и нагляднее показывают бесполезность сгущения пунктов геометрического нивелирования для обоснования геодезического нивелирования.

* Герасимов И. М. Практическое руководство по вычислению триангуляции II, III и IV классов. М., Геодезиздат, 1941.

Таблица 47

№ пунктов	$H_{\text{геод.}} - H_{\text{геом.}}$	M_H из уравнения
60	- 0,17 м	$\pm 0,07$ м
65	+ 0,06	0,06
69	+ 0,11	0,03
67	+ 0,22	0,05
73	+ 0,05	0,04
66	- 0,07	0,06
77	+ 0,11	0,07
86	+ 0,05	0,02
71	- 0,02	0,02
74	0,00	0,05
80	- 0,03	0,02
79	- 0,04	0,03
78	0,00	0,02
76	+ 0,06	0,03
70	+ 0,11	0,04
Среднее	$\pm 0,095$	$\pm 0,045$

Таблица 48

№ пунктов	$H_{II} - H_I$	M_H из I уравнения	M_H из II уравнения
I	+ 0,01 м	$\pm 0,08$ м	$\pm 0,10$ м
II	- 0,05	0,05	0,05
III	- 0,03	0,03	0,04
IV	+ 0,01	0,06	0,05
V	+ 0,01	0,04	0,04
VI	- 0,01	0,03	0,01
VII	0,00	0,01	0,02
VIII	0,00	0,02	0,02
IX	- 0,03	0,04	0,02
X	+ 0,01	0,02	0,02
XI	- 0,01	0,02	0,02
XII	- 0,04	0,07	0,08
XIII	+ 0,02	0,06	0,06
XIV	+ 0,01	0,06	0,05
XV	- 0,02	0,02	0,02
Среднее	$\pm 0,023$	$\pm 0,046$	$\pm 0,047$

Опыт, подобный описанному, был проделан еще на двух участках сети. Кроме того, на всех трех участках мы выбрали 33 пункта, имеющих отметки из геометрического нивелирования, каждый из которых связан геодезическим нивелированием не менее чем с тремя опорными пунктами.

Исходя из этих передач, были вновь вычислены отметки 33 пунктов и сравнены с жесткими отметками. В результате оказалось, что расхождение отметок, найденных методами геодезического и геометрического нивелирования, составляет в среднем $\pm 0,132$ м. Если опорные пункты оставить лишь по краям трапеций 1 : 100 000 (границам участков), то средняя квадратическая ошибка определения отметок этих 33 пунктов составит $\pm 0,130$ м. Таким образом, дополнительный пример только подтвердил наши соображения о нецелесообразности дальнейшего сгущения опорной сети геометрического нивелирования.

§ 22. Возможности применения геодезического нивелирования

В результате исследований мы вывели формулы ошибок геодезического нивелирования, приведенные в конце § 19. Можно считать, что условия прохождения визирного луча над почвой в районах Украинского АГП довольно типичны для территории СССР, исключая горные районы и такие равнинные районы, в которых геодезическое нивелирование нецелесообразно. Поэтому будем считать во всех случаях типичными соотношения, полученные для этих работ:

$$h_s = 0,0024 s; \quad \frac{\Delta h_s}{h_s} = 0,3.$$

Примем также, что
 $c = -0,3$ град/м,

$\mu_z = 5''$ для теодолитов типа ТТ 2/6,
 $\mu_z = 3'',5$ „ оптических теодолитов,
 $f = 1,0$ „ северных районов СССР,
 $f = 1,4$ „ более южных районов СССР.

Подставив эти данные в выведенные нами формулы § 19, легко получим практически удобные формулы для расчета ошибок геодезического нивелирования в зависимости от длины визирного луча при расстояниях между пунктами от 4 до 20 км (табл. 49).

Таблица 49

Районы	Оптический теодолит	Теодолит ТТ 2/6
Северный	$m_h = \pm 0,020 s$	$m_h = \pm 0,022 s$
Южный	$m_h = \pm 0,022 s$	$m_h = \pm 0,025 s$

Дополнительные исследования в § 21 показали, что отметка любого пункта сети геодезического нивелирования независимо от его удаления от исходных пунктов получается практически с одной и той же ошибкой, пропорциональной средней длине стороны сети; она несколько меньше ошибки одной передачи высоты. Так, например, по материалам Украинского АГП для ошибки определения отметки любого пункта из обработки сплошной сети получили следующую формулу:

$$M_H = \pm 0,02 s, \quad (22.1)$$

где, как и раньше, M_H выражено в метрах, а s — в километрах.

В зависимости от района работ и применяемых инструментов указанная формула может быть несколько изменена; так, в горных районах и северной залесенной полосе СССР точность геодезического нивелирования будет повышена на 20—30%, если выполнять его оптическими теодолитами. Напротив, в степных районах юга СССР при отсутствии ярко выраженного рельефа, когда высота визирного луча невелика, точность геодезического нивелирования будет пониженной. Соответствующий пример имелся в опытной работе Московского АГП (§ 20), в которой геодезическое нивелирование уверенно выполнялось лишь при значениях эквивалентных высот больше $\frac{s}{800}$. Этот предел выдерживался почти на

всех линиях сети Украинского АГП; будем его считать тем крайним пределом, когда целесообразно еще применять метод геодезического нивелирования в триангуляции.

Считая формулу (22.1) исходной, оценим, при каких требованиях к точности изображения рельефа на топографических картах можно использовать геодезическое нивелирование в триангуляции для создания высотного обоснования съемок.

Согласно требованиям инструкций по топографическим съемкам, отметки съемочных точек относительно пунктов геометрического нивелирования должны быть получены с ошибкой не более $\frac{1}{5}$ высоты сечения рельефа в равнинных районах и не более $\frac{1}{3}$ высоты сечения рельефа в горных районах.

Обозначим высоту сечения рельефа через t и будем считать, что средняя квадратическая ошибка в 2,5 раза меньше предельной. Тогда получаем следующий порядок средних квадратических ошибок высот съемочных точек и опознаков в районах:

$$\begin{aligned} \text{равнинных } M_c &= \pm \frac{t}{12,5}, \\ \text{горных } M_c &= \pm \frac{t}{7,5}. \end{aligned} \quad (22.2)$$

При использовании результатов геодезического нивелирования по пунктам триангуляции ошибка M_c может быть представлена формулой

$$M_c^2 = m_c^2 + \frac{M_H^2}{2},$$

где m_c — ошибка передачи высоты по ходу высотного рабочего обоснования, проходящему между двумя пунктами триангуляции, а M_H — ошибка отметки пункта триангуляции.

Можно считать, что требования, предъявляемые к точности высотного рабочего обоснования, будут повышены не более чем на 10% по сравнению с M_c , если поставить условие, чтобы

$$M_H^2 < \frac{2}{5} m_c^2.$$

Отсюда получаем требование, чтобы соблюдалось условие в районах

$$\begin{aligned} \text{равнинных } M_H &< \frac{t}{20}, \\ \text{горных } M_H &< \frac{t}{12}. \end{aligned} \quad (22.3)$$

В настоящее время в зависимости от масштаба топографической съемки и характера рельефа приняты высоты сечения рельефа в метрах, приведенные в числителях в табл. 50.

Т а б л и ц а 50

Тип района	Масштаб 1 : 5000	Масштаб 1 : 10 000	Масштаб 1 : 25 000
Горный	$\frac{5}{20}$	$\frac{10}{>20}$	$\frac{20}{>20}$
Предгорный			$\frac{10}{>20}$
Равнинный, холмистый или сплошь покрытый лесом	$\frac{2}{5}$	$\frac{5}{12,5}$	$\frac{5}{12,5}$
Равнинный, со слабо расчлененным рельефом	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{2,5}{6,2}$	
Равнинный с особенно плоской по- верхностью	$\frac{0,5}{1,2}$	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{2,5}{6,2}$

Для этих сечений на основании формул (22.1) и (22.3) мы рассчитали, каковы должны быть средние длины сторон в сетях геодезического нивелирования, чтобы оно могло быть использовано в качестве обоснования топографических съемок с тем или иным заданным сечением рельефа. Полученные величины в километрах указаны в табл. 50 в знаменателях. Они будут несколько завышены для равнинных районов с особенно плоской поверхностью. Рассматривая табл. 50, можно прийти к следующим выводам:

1) Геодезическое нивелирование в горных и предгорных районах может применяться для высотного обоснования съемок любого масштаба при любой схеме построения сетей триангуляции.

2) В равнинных районах геодезическое нивелирование легко обеспечит необходимую точность высотного обоснования съемок масштаба 1 : 10 000 и 1 : 25 000 при сечении рельефа через 5 м. При меньшей высоте сечения рельефа (через 2,5 м в съемках масштаба 1 : 10 000 или через 2 м в съемках масштаба 1 : 5000) геодезическое нивелирование может обслуживать съемки лишь при среднем расстоянии между пунктами триангуляции в 6 км. Это и имело место, например, в работах Украинского АГП, которые показали, что точность геодезического нивелирования при тщательности его исполнения действительно оказывается достаточной для обоснования съемок с сечением рельефа через 2,5 м.

3) В равнинных районах с особенно плоской поверхностью проведение геодезического нивелирования по пунктам триангуляции рассчитывать на успех не может. Не говоря о повышенных здесь требованиях к точности изображения рельефа, это невыгодно уже потому, что сам метод геодезического нивелирования при небольших высотах визирных лучей над почвой будет давать неуверенные результаты.

В заключение приведем те выводы и соображения, которые вытекают из описанных исследований и направлены на улучшение работ по геодезическому нивелированию.

Геодезическое нивелирование не следует выполнять по сторонам длиннее 10—12 км в южных и 15—20 км в более северных равнинных

районах СССР, а также по сторонам, где $h_s < \frac{s}{800}$ * и где вследствие этого неблагоприятные условия видимости часто препятствуют всякой возможности вести доброкачественные наблюдения.

В равнинных районах геодезическое нивелирование должно проводиться внутри полигонов геометрического нивелирования. Расположенные по ходу нивелирования пункты сети независимо от их принадлежности к тому или иному классу триангуляции либо включаются в ход, либо связываются висячими двусторонними ходами с ближайшим репером геометрического нивелирования. Размеры полигонов геометрического нивелирования зависят от точности последнего, а именно для III класса они могут доходить до 200 км, для IV класса — до 100 км.

В всхолмленных и горных районах, когда требования к точности изображения рельефа на топографической карте понижены, можно обойтись при обосновании геодезического нивелирования изолированными пунктами геометрического нивелирования. В этих случаях, однако, надо следить, чтобы на опорных пунктах были благоприятные условия для измерения зенитных расстояний по всем направлениям.

Первым условием для достижения хороших результатов геодезического нивелирования является достаточная точность используемого при работе инструмента. Опыт исследований показывает, что вертикальные секторы триангуляционных теодолитов ТТ 2/6 не позволяют использовать все возможности геодезического нивелирования. Поэтому при ответственных измерениях лучше применять оптические теодолиты. Поскольку ошибки штрихов и отсчетных приспособлений при измерении зенитных расстояний совершенно не компенсируются, необходимо проводить в лабораторных условиях исследования ошибок вертикального круга и отсчетных приспособлений, с тем чтобы выбрать достаточно точный инструмент.

Как показало наше исследование основного источника ошибок геодезического нивелирования — вертикальной рефракции, измерение зенитных расстояний должно начинаться не раньше чем через 3 часа после восхода и кончатся не позднее чем за 3 часа до захода солнца (если в этот период дня выполняют измерения горизонтальных углов, последнему виду работ должно отдаваться предпочтение). Следует избегать измерения зенитных расстояний при сильно колеблющихся и расплывчатых изображениях, а также во время резких изменений погоды.

Для ослабления влияния систематических ошибок визирные цели должны быть отличны по цвету от фона, на который они проектируются, и вытянуты в горизонтальном направлении.

Основным показателем точности геодезического нивелирования должны являться невязки ходов между твердыми пунктами или невязки замкнутых полигонов.

Необходимо поставить требование, чтобы эти невязки замкнутых полигонов не превосходили

$$f_h = 0,040 \sqrt{[s_i^2]},$$

при этом должно быть не свыше 10% всех невязок больше

$$f_h = 0,030 \sqrt{[s_i^2]}.$$

В полигоны нельзя включать линии одностороннего нивелирования.

* При расчетах вместо эквивалентной высоты h_s можно применять другую характеристику — среднюю высоту луча.

Расхождения прямого и обратного одностороннего нивелирования вдоль каждой линии определяются главным образом влиянием рефракции. Предельную величину этого влияния при одностороннем нивелировании можно положить равной

$$\Delta h' \leq 2 m_h' \approx \frac{s^2}{R} \left(\frac{f}{\sqrt[3]{s} h_s} \right).$$

Принимаем $\frac{s}{h_s} = 800$, $f = 1,4$ и $\sqrt[3]{s} = 2$, получим

$$\Delta h' \leq 0,1 s,$$

где s — выражено в километрах, а $\Delta h'$ — в метрах.

Значит, расхождение результатов прямого и обратного геодезического нивелирования f_{Δ} может достигать в степных районах

$$f_{\Delta} = 0,2 s.$$

Поскольку уравнивание оказывает сравнительно небольшое влияние на распределение ошибок геодезического нивелирования, метод уравнивания не имеет особого значения. В большинстве случаев достаточно удобен метод последовательных приближений*.

Оценка точности нивелирования по результатам уравнивания дает преуменьшенные ошибки высот. Поэтому выводы о действительной точности нивелирования лучше всего дает сопоставление результатов геодезического и геометрического нивелирования по линиям между опорными пунктами. Оказывается, что ошибка отметки любого пункта сети после ее уравнивания на 25—30% меньше, чем ошибка передачи высоты двусторонним геодезическим нивелированием по одной линии.

При производстве геодезического нивелирования в горных или в других районах со значительными отклонениями отвесных линий и аномалиями силы тяжести необходимо вводить в результаты измерений поправки за форму уровненных поверхностей.

* Герасимов И. М. Практическое руководство по вычислению триангуляции II, III и IV классов. М., Геодезиздат, 1941.

ОДНОСТОРОННЕЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПРИ БОЛЬШИХ
РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ПУНКТАМИ

Время наблю- дений	Условия погоды	Кривцы		Боршева		Михайловская Слобода		Петровское	
		изоб- раже- ние	z 90°12'	изоб- раже- ние	z 89°59'	изобра- жение	z 89°49'	изобра- жение	z 90°13'
Пункт наблюдения Становое, площадка № 1									
13 июня 1951 г.									
19 29	⊙ св	3	197",7	1	214",2	4	111",3	—	—
38	⊙ св	3	194,9	—	—	—	—	—	—
52	⊙ св	3	192,4	1	208,6	4	99,7	—	—
20 04	⊙ св	3	192,3	—	—	—	—	—	—
14 июня 1951 г.									
1 34	⊙ лв	3	183,9	2	178,8	3	92,7	1	204",7
2 08	⊙ лв	3	182,1	2	—	3	95,9	1	203,1
9 24	⊙ лв	4	215,9	1	239,4	3	130,4	—	—
38	⊙ лв	4	214,7	1	234,9	3	131,9	—	—
56	⊙ лв	1	215,6	—	—	1	134,8	—	—
12 50	⊙ лв	1,5	214,1	—	—	1,5	133,7	—	—
13 00	⊙ лв	1,5	214,0	—	—	1,5	135,5	—	—
15 42	⊙ лв	1,5	230,7	1,5	239,0	1,5	132,9	1,5	343,1
16 10	⊙ лв	1	221,4	1	241,1	1	134,5	1	334,4
30	⊙ лв	1	221,9	—	—	—	—	1	327,6
18 23	⊙ лв	3	190,5	2	198,0	4	90,1	3	223,3
40	⊙ лв	3	188,7	2	191,9	4	85,6	1	222,3
21 29	⊕ лв	4	195,9	2	192,7	4	91,8	2	230,9
50	⊕ лв	4	194,6	2	205,8	4	91,1	2	238,5
22 45	⊕ лв	4	189,5	—	—	—	—	—	—
23 12	⊕ лв	4	194,3	—	—	4	89,4	—	—
35	⊕ лв	4	191,4	—	—	4	88,4	2	216,6
53	⊕ лв	—	—	—	—	—	—	2	223,3
15 июня 1951 г.									
16 15	⊕ лв	3	213,3	—	—	3	129,5	1	327,5
24	⊕ лв	3	214,8	—	—	3	130,6	—	—
17 46	⊕ лв	3	218,7	—	—	3	127,2	1	333,2
18 00	⊕ лв	3	219,9	—	—	3	126,1	1	325,2
20 02	⊙ тх	5	188,9	3	205,5	4	92,5	3	210,6
18	⊙ тх	3	185,5	3	205,1	4	91,8	1,5	212,8
21 00	⊙ тх	3	185,6	1,5	187,6	3	84,6	3,5	183,5
19	⊙ тх	3	180,0	—	—	3	88,2	1	184,6
22 07	⊙ тх	4	126,4	—	—	3,5	54,9	4	92,6
19	⊙ тх	—	—	—	—	—	—	4	145,4
25	⊙ тх	4	135,8	—	—	3,5	78,0	4	141,7
30	⊙ тх	—	—	—	—	—	—	4	124,4
16 июня 1951 г.									
0 04	⊙ тх	4	111,8	4	104,7	3	55,1	—	—
06	⊙ тх	—	—	4	93,7	—	—	—	—
37	⊙ тх	4	108,6	4	133,4	3	35,5	—	—
3 47	⊙ тх	3	123,8	—	—	3	27,7	—	—
4 03	⊙ тх	1	138,9	—	—	1	31,1	—	—
14	⊙ тх	1	128,3	—	—	—	—	—	—
18	⊙ тх	1	134,2	—	—	—	—	—	—
30	⊙ тх	1	135,3	—	—	—	—	—	—
34	⊙ тх	1	139,6	—	—	—	—	—	—
16 00	⊙ лв	1	220,6	1	234,5	1	135,9	1	351,8
25	⊙ лв	1	220,0	1	233,1	1	130,4	3,5	330,1
17 45	⊙ тх	3	214,1	3	231,9	3	115,7	—	—
18 06	⊙ тх	3	215,7	4	232,2	3	137,8	4	301,5

Время наблюдений		Условия погоды	Кривцы		Боршева		Михайловская Слобода		Петровское	
час	мин		изображение	z 90°12'	изображение	z 89°59'	изображение	z 89°49'	изображение	z 90°13'

31 июля 1951 г.

4	36	○ тх	3	116",3	—	—	3	27",8	—	—
	48	○ тх	3	125,2	—	—	3	12,2	—	—
5	02	○ тх	3	101,4	—	—	3	14,0	—	—
	12	○ тх	3	89,5	—	—	3	22,3	—	—
	22	○ тх	3	87,9	—	—	3	26,7	—	—
	30	○ тх	3	182,7	—	—	—	—	—	—
	40	○ тх	3	151,7	—	—	—	—	—	—
	46	○ тх	3	151,4	—	—	—	—	—	—
	48	○ тх	2	154,9	—	—	—	—	—	—
9	00	○ тх	1,5	220,1	—	—	1,5	130,8	—	—
	10	○ тх	1,5	215,2	—	—	1,5	130,5	—	—
	18	○ тх	1,5	215,3	—	—	1,5	130,9	—	—
	27	○ тх	1,5	217,2	—	—	1,5	128,1	—	—
10	26	○ лв	1,5	216,6	—	—	1	131,1	—	—
	34	○ лв	1,5	216,5	—	—	1	126,1	—	—
	42	○ лв	1,5	220,2	—	—	1	125,8	—	—
	48	○ лв	1,5	214,4	—	—	—	—	—	—
	52	○ лв	1,5	215,7	—	—	—	—	—	—
11	41	○ лв	1,5	216,1	—	—	—	—	—	—
	44	○ лв	1,5	219,3	—	—	—	—	—	—
	46	⊕ лв	1	223,2	—	—	—	—	—	—
	50	⊕ лв	1	219,6	—	—	—	—	—	—
	53	⊕ лв	1	219,5	—	—	—	—	—	—
	55	⊕ лв	1	218,7	—	—	—	—	—	—
	57	⊕ лв	1	217,3	—	—	—	—	—	—
12	00	⊕ лв	1,5	219,1	—	—	—	—	—	—
13	25	⊕ лв	3,5	214,5	—	—	5	123,7	3,5	307",6
	30	⊕ лв	4,0	210,2	—	—	5	122,6	3,5	312,2
	33	⊕ лв	4,0	207,6	—	—	5	120,3	3,5	312,0
	37	⊕ лв	4,0	206,5	—	—	5	122,9	3,5	309,1
15	00	⊕ лв	5	206,2	—	—	5	119,4	4	292,6
	08	⊕ лв	5	206,3	—	—	5	122,9	4	302,9
	15	⊕ лв	—	—	—	—	—	—	4	304,3
	17	⊕ лв	—	—	—	—	—	—	4	307,0
16	14	⊕ лв	4	204,2	3,5	207",7	4,5	117,6	3	289,4
	28	⊕ лв	4	205,5	3,5	218,9	4,5	118,1	3	293,4
17	44	⊕ лв	5	204,8	3,5	225,4	4,5	116,3	4	299,9
	54	⊕ лв	5	206,3	3,5	229,7	4,5	117,7	—	—

1 августа 1951 г.

4	54	⊕ тхд	3	194,2	—	—	4	102,8	—	—
5	01	⊕ тхд	3	192,0	—	—	4	101,1	—	—
	09	⊕ тхд	3	190,4	—	—	4	102,0	—	—
	16	⊕ тхд	3	192,2	—	—	4	102,8	—	—
	39	⊕ тхд	3	194,7	—	—	4	107,0	—	—
	46	⊕ тхд	3	196,4	—	—	4	109,5	—	—
	51	⊕ тхд	3	197,0	—	—	4	111,0	—	—
	56	⊕ тхд	4	199,6	—	—	4	109,9	—	—
7	18	⊕ тхд	5	207,0	—	—	5	118,4	—	—
	24	⊕ тхд	5	205,5	—	—	5	119,8	—	—
	28	⊕ тхд	5	207,0	—	—	5	121,4	—	—
	33	⊕ тхд	5	206,9	—	—	5	121,6	—	—
8	38	⊕ тхд	5	209,4	—	—	5	124,2	—	—
	44	⊕ тхд	5	209,4	—	—	5	122,6	—	—
8	51	⊕ тхд	5	210,3	—	—	5	124,8	—	—
	56	⊕ тхд	5	210,5	—	—	5	124,5	—	—
10	14	⊕ лв	4,5	213,0	4	236,7	4	129,0	—	—
	22	⊕ лв	4,5	214,6	4	236,3	4	126,4	—	—

Время наблюдений		Условия погоды	Кривцы		Боршева		Михайловская Слобода		Петровское	
час	мин		изображение	z 90°12'	изображение	z 89°59'	изображение	z 89°49'	изображение	z 90°13'

1 августа 1951 г.

11	45	⊙ св	3,5	217",0	2	237",3	2	132",5	1	353",5
	57	⊙ св	3,5	218,1	2	238,7	2	134,2	1	347,7
13	12	⊙ св	4,5	213,4	3,5	241,3	4	129,1	3	334,8
	22	⊙ св	4,5	216,5	3,5	237,3	4	130,7	3	342,7
14	40	⊙ св	2,5	221,8	2	237,5	2,5	136,1	1	370,3
	51	⊙ св	2,5	220,7	2	236,5	2,5	134,8	1	358,2
16	12	⊙ св	3,5	216,7	3	239,4	4	131,8	1,5	341,4
	22	⊙ св	3,5	218,0	3	239,0	4	130,1	1,5	346,9
17	46	⊙ св	4,5	213,8	4,5	223,7	5	123,5	5	313,2
18	00	⊙ св	4,5	210,0	4,5	220,2	5	121,4	5	305,0
19	12	⊙ св	5	204,8	4	208,7	4	110,9	4	277,7
	26	⊙ св	5	202,2	4	203,9	4	106,5	4	271,2
20	07	⊙ св	3	194,0	3	200,9	3,5	105,2	1	255,5
	22	⊙ св	3	194,9	3	194,2	3,5	102,6	1	252,1

12 сентября 1951 г.

22	36	⊙ в	3	188,8	1	143,8	3	82,5	—	—
	56	⊙ в	3	188,6	1	140,6	3	87,9	—	—

13 сентября 1951 г.

0	23	⊕ в	3	194,3	1	192,3	3	103,3	—	—
	38	⊕ в	3	194,1	1	191,9	3	100,0	—	—
2	10	⊕ св	3	195,6	1	195,3	3	100,8	—	—
	22	⊕ св	3	195,4	1	194,4	3	100,4	—	—
10	16	⊕ св	3,5	218,0	1	237,8	2,5	133,0	—	—
	31	⊕ св	3,5	217,1	1	240,8	2,5	132,0	—	—
12	16	⊕ св	2	219,6	1,5	248,1	1	133,5	—	—
	25	⊕ св	2	220,8	1,5	246,0	1	133,3	—	—
14	12	⊕ св	1	219,2	1	237,6	1,5	134,8	1	324,7
	26	⊕ св	1	217,7	1	242,2	1,5	134,8	1	328,7
16	15	⊕ св	4,5	209,6	2,5	234,5	4	125,2	3,5	294,7
	25	⊕ св	4,5	210,8	2,5	234,0	4	123,1	3,5	287,7
18	18	⊕ лв	2,5	185,2	1	182,7	1	87,6	1	189,1
	34	⊕ лв	2,5	176,3	1	155,9	1	77,4	1	121,4
20	24	⊕ лв	3	151,5	1	91,3	1	35,3	—	—
	38	⊕ лв	3	138,4	—	—	1	37,3	—	—
	46	⊕ лв	3	156,1	—	—	1	44,7	—	—
22	15	⊕ лв	1	161,6	1	86,5	1	49,1	—	—
	28	⊕ лв	1	162,7	1	67,2	1	47,9	—	—
	36	⊕ лв	—	—	1	83,4	—	—	—	—

14 сентября 1951 г.

0	18	⊙ лв	1	173,5	1	106,2	1	50,9	—	—
	32	⊙ лв	1	167,4	1	130,3	1	48,1	—	—
2	17	⊙ лв	1	180,6	—	—	1	61,1	—	—
	26	⊙ лв	1	170,2	—	—	1	59,2	—	—
	35	⊙ лв	1	166,4	—	—	1	45,9	—	—
4	18	⊙ лв	3,5	155,9	—	—	3	34,9	—	—
	27	⊙ лв	3,5	152,3	—	—	3	32,0	—	—
	38	⊙ лв	3,5	155,2	—	—	3	25,6	—	—
12	20	⊕ тх	1	212,5	—	—	1	134,4	—	—
	25	⊕ тх	1	219,6	—	—	1	130,6	—	—
	33	⊕ тх	1	214,2	—	—	1	134,7	—	—
14	14	⊕ тх	1	214,3	1	233,4	1	126,5	1	308,0
	24	⊕ тх	1	213,1	1	232,3	1	128,5	1	312,4
16	14	⊕ тх	3,5	209,8	3,5	233,2	3,5	123,2	2	289,6
	24	⊕ тх	3,5	211,1	3,5	230,6	3,5	121,2	2	290,7
18	15	⊙ тх	3	188,2	3	172,9	3	89,2	1	162,0
	24	⊙ тх	3	176,1	3	171,9	3	74,5	1	165,6

Время наблюдений		Условия погоды	Кривцы		Боршева		Михайловская Слобода		Петровское	
час	мин		изображение	z 90°12'	изображение	z 89°59'	изображение	z 89°49'	изображение	z 90°13'

14 сентября 1951 г.

20	20	○ тх	1	74",6	1	46",8	3,5	72",3	3	91",6
36		○ тх	1	57,5	1	66,5	3,5	34,3	3	41,6
44		○ тх	—	—	—	—	1	31,3	—	—
22	12	○ тх	1	48,8	3	95,9	3,5	53,8	—	—
24		○ тх	1	62,0	3	69,2	3,5	54,7	—	—

15 сентября 1951 г.

5	38	○ лв	1	144",0	1	67,0	1	27,6	—	—
50		○ лв	1	134,7	—	—	1	12,0	—	—
56		○ лв	1	150,8	—	—	1	32,6	—	—
8	47	○ лв	—	—	—	—	2,5	89,5	—	—
50		○ лв	—	—	—	—	2,5	93,6	—	—
53		○ лв	—	—	—	—	2,5	96,7	—	—
56		○ лв	—	—	—	—	2,5	97,5	—	—
10	06	○ лв	—	—	—	—	2,5	130,7	—	—
08		○ лв	—	—	—	—	2,5	131,4	—	—
10		○ лв	—	—	—	—	2,5	129,3	—	—
12		○ лв	—	—	—	—	2,5	130,2	—	—
11	55	○ лв	1	224,3	—	—	1	134,2	—	—
12	00	○ лв	1	219,7	—	—	1	135,5	—	—
03		○ лв	1	223,5	—	—	1	135,2	—	—
14	21	○ лв	1	220,7	—	—	1	131,0	—	—
26		○ лв	1	218,3	—	—	1	132,1	—	—
30		○ лв	1	209,3	—	—	1	131,4	—	—
16	19	○ лв	4,5	209,2	3	232,4	5	123,2	3,5	293,8
28		○ лв	4,5	210,1	3	232,8	5	120,3	3,5	291,0

ОДНОСТОРОННЕЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПРИ БОЛЬШИХ
РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ПУНКТАМИ

Время наблю- дений	Усло- вия по- годы	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Слобода		Петровское	
		изобра- жение	z 90°18'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°52'	изобра- жение	z 90°15'

Пункт наблюдения Становое, площадка № 2

13 июня 1951 г.

19 12	⊙ св	3	129",8	3	172",1	3	173",2	3	104",2	3	146",2
44	⊙ св	3	124,6	3	164,7	3	173,8	3	112,3	3	137,8
22 32	⊙ св	3	122,5	3	158,6	2,5	167,3	2,5	91,4	2,5	133,7
56	⊙ св	3	121,3	3	157,4	2,5	165,7	2,5	98,5	2,5	118,4
23 09	⊙ св	3	117,4	—	—	—	—	—	—	—	—

14 июня 1951 г.

1 23	⊙ лв	3	115,7	—	—	3	159,8	3	100,3	3	100,2
46	⊙ лв	3	110,1	—	—	3	163,5	3	93,0	3	94,5
9 33	⊙ лв	5	141,1	4	189,6	3	193,7	3	128,2	—	—
10 04	⊙ лв	5	135,0	—	—	3	192,0	2	130,8	—	—
12 52	⊙ лв	3	134,2	3	186,7	3	190,7	3	131,8	3	175,2
13 46	⊙ лв	3	134,5	3	182,6	3	192,3	3	123,8	3	173,4
15 44	⊙ лв	3	143,4	—	—	3	194,5	3	128,7	3	175,1
16 21	⊙ лв	3	137,5	3	184,0	3	196,9	3	129,5	3	167,5
49	⊙ лв	3	134,3	3	191,7	3	198,6	3	124,2	3	164,0
18 24	⊙ лв	5	129,9	3	177,5	3	163,7	4	98,9	3,5	142,2
30	⊙ лв	—	—	—	—	3	161,3	—	—	3,5	141,5
49	⊙ лв	5	125,4	4	172,6	3	165,3	3	107,0	3	133,5
21 20	⊕ лв	5	127,3	—	—	4	149,6	4	95,4	4	141,3
21 42	⊕ лв	5	124,5	5	151,3	3	145,6	5	89,8	4	135,5
23 14	⊕ лв	5	131,0	—	—	4	139,0	5	87,7	4	132,0
36	⊕ лв	5	129,6	—	—	5	138,9	5	83,1	5	123,6

15 июня 1951 г.

12 43	⊕ лв	3	142,1	—	—	—	—	—	—	—	—
16 00	⊕ лв	4	138,9	—	—	4	187,8	4	126,7	4	168,3
23	⊕ лв	4	134,0	—	—	4	189,6	4	129,4	4	161,5
17 52	⊕ лв	4	142,0	4	194,6	4	194,5	4	122,0	4	169,3
18 16	⊕ лв	5	131,5	4	191,2	4	184,3	4	121,9	4	163,4
20 07	⊕ тх	5	120,2	3	158,7	4	141,3	5	98,1	3	114,0
21 29	⊙ тх	3,5	102,1	—	—	1,5	126,5	3,5	88,2	1,5	90,1
22 04	⊙ тх	3	101,5	—	—	3	101,1	4	83,2	3,5	89,9
21	⊙ тх	4	83,6	—	—	4	102,8	4	79,8	4	71,1

16 июня 1951 г.

0 02	⊙ тх	5	92,3	5	134,4	5	78,1	5	89,9	3	53,4
28	⊙ тх	5	66,3	5	127,5	5	69,4	5	98,2	3	72,4
3 52	⊙ тх	4	67,2	3	22,8	2	00,5	3	22,6	—	—
4 18	⊙ тх	1	72,4	—	—	—	—	3	57,7	—	—
30	⊙ тх	3	66,7	—	—	—	—	—	—	—	—
40	⊙ тх	3	80,5	—	—	—	—	—	—	—	—
44	⊙ тх	3	74,5	—	—	—	—	—	—	—	—
48	⊙ тх	3	81,1	—	—	—	—	—	—	—	—
15 55	⊙ лв	3	133,0	3	193,3	3	190,0	1,5	125,2	1,5	178,2
16 26	⊙ лв	3	138,9	3	189,9	3	185,0	1,5	126,7	1,5	178,0
17 40	⊙ тх	3	139,9	3	185,3	3	183,8	5	115,9	2	154,2
58	⊙ тх	4	138,4	4	184,8	4	185,7	4	124,8	4	163,9

Время наблюдений	Усло-	Кривцы		Боршева		Жироскино		Михайлов- ская Слобода		Петровское	
		влия- ние по- годы	изобра- жение 90°18'	z	изобра- жение 90°00'	z	изобра- жение 89°54'	z	изобра- жение 89°52'	z	изобра- жение 90°15'

31 июля 1951 г.

4 38	○ тх	3	44",1	—	—	—	—	3	39",0	—	—
46	○ тх	3	35,8	—	—	—	—	3	46,5	—	—
5 12	○ тх	3	00,8	—	—	—	—	3	51,9	—	—
20	○ тх	3	26,9	—	—	—	—	3	48,3	—	—
26	○ тх	3	50,5	—	—	—	—	3	27,1	—	—
33	○ тх	3	71,0	—	—	—	—	3	60,3	—	—
37	○ тх	3	80,1	—	—	—	—	—	—	—	—
40	○ тх	3	73,5	—	—	—	—	—	—	—	—
8 52	○ тх	3	67,0	—	—	—	—	—	—	—	—
54	○ тх	3	143,9	—	—	—	—	3	121,5	—	—
9 03	○ тх	3	140,5	—	—	—	—	3	124,3	—	—
07	○ тх	3	136,5	—	—	—	—	3	124,9	—	—
17	○ тх	3	135,8	—	—	—	—	3	126,9	—	—
20	○ тх	3	140,4	—	—	—	—	3	118,8	—	—
10 14	○ лв	3	140,4	—	—	—	—	3	125,1	—	—
22	○ лв	3	133,6	—	—	—	—	3	121,7	—	—
25	○ лв	3	137,0	—	—	—	—	3	124,0	—	—
28	○ лв	3	135,1	—	—	—	—	3	123,2	—	—
36	○ лв	3	133,5	—	—	—	—	3	122,8	—	—
40	○ лв	3	135,5	—	—	—	—	3	119,8	—	—
11 38	○ лв	3	140,2	—	—	—	—	3	121,9	—	—
48	⊕ лв	2,5	137,0	—	—	—	—	—	—	—	—
51	⊕ лв	2,5	140,5	—	—	—	—	—	—	—	—
53	⊕ лв	2,5	140,8	—	—	—	—	—	—	—	—
55	⊕ лв	3	139,3	—	—	—	—	—	—	—	—
56	⊕ лв	3	140,5	—	—	—	—	—	—	—	—
13 12	⊕ лв	3	139,7	—	—	—	—	—	—	—	—
16	⊕ лв	4	136,7	—	—	—	—	4	120,3	4	168",0
31	⊕ лв	4	136,0	—	—	—	—	4	120,7	4	164,8
35	⊕ лв	5	132,6	—	—	—	—	5	117,2	4	164,1
14 47	⊕ лв	5	134,8	—	—	—	—	5	117,1	4	166,1
50	⊕ лв	5	125,7	—	—	4	181",0	5	117,0	4	153,1
15 10	⊕ лв	5	130,6	—	—	4	178,8	5	118,8	4	156,3
16 14	⊕ лв	5	131,1	—	—	4	183,7	5	118,6	4	158,5
28	⊕ лв	4	134,4	4	160",0	4	182,2	5	118,6	5	153,9
17 41	⊕ лв	4	135,1	4	172,6	4	183,0	5	110,8	5	155,5
52	⊕ лв	5	126,4	5	183,1	—	—	4	111,7	5	148,7
18 07	⊕ лв	5	132,3	5	181,7	—	—	4	119,2	—	—
	⊕ лв	5	131,3	—	—	—	—	4	112,5	—	—

1 августа 1951 г.

4 52	⊕ тхд	4	123,8	—	—	—	—	4	105,0	—	—
5 01	⊕ тхд	4	118,1	—	—	—	—	4	95,8	—	—
03	⊕ тхд	4	122,3	—	—	—	—	4	96,0	—	—
10	⊕ тхд	4	121,5	—	—	—	—	4	101,1	—	—
37	⊕ тхд	4	114,4	4	164,2	—	—	4	104,4	4	141,0
54	⊕ тхд	4	124,0	4	171,2	—	—	4	105,6	4	142,2
7 13	⊕ лвд	5	129,7	—	—	4	172,1	5	110,4	—	—
24	⊕ лвд	5	126,0	—	—	4	170,2	5	112,5	—	—
8 45	⊕ лв	5	132,0	—	—	5	183,6	5	117,0	—	—
55	⊕ лв	5	128,9	—	—	5	183,8	5	112,9	—	—
9 05	⊕ лв	5	132,8	—	—	5	184,3	5	116,4	—	—
10 12	⊕ лв	4	131,8	4	194,1	4	194,0	4	120,6	3	171,0
25	⊕ лв	4	132,7	4	188,6	4	194,2	4	118,6	3	170,8
11 47	⊕ св	2,5	139,0	1	192,3	1	194,8	3	122,6	2	175,9
12 04	⊕ св	2,5	141,7	1	195,3	1	197,5	3	119,7	2	175,3
13 10	⊕ св	4	132,1	3,5	183,8	3,5	195,4	4	120,2	2,5	174,6
26	⊕ св	4	140,4	3,5	198,3	3,5	192,5	4	125,4	2,5	179,1

Время наблюдений		Усло- вия по- годы	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Слобода		Петровское	
час	мин		изобра- жение	z 90°18'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°52'	изобра- жение	z 90°15'

1 августа 1951 г.

14 44	⊕ св	2	143,4	2	197,6	1	192,3	2	122,2	2	1	186,8
15 00	⊕ св	2	142,9	2	195,8	1	194,2	2	120,3	1	1	188,8
16 12	⊕ св	3	145,5	3	193,2	3,5	200,2	4	120,7	3,5	3,5	176,5
16 34	⊕ св	3	140,9	3	197,7	3,5	191,1	4	119,4	3,5	3,5	181,9
17 46	⊕ св	4	138,5	4	190,5	4	191,4	5	119,8	5	5	163,2
18 04	⊕ св	4	134,7	5	185,3	5	184,5	5	115,9	5	5	160,2
19 12	⊕ св	5	130,3	5	177,2	5	182,7	5	106,3	3,5	3,5	139,4
19 30	⊕ св	4	133,5	3,5	174,0	3,5	172,5	3	104,6	2	2	135,6
20 04	⊕ св	2	121,8	3	156,5	3	176,5	3	103,2	3	3	129,5
14	⊕ св	2	121,9	3	161,5	3	171,9	3	101,9	3	3	129,2

12 сентября 1951 г.

22 24	⊕ в	3,5	116,1	3,5	93,2	3,5	117,3	—	—	—	—	—
48	⊕ в	3,5	119,5	3,5	94,9	3,5	122,0	—	—	—	—	—

13 сентября 1951 г.

0 25	⊕ в	4	126,2	4	155,3	4	152,0	—	—	—	—	—
41	⊕ в	4	113,6	4	137,6	4	150,5	—	—	—	—	—
2 12	⊕ св	4,5	123,7	4,5	152,4	4,5	150,1	—	—	—	—	—
22	⊕ св	4,5	130,8	4,5	164,5	4,5	155,1	—	—	—	—	—
10 34	⊕ св	3,5	132,7	3,5	204,6	3,5	180,2	3,5	126,5	—	—	—
53	⊕ св	3,5	129,6	3,5	206,1	3,5	192,9	3,5	114,9	—	—	—
12 27	⊕ св	2	132,2	2	215,2	2	199,2	2	126,6	—	—	—
46	⊕ св	2	138,1	2	204,5	2	193,6	2	116,6	—	—	—
14 28	⊕ св	2	135,1	2	202,0	2	182,5	2	126,3	2	2	168,2
52	⊕ св	2	140,9	2	196,4	2	190,2	2	120,0	2	2	171,2
16 15	⊕ св	5	137,2	4	190,3	4	182,4	5	121,1	4,5	4,5	173,0
35	⊕ св	5	135,6	4	183,4	4	192,8	5	118,2	4,5	4,5	162,7
18 15	⊙ лв	3	116,2	2,5	157,9	1	139,4	3,5	98,5	1	1	111,2
20 22	⊙ лв	3	118,9	2,5	152,4	1	121,4	3,5	80,4	1	1	108,4
20 22	⊙ лв	2,5	82,5	—	—	2	44,7	2	41,5	—	—	—
42	⊙ лв	2,5	91,0	—	—	2	41,2	2	56,0	—	—	—
22 15	⊙ лв	3	98,8	1	19,1	1	79,0	2	44,4	—	—	—
38	⊙ лв	3	97,7	1	44,2	1	72,1	2	46,9	—	—	—

14 сентября 1951 г.

0 23	⊙ лв	3	106,7	2,5	63,2	2	79,3	2	50,1	—	—	—
38	⊙ лв	3	93,6	2,5	73,5	2	94,3	2	57,9	—	—	—
2 20	⊙ лв	3	108,7	—	—	2	118,4	2	39,8	—	—	—
42	⊙ лв	3	110,2	—	—	2	128,9	2	48,9	—	—	—
4 24	⊙ лв	3,5	85,6	—	—	2	71,4	1,5	26,4	—	—	—
42	⊙ лв	3,5	77,3	—	—	2	44,5	1,5	3,3	—	—	—
12 30	⊙ тх	2	148,2	—	—	1	191,9	2	128,8	—	—	—
41	⊙ тх	1	136,3	—	—	1	201,9	2	114,9	—	—	—
14 27	⊙ тх	2	133,9	2	183,7	1	188,8	2	124,9	1	1	152,3
44	⊙ тх	2	141,3	2	198,0	1	189,4	2	122,9	1	1	147,0
16 22	⊙ тх	4,5	143,8	4,5	187,5	4,5	185,3	5	116,4	4,5	4,5	132,7
46	⊙ тх	4,5	131,8	4,5	184,8	4,5	180,1	5	118,1	4,5	4,5	138,2
18 18	⊙ тх	4,5	116,4	4,5	156,2	4,5	121,3	5	100,0	4	4	88,8
36	⊙ тх	3,5	116,0	4,5	143,9	4,5	68,1	5	103,8	4	4	75,5
20 07	⊙ тх	3,5	59,7	3	118,2	2	39,5	4	111,1	—	—	—
21	⊙ тх	3,5	52,8	3	126,0	2	19,1	4	97,3	—	—	—
22 08	⊙ тх	5	61,2	4	126,0	4	29,3	5	73,9	—	—	—
30	⊙ тх	5	46,9	4	97,9	4	46,1	5	58,3	—	—	—

Время наблюдений	Усло- вия по- годы	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Слобода		Петровское	
		изобра- жение	z 90°18'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°52'	изобра- жение	z 90°15'

15 сентября 1951 г.

5 34	○ лв	3,5	83",6	3	27",2	—	—	3,5	22",8	—	—
48	○ лв	3,5	83,4	—	—	—	—	3,5	26,8	—	—
56	○ лв	4	105,9	—	—	—	—	—	—	—	—
8 46	○ лв	—	—	—	—	—	—	4	80,2	—	—
48	○ лв	—	—	—	—	—	—	4	84,2	—	—
50	○ лв	—	—	—	—	—	—	4	80,1	—	—
52	○ лв	—	—	—	—	—	—	4	87,2	—	—
54	○ лв	—	—	—	—	—	—	4	85,2	—	—
10 18	○ лв	3	130,7	—	—	—	—	3	119,4	—	—
26	○ лв	3	138,2	—	—	—	—	3	118,8	—	—
33	○ лв	3	147,3	—	—	—	—	3	122,7	—	—
11 56	○ лв	3,5	147,1	—	—	—	—	3,5	127,8	—	—
12 03	○ лв	3,5	144,9	—	—	—	—	3,5	124,4	—	—
07	○ лв	3,5	140,5	—	—	—	—	3,5	119,8	—	—
14 14	○ лв	3	139,3	—	—	—	—	3	120,2	—	—
22	○ лв	3	141,9	—	—	—	—	3	122,3	—	—
26	○ лв	3	143,3	—	—	—	—	3	117,8	—	—
16 16	○ лв	4,5	139,6	4,5	196,1	2	193,8	5	122,4	4,5	175",6
36	○ лв	4,5	140,3	4,5	192,3	2	186,7	5	107,8	4,5	159,5

ОДНОСТОРОННЕЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПРИ БОЛЬШИХ
РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ПУНКТАМИ

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Сло- бода		Петровское	
		изобра- жение	z 90°22'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°55'	изобра- жение	z 90°15'
Пункт наблюдения Становое, площадка № 3											
13 июня 1951 г.											
19 43	⊙ св	4	148",6	4	177",4	4	171",8	4	94",6	4	146",0
57	⊙ св	4	144,1	—	—	—	—	—	—	—	—
20 16	⊙ св	4	149,7	4	177,2	4	169,0	4	90,1	4	145,2
28	⊙ св	4	147,2	—	—	—	—	—	—	—	—
22 57	⊙ св	4	141,9	3	156,6	3	158,4	4	83,5	3	137,0
23 12	⊙ св	4	138,1	—	—	—	—	—	—	—	—
14 июня 1951 г.											
1 32	⊙ лв	4,5	131,6	3	151,1	3	157,3	3,5	79,5	2	120,8
2 10	⊙ лв	4,5	131,7	—	—	3	158,1	3,5	75,7	2	125,6
9 37	⊙ лв	4	154,7	3	204,8	3	199,2	3	98,6	—	—
10 01	⊙ лв	4	159,4	3	210,5	2	195,9	3	96,8	—	—
12 56	⊙ лв	3	158,5	2	198,6	1	193,9	3	100,5	2	181,0
13 22	⊙ лв	3	156,0	2	199,2	1	193,6	2	100,3	2	182,0
15 40	⊙ лв	2,5	157,2	2,5	204,7	2	195,5	2	97,9	2	181,2
16 18	⊙ лв	2,5	161,4	2,5	200,6	2	189,3	2	99,5	2	183,6
18 18	⊙ лв	5	151,4	4	176,8	4	162,3	5	86,1	3,5	152,6
44	⊙ лв	5	148,6	4	180,1	4	165,3	5	84,3	3,5	143,4
21 16	⊙ лв	5	151,2	3,5	154,4	1	148,5	5	75,5	3,5	147,1
47	⊙ лв	5	134,2	3,5	154,0	4	141,7	5	68,9	3,5	134,1
23 12	⊙ лв	5	134,0	—	—	5	148,7	5	73,1	5	134,5
41	⊙ лв	5	138,5	—	—	5	137,2	5	73,8	5	128,5
15 июня 1951 г.											
12 42	⊙ лв	2	162,1	—	—	—	—	—	—	—	—
47	⊙ лв	2	155,3	—	—	—	—	—	—	—	—
16 02	⊙ лв	3,5	147,5	—	—	3	201,9	3,5	87,2	4,5	173,2
28	⊙ лв	3,5	157,2	—	—	3	185,2	3,5	99,9	4,5	179,1
17 52	⊙ лв	4	152,6	2,5	200,8	3	188,6	2,5	95,2	3,5	177,2
18 14	⊙ лв	5	159,1	3,5	205,3	4,5	186,4	4	92,5	5	176,8
19 57	⊙ лв	5	149,8	4,5	184,3	4	167,7	5	84,8	4,5	147,3
20 26	⊙ тх	5	144,9	4,5	177,5	4	168,7	5	84,5	4,5	148,8
21 05	⊙ тх	5	147,4	4,5	171,2	4,5	153,1	5	83,9	4,5	134,1
22 14	⊙ тх	4	125,2	2,5	146,2	3	132,3	5	77,1	4	113,0
47	⊙ тх	4	121,8	—	—	3	124,8	5	78,9	4	119,4
16 июня 1951 г.											
0 09	⊙ тх	2,5	123,3	3,5	152,7	3,5	128,5	4	75,7	3	110,1
34	⊙ тх	2,5	126,6	3,5	149,6	3,5	123,9	4	75,3	3	111,4
3 50	⊙ тх	4,5	96,0	2,5	63,4	2	12,8	3	25,8	—	—
4 05	⊙ тх	4,5	101,1	2	57,0	—	—	—	—	—	—
24	⊙ тх	4,5	90,3	—	—	—	—	3	48,0	—	—
36	⊙ тх	4,5	92,9	—	—	—	—	—	—	—	—
40	⊙ тх	4,5	98,0	—	—	—	—	—	—	—	—
15 50	⊙ лв	2	156,4	2	202,7	2,5	188,6	3	100,5	3,5	178,4
16 12	⊙ лв	2	152,0	2	199,7	2,5	191,1	3	103,0	3,5	178,6
17 40	⊙ тх	3	155,6	2,5	198,0	3	182,0	5	100,1	3,5	166,4
56	⊙ тх	4,5	153,7	2,5	194,6	3	188,4	5	103,6	3,5	167,9

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Сло- бова		Петровское	
		изобра- жение	z 90°22'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°55'	изобра- жение	z 90°15'

31 июля 1951 г.

4 40	○ тх	4	69",6	—	—	—	—	4	55",5	—	—
4 50	○ тх	4	64 ,0	—	—	—	—	4	49 ,8	—	—
5 04	○ тх	4	78 ,3	—	—	—	—	4	63 ,4	—	—
15	○ тх	4	72 ,4	—	—	—	—	4	66 ,3	—	—
20	○ тх	3	64 ,6	—	—	—	—	3	60 ,2	—	—
33	○ тх	3	77 ,4	—	—	—	—	—	—	—	—
40	○ тх	2,5	52 ,4	—	—	—	—	—	—	—	—
8 52	○ тх	3	140 ,8	—	—	—	—	3	94 ,5	—	—
9 00	○ тх	3	148 ,4	—	—	—	—	3	90 ,0	—	—
08	○ тх	3	153 ,4	—	—	—	—	3	91 ,5	—	—
14	○ тх	3	151 ,5	—	—	—	—	3	92 ,0	—	—
10 17	○ лв	2	153 ,5	—	—	—	—	2	91 ,2	—	—
23	○ лв	2	150 ,4	—	—	—	—	2	90 ,7	—	—
30	○ лв	2	149 ,7	—	—	—	—	2	91 ,8	—	—
36	○ лв	2	151 ,9	—	—	—	—	2	86 ,9	—	—
11 44	○ лв	2	148 ,1	—	—	—	—	—	—	—	—
48	○ лв	2	149 ,3	—	—	—	—	—	—	—	—
51	○ лв	2	147 ,5	—	—	—	—	—	—	—	—
54	○ лв	2	153 ,7	—	—	—	—	—	—	—	—
58	○ лв	2	150 ,8	—	—	—	—	—	—	—	—
12 02	○ лв	2	150 ,8	—	—	—	—	—	—	—	—
13 13	⊕ лв	4	147 ,4	—	—	—	—	4,5	93 ,3	3,5	169",7
22	⊕ лв	4	151 ,5	—	—	—	—	4,5	92 ,2	3,5	171 ,0
33	⊕ лв	4	152 ,1	—	—	—	—	4,5	88 ,8	3,5	168 ,2
14 48	⊕ лв	5	152 ,0	3,5	169",8	4	175",8	5	95 ,8	4,5	160 ,3
15 07	⊕ лв	5	144 ,9	3,5	184 ,8	4	181 ,2	5	94 ,8	4,5	159 ,9
16 15	⊕ лв	4,5	140 ,2	3,5	152 ,9	3	170 ,3	3,5	92 ,0	3,5	150 ,9
33	⊕ лв	4,5	144 ,7	3,5	172 ,7	3	184 ,3	3,5	83 ,2	3,5	152 ,5
17 44	⊕ лв	5	146 ,7	4,5	192 ,6	—	—	4,5	86 ,4	—	—
56	⊕ лв	5	146 ,3	—	—	2,5	160 ,5	4,5	89 ,7	—	—

1 августа 1951 г.

4 56	⊕ тхд	5	140 ,0	—	—	—	—	4,5	81 ,2	—	—
5 02	⊕ тхд	5	138 ,6	—	—	—	—	4,5	81 ,2	—	—
10	⊕ тхд	5	139 ,4	—	—	—	—	4,5	76 ,5	—	—
18	⊕ тхд	5	140 ,7	—	—	—	—	4,5	75 ,9	—	—
44	⊕ лвд	5	140 ,0	—	—	3	151 ,9	4,5	81 ,5	3	166 ,8
58	⊕ лвд	5	143 ,2	3	172 ,1	3	152 ,7	4,5	88 ,1	3	162 ,6
7 19	⊕ тхд	4,5	143 ,5	—	—	4	178 ,5	4,5	89 ,3	—	—
29	⊕ тхд	4,5	149 ,3	—	—	4	178 ,2	4,5	94 ,6	—	—
8 46	⊕ тхд	5	141 ,5	—	—	4,5	185 ,9	5	94 ,7	—	—
57	⊕ тхд	5	145 ,8	—	—	4,5	179 ,6	5	95 ,7	—	—
9 08	⊕ тхд	5	144 ,5	—	—	4,5	181 ,0	5	91 ,0	—	—
10 17	⊕ лв	4,5	153 ,3	4	194 ,2	4,5	180 ,5	4,5	89 ,2	4	172 ,8
32	⊕ лв	4,5	154 ,1	4	197 ,2	4,5	183 ,4	4,5	93 ,6	4	179 ,4
11 48	⊕ лв	4	155 ,3	3,5	200 ,4	3	193 ,8	3	90 ,8	3	185 ,5
12 04	⊕ в	4	158 ,6	3,5	201 ,0	3	186 ,2	3	89 ,7	3	180 ,6
13 17	⊕ св	5	148 ,9	4	195 ,0	4	188 ,7	4,5	92 ,7	4	181 ,5
30	⊕ св	5	154 ,2	4	200 ,1	3	188 ,0	4,5	91 ,8	4	177 ,9
14 45	⊕ св	3,5	151 ,3	3	201 ,3	2	193 ,5	3,5	88 ,0	2	188 ,2
15 00	⊕ св	3,5	156 ,4	3	206 ,5	2	188 ,9	3,5	94 ,5	2	183 ,2
16 14	⊕ св	3,5	155 ,4	3	200 ,3	2	195 ,6	3,5	94 ,3	2	182 ,9
31	⊕ св	3,5	154 ,0	3	190 ,8	2	188 ,6	3,5	92 ,2	2	178 ,2
17 49	⊕ св	5	154 ,5	5	187 ,8	5	182 ,6	5	97 ,8	5	173 ,4
18 06	⊕ св	5	153 ,4	5	193 ,6	5	182 ,7	5	92 ,5	5	165 ,9

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Кривцы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Сло- бода		Петровское	
		изобра- жение	z 90°22'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°55'	изобра- жение	z 90°15'

1 августа 1951 г.

19 12	⊙ св	5	141",0	4,5	177",0	4,5	175",3	4,5	87",0	4,5	106",0
28	⊙ св	4,5	141,9	4	184,1	4	169,8	4,5	88,5	3,5	104,2
20 04	⊙ св	4	138,2	4	170,0	4	172,1	3	79,2	3	97,3
25	⊙ св	3	146,1	3	171,4	3	171,3	3	80,8	3	97,6

12 сентября 1951 г.

22 18	⊙ в	3,5	131,3	2	84,4	3,5	101,3	4	59,0	—	—
36	⊙ в	3,5	127,0	2	87,1	3,5	98,1	4	52,1	—	—

13 сентября 1951 г.

0 28	⊕ в	3	140,7	2	145,7	3	142,6	4	76,6	—	—
43	⊕ в	3	141,1	2	145,9	3	141,9	4	82,0	—	—
2 16	⊕ св	3,5	139,0	3	156,9	3	144,7	4	85,2	—	—
32	⊕ св	3,5	141,4	3	153,2	3	149,1	4	75,4	—	—
10 25	⊕ св	3	154,6	2	197,8	2	190,4	3	94,8	—	—
44	⊕ св	3	148,1	2	196,7	2	195,4	3	90,3	—	—
12 20	⊕ св	3	152,6	2	191,3	1	188,6	3	98,3	—	—
34	⊕ св	3	154,0	2	200,1	1	188,6	3	99,6	—	—
14 33	⊕ св	3	156,4	2	201,1	—	—	3	90,4	2	180,6
54	⊕ св	3	154,1	2	200,7	1	194,0	3	91,3	2	182,4
16 14	⊕ св	4,5	151,3	4	191,5	4	177,7	4	95,2	4	174,3
30	⊕ св	4,5	149,9	4	191,3	4	177,1	4	94,0	4	168,5
18 14	⊕ лв	3	142,5	3	170,7	1	143,7	3	75,7	2	130,9
28	⊕ лв	3	139,0	3	158,9	1	130,9	3	67,1	2	129,9
20 24	⊕ лв	2	106,3	1	68,5	1	31,4	1	31,2	1	41,0
44	⊕ лв	2	101,7	—	—	1	34,4	1	39,8	1	50,2
22 14	⊕ лв	3	113,4	2	14,7	1	63,0	3	26,6	—	—
31	⊕ лв	3	118,5	2	37,5	1	60,0	3	39,2	—	—

14 сентября 1951 г.

0 18	⊕ лв	3	114,5	2	45,0	2	78,2	3	33,7	—	—
32	⊕ лв	3	115,3	2	56,7	2	77,2	3	26,3	—	—
2 18	⊙ лв	4	122,3	—	—	2	100,2	3,5	35,4	—	—
36	⊙ лв	4	118,1	—	—	2	99,8	3,5	23,9	—	—
4 17	⊙ лв	4	103,2	—	—	2,5	20,4	—	—	—	—
35	⊙ лв	4	94,3	—	—	2,5	15,3	2,5	5,2	—	—
12 30	⊕ тх	2	150,6	—	—	1	185,7	1	95,9	1	207,9
45	⊕ тх	2	154,6	2	195,0	1	183,3	1	94,2	1	185,2
14 19	⊕ тх	1	154,6	1	202,1	1	187,0	1	93,5	1	176,5
36	⊕ тх	1	152,7	1	201,5	1	189,5	1	95,1	1	178,8
16 21	⊕ тх	3	151,2	3	196,2	3,5	181,3	3,5	91,8	3,5	168,8
38	⊕ тх	3	150,3	3	189,7	3,5	180,7	3,5	90,5	3,5	168,8
18 17	⊙ тх	4,5	136,5	4,5	170,1	4,5	150,9	4,5	84,2	4	138,9
32	⊙ тх	4,5	138,2	3,5	157,8	3	122,3	4,5	87,5	3,5	116,8
20 11	⊙ тх	4,5	82,7	5	149,2	4	84,4	5	85,9	4	133,1
31	⊙ тх	4,5	77,2	4,5	140,8	4,5	77,8	5	84,9	4	116,4
22 14	⊙ тх	4	113,3	4	138,3	4	74,5	5	78,2	5	115,3
32	⊙ тх	4	95,2	4	121,3	4	69,6	5	62,6	5	70,1

15 сентября 1951 г.

5 38	⊙ лв	3	104,0	2,5	57,2	—	—	3	6,4	—	—
52	⊙ лв	3	114,9	—	—	—	—	3	15,1	—	—
58	⊙ лв	3	113,9	—	—	—	—	3	—	—	—
8 24	⊙ лв	—	—	—	—	—	—	3	63,4	—	—
46	⊙ лв	—	—	—	—	—	—	3	56,1	—	—
48	⊙ лв	—	—	—	—	—	—	3	53,5	—	—
50	⊙ лв	—	—	—	—	—	—	3	66,1	—	—

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Крившы		Боршева		Жирошкино		Михайлов- ская Сло- бода		Петровское	
		изобра- жение	z 90°22'	изобра- жение	z 90°00'	изобра- жение	z 89°54'	изобра- жение	z 89°55'	изобра- жение	z 90°15'

15 сентября 1951 г.

10 14	○ лв	3	157",6	—	—	—	—	3	96",7	—	—
20	○ лв	3	158,8	—	—	—	—	3	95,8	—	—
25	○ лв	3	152,7	—	—	—	—	3	92,9	—	—
11 57	○ лв	2,5	157,0	—	—	2	189",9	2	93,2	—	—
12 04	○ лв	2,5	146,4	—	—	2	182,1	2	90,4	—	—
10	○ лв	2,5	154,0	—	—	—	—	—	—	—	—
14 12	○ лв	3,5	159,4	—	—	—	—	3	97,4	2,5	183",6
25	○ лв	3,5	158,4	—	—	—	—	3	95,3	2,5	176,1
16 05	○ лв	4,5	143,3	4	191",4	4	186,5	5	90,7	4,5	174,0
23	○ лв	5	154,1	4	195,7	4	184,7	5	96,9	4,5	170,4

ОДНОСТОРОННЕЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ПРИ МАЛЫХ
РАССТОЯНИЯХ МЕЖДУ ПУНКТАМИ

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив-	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н		
			цы	Измеренные зенитные расстояния									
				90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'	

Пункт наблюдения Становое, площадка № 1

26 июня 1951 г.

19 03	○ тх	5	77",4	71",3	96",6	87",4	63",1	83",6	73",8	97",9	50",6
48	○ тх	5	73",5	62",2	90",2	80",5	55",0	77",5	68",8	94",9	46",7

27 июня 1951 г.

4 28	○ лв	5	67",9	57",1	83",0	75",4	52",0	80",4	64",7	93",7	46",7
58	○ лв	5	73",5	59",9	86",8	82",3	57",0	80",1	69",9	97",1	49",2
6 21	○ в	5	85",7	70",5	95",4	88",3	60",2	86",5	76",7	97",3	52",4
40	○ в	5	92",1	69",7	101",1	92",7	66",7	88",2	81",7	95",4	51",7
9 46	○ св	1	—	81",7	108",6	100",4	78",1	96",2	97",5	104",8	61",1
10 20	○ св	1	—	86",5	112",9	101",1	78",9	95",5	96",6	101",2	60",9
11 36	○ св	1	103",5	82",3	112",1	103",3	82",2	103",3	101",3	102",7	59",8
12 22	○ св	3	106",6	80",6	114",0	106",1	83",0	101",7	98",9	106",5	61",0
14 22	○ св	1	102",6	80",6	109",4	100",9	80",9	100",7	98",4	104",1	58",7
59	○ св	1	103",0	84",4	109",6	102",3	80",7	100",7	100",7	105",0	60",8
16 27	○ св	3	96",2	75",6	106",2	100",9	76",1	94",9	93",6	101",2	56",4
54	○ св	3	103",1	78",4	106",9	98",7	74",7	94",0	94",0	103",6	57",0
18 58	○ св	5	91",0	69",5	98",1	89",8	62",6	85",3	77",2	98",0	51",4
19 26	○ св	5	83",7	68",2	95",0	82",1	59",6	81",6	72",3	94",9	48",2
20 49	○ лв	4	43",8	40",5	61",9	52",5	24",8	53",3	37",9	82",8	36",9
21 11	○ лв	3	36",7	38",8	64",6	53",0	24",6	59",2	40",2	86",3	31",2

28 июня 1951 г.

5 07	○ в	4,5	63",0	52",2	79",3	70",4	44",9	72",2	59",6	90",9	45",2
44	○ лв	4,5	77",7	65",2	93",4	85",2	59",5	82",2	72",8	95",6	50",2
6 16	○ тх	4,5	84",1	64",1	92",7	86",6	60",8	84",3	76",4	98",9	53",7
48	○ лв	4,5	91",2	72",9	101",2	91",0	68",0	85",7	79",4	100",7	53",5
8 46	○ лв	3	101",9	74",2	104",6	94",9	71",7	90",8	88",8	103",6	55",5
9 20	○ в	2	99",9	78",3	104",7	97",2	74",1	94",1	92",3	105",2	60",8
10 30	○ св	2	103",7	81",0	111",4	101",3	79",2	96",1	96",4	105",3	60",4
58	○ св	2	106",3	80",4	110",1	103",4	79",5	97",8	96",6	104",2	60",1
11 22	○ св	2	104",7	80",2	111",4	102",9	82",3	96",9	95",8	104",6	61",0
13 03	○ св	2	106",1	81",2	109",7	104",2	78",0	98",9	95",6	104",9	61",0
33	○ св	2	106",0	80",0	111",2	101",9	78",2	94",1	94",7	104",4	58",7
14 01	○ св	2	103",1	80",6	111",1	103",6	78",6	96",9	94",9	101",3	57",2
15 34	○ св	3	101",1	78",3	104",7	100",2	76",7	95",3	92",0	103",7	57",6
58	○ св	3	98",0	76",5	106",2	98",3	75",0	94",3	90",8	103",7	56",5
16 20	○ св	3	100",7	76",8	103",7	97",5	71",7	91",8	89",3	102",4	56",2
17 42	○ св	4	94",7	74",5	101",0	94",0	68",5	89",0	82",8	99",2	53",1
18 04	○ св	4,5	90",8	69",0	96",6	91",8	65",6	89",6	81",9	100",6	51",9
25	○ св	4,5	90",7	69",0	100",8	91",0	64",9	86",5	78",1	99",1	51",2
19 46	○ тх	4,5	73",4	58",7	83",8	78",3	51",2	75",5	65",0	92",1	42",9
20 08	○ тх	4,5	64",7	50",4	75",3	60",1	35",0	64",6	53",1	86",4	36",8
56	○ тх	3	41",5	40",0	62",2	59",1	19",9	50",8	30",9	82",3	35",2

29 июня 1951 г.

3 51	○ лв	4	35",2	35",3	59",7	47",3	23",9	54",6	40",2	85",2	38",1
4 16	○ лв	4	41",9	38",7	62",6	58",9	28",9	61",2	49",6	87",4	42",7
4 39	○ лв	4	46",0	45",0	73",6	61",7	36",5	68",7	52",6	89",4	41",6
5 02	○ лв	4,5	59",2	56",5	81",3	75",1	49",1	74",1	62",7	90",4	46",0
7 20	○ лв	4	95",2	75",2	100",4	93",3	68",4	90",8	89",9	103",0	55",5
52	○ тх	3	95",4	76",2	106",0	93",5	71",7	92",1	88",7	102",9	61",3

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив- цы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
			Измеренные зенитные расстояния								
			90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'

29 июня 1951 г.

8 22	○ тх	3	91",0	79",2	102",3	95",0	71",7	94",9	87",8	104",9	57",2
48	○ тх	2	89,3	78,8	107,1	100,3	76,1	96,7	92,8	102,8	56,5
10 26	○ лв	2	103,0	81,3	109,4	102,0	78,8	98,1	96,2	105,4	60,3
10 48	○ в	3	103,9	86,7	112,7	100,8	80,4	101,7	98,8	108,6	63,6
11 44	○ св	2	104,1	81,8	114,3	101,7	79,1	97,2	97,2	105,4	58,8
12 08	○ св	2	104,8	83,3	113,3	101,8	82,4	100,1	93,7	108,0	60,7
32	○ св	2	104,5	86,5	115,3	103,5	79,9	100,0	96,4	109,3	61,8
56	○ св	2	101,4	82,0	110,4	100,7	78,3	97,9	91,6	107,2	62,2
14 49	○ св	4	94,7	73,2	103,8	95,1	74,7	94,2	88,6	103,5	59,2
15 10	○ св	3	98,6	78,3	104,6	86,6	68,8	88,6	83,7	102,2	54,6
16 44	○ св	4	94,8	76,5	103,5	98,3	71,7	92,9	85,2	97,5	50,7
17 05	○ в	4	93,0	73,8	101,2	92,9	67,8	90,4	84,8	101,2	54,4
38	○ тх	4	90,6	72,6	96,7	94,4	70,1	88,3	82,6	99,6	54,6
18 56	○ тх	5	53,0	46,6	73,3	67,0	38,2	65,1	50,8	89,0	36,7
19 20	○ тх	4,5	37,3	33,6	60,6	60,3	35,8	65,1	53,9	84,0	36,0
50	○ тх	4	48,2	45,9	73,9	65,1	42,2	67,6	58,5	87,7	40,7
20 11	○ тх	3,5	54,9	47,8	72,7	67,1	40,7	65,0	55,0	86,9	41,9
36	○ тх	4,5	46,2	38,9	65,2	56,6	23,4	58,6	43,0	82,9	31,6

17 июля 1951 г.

6 25	○ лв	4	невид-	68,3	93,5	86,1	62,1	84,2	79,0	95,7	52,5
52	○ лв	4	но из-	71,1	96,6	90,3	63,2	86,7	80,4	97,0	51,9
7 18	○ лв	4	за гу-	76,0	104,8	92,6	68,8	89,8	82,8	102,7	54,4
7 35	○ лв	4	ма-	69,7	99,1	89,5	66,0	87,2	83,1	98,4	55,1
9 04	○ лв	4	на	76,2	104,4	96,2	72,9	92,4	86,7	97,5	55,1
22	○ лв	4		75,3	101,3	98,5	72,1	91,7	87,8	98,8	55,3
42	○ лв	4	101",0	82,0	109,2	93,8	77,4	93,9	90,3	103,2	60,4
58	○ в	3	101,7	77,3	107,5	97,1	74,3	97,1	94,1	100,8	55,9
11 24	○ в	3	106,1	86,2	115,0	105,7	82,2	102,6	99,5	105,2	59,2
11 44	○ в	4	111,6	87,2	113,3	100,9	80,7	98,5	94,4	107,9	57,3
12 04	○ св	4	113,5	85,9	111,1	105,0	82,1	96,2	98,9	104,5	58,7
24	○ свд	5	109,5	86,5	114,8	103,4	82,4	95,3	99,2	106,1	60,0
13 52	○ св	5	91,3	72,2	101,7	93,2	67,8	91,6	81,7	100,1	58,3
14 08	○ св	5	94,1	75,9	103,3	99,4	76,1	91,7	85,0	100,7	53,2
30	○ св	5	95,8	75,5	103,0	92,2	68,1	87,0	80,3	99,9	50,7
46	○ св	4,5	92,3	77,2	103,3	95,6	68,8	95,0	84,7	100,6	55,7
16 22	○ свд	4,5	98,4	83,8	110,3	101,7	74,8	96,0	90,7	106,4	59,8
18 34*	○ свд	5	81,3	64,9	91,3	84,4	57,5	80,2	71,0	94,9	49,9
49	○ в	4	85,0	69,0	95,8	87,3	59,9	83,8	75,6	96,8	51,8
19 06	○ в	4	85,8	72,4	97,7	90,7	66,7	85,8	75,2	96,6	48,0
22	○ в	4	77,6	66,9	92,9	85,6	58,3	81,8	72,0	97,2	49,9
20 16	○ лв	3,5	49,7	48,9	75,8	71,4	43,4	74,9	64,6	90,9	46,4
30	○ лв	3	53,8	49,4	75,0	71,8	44,8	71,6	61,9	89,7	44,6
46	○ лв	3	55,5	52,4	79,5	73,7	43,5	74,4	64,8	96,0	49,1
58	○ лв	3	57,3	51,2	75,6	70,6	42,7	72,1	59,9	91,8	44,2

18 июля 1951 г.

5 20	○ лв	5	86,6	76,6	92,7	86,7	58,1	82,7	73,9	96,7	51,0
33	○ лв	5	88,8	66,8	92,8	86,0	59,8	81,7	74,1	95,4	48,8
50	○ тх	5	90,6	68,8	96,6	89,0	64,3	84,8	76,2	99,9	55,9
6 04	○ тх	5	90,1	70,2	97,2	87,4	62,8	84,3	74,2	97,8	50,1
7 22	○ тх	4	92,3	71,7	99,7	90,2	64,2	84,2	75,1	95,2	50,7
37	○ тх	4	91,9	69,7	97,8	90,0	67,1	86,2	82,9	99,0	53,6
8 01	○ тх	3	99,5	79,9	103,1	95,2	71,4	88,9	84,3	101,4	55,6
16	○ тх	3	97,0	72,8	104,6	92,4	67,3	90,5	83,7	100,6	55,4

* Шквальный ветер, грозовой дождь.

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив- цы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
			Измеренные зенитные расстояния								
			90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'

18 июля 1951 г.

9 31	⊙ тх	4,5	93",4	71",1	99",7	91",4	67",2	86",1	80",3	97",7	51",9
43	⊙ лв	4	94,0	71,6	98,6	92,0	68,9	88,3	83,8	99,1	55,5
10 00	⊙ в	3	100,5	80,5	105,8	99,0	76,4	93,8	91,1	104,0	58,8
15	⊙ св	3	100,0	81,0	106,0	98,4	70,2	93,0	87,2	99,1	57,2
11 14	⊙ св	3	94,6	74,7	101,6	92,1	68,8	87,7	82,2	99,8	54,8
28	⊙ св	2,5	95,2	77,2	105,9	94,4	71,9	89,3	90,5	99,6	55,7
45	⊙ св	3	99,5	78,2	105,0	92,7	72,6	94,4	91,6	101,6	57,1
58	⊙ св	3,5	101,3	77,9	103,6	94,4	70,9	93,9	84,1	104,5	56,0
13 13	⊙ св	3,5	97,5	74,2	104,6	95,4	71,8	90,6	88,8	99,9	56,7
26	⊙ св	3	99,1	75,0	102,0	96,7	71,7	84,9	77,0	95,2	48,6
45	⊙ св	2,5	98,2	79,7	106,5	98,8	75,1	93,1	93,6	104,3	60,3
14 01	⊙ св	2,5	103,8	82,0	107,4	99,3	79,8	96,1	94,6	102,4	59,8
15 21	⊙ св	2,5	101,9	76,6	105,8	96,1	74,0	92,6	87,6	101,8	57,2
32	⊙ св	2,5	98,5	76,5	103,7	93,9	74,7	92,1	88,3	100,4	57,3
47	⊙ в	3	99,3	76,5	105,1	97,9	75,7	92,7	89,0	101,5	56,4
16 01	⊙ в	3	96,3	77,0	105,0	98,0	74,6	93,6	89,0	102,8	59,5
17 25	⊙ лв	4	98,6	76,8	103,9	98,0	70,6	92,7	85,0	101,0	54,6
38	⊙ лв	4	98,9	76,5	102,0	92,4	66,8	88,1	81,0	99,3	52,3
56	⊙ лв	4,5	93,1	74,3	102,4	90,5	66,0	87,9	80,4	97,0	54,8
18 10	⊙ лв	4,5	91,4	73,1	97,9	89,6	65,9	83,1	82,6	100,2	56,2
19 28	⊙ лв	4,5	79,5	62,1	88,6	80,2	52,2	76,9	66,1	94,8	47,0
40	⊙ лв	4,5	71,4	55,9	83,0	74,3	48,3	74,3	63,4	90,6	45,2
54	⊙ лв	4	64,0	52,2	77,3	70,3	43,4	73,8	59,7	92,3	45,3
20 08	⊙ лв	4	55,4	48,0	73,3	60,8	31,1	62,3	52,9	90,0	41,9

19 июля 1951 г.

4 14	⊙ в	5	74,4	57,3	83,9	79,1	46,3	73,6	64,5	92,1	44,2
28	⊙ в	5	73,5	60,1	86,0	79,5	51,2	75,5	65,4	89,8	44,3
41	⊙ в	5	77,0	64,0	89,6	80,4	53,5	77,0	65,5	93,3	49,4
52	⊙ в	5	81,3	65,2	91,0	80,7	54,9	78,3	67,7	96,6	50,6
6 17	⊙ лв	5	95,6	71,2	98,1	89,7	64,1	83,5	77,1	95,7	50,6
31	⊙ лв	5	94,6	70,8	98,0	89,0	63,5	87,0	78,7	95,3	51,8
48	⊙ лв	5	94,6	70,9	100,4	91,1	66,0	88,4	78,2	99,1	52,5
7 03	⊙ лв	4	93,3	72,8	98,1	92,0	67,7	89,9	82,7	100,2	56,8
8 12	⊙ тх	3	96,2	73,4	99,9	93,4	65,7	88,8	84,5	100,3	55,4
26	⊙ лв	3	96,0	75,7	101,1	94,8	68,6	88,1	84,8	97,7	55,3
46	⊙ лв	3	99,8	78,7	106,0	97,9	73,4	94,7	88,0	101,1	58,8
9 00	⊙ в	3	98,9	76,8	104,7	98,8	76,2	93,9	90,6	103,6	57,5
10 30	⊙ в	2	90,8	82,0	108,2	98,5	73,1	96,4	94,7	100,6	57,8
46	⊙ в	2	102,3	78,9	108,5	97,0	72,6	90,9	94,5	100,0	57,6
11 02	⊙ в	2	99,8	81,9	110,0	99,2	80,9	94,0	89,9	103,1	60,4
18	⊙ в	2	97,6	76,5	105,9	98,1	76,6	95,5	91,8	103,3	59,3
12 22	⊙ св	3	97,8	71,8	101,0	93,4	69,2	88,4	84,0	97,5	53,2
34	⊙ в	3	97,1	74,8	102,1	93,0	70,7	88,5	83,1	99,3	54,3
48	⊙ лв	3	97,9	75,9	102,8	95,5	70,9	92,3	83,8	98,8	54,2
13 00	⊙ лв	3	97,6	77,9	105,6	96,6	71,5	93,5	83,8	100,2	55,4
14 28	⊙ лв	4	97,9	75,3	102,8	91,6	69,8	91,7	84,4	99,1	54,2
38	⊙ в	3,5	99,9	74,1	102,9	92,7	69,9	88,5	85,9	96,8	52,8
50	⊙ в	4,5	98,6	76,2	101,6	92,3	74,7	88,8	83,7	101,5	56,5
15 02	⊙ св	4,5	97,2	77,7	105,0	96,2	72,5	92,7	87,6	101,6	54,9
16 23	⊙ в	4,5	95,0	71,2	98,5	91,8	69,9	90,4	88,0	100,5	56,1
34	⊙ св	4,5	92,7	69,5	99,3	86,6	61,3	82,9	74,9	96,0	49,6
48	⊙ св	5	94,7	73,5	100,3	90,5	65,7	87,8	80,5	98,8	54,3
58	⊙ св	3	95,5	77,2	104,4	94,3	73,9	90,3	87,9	100,9	56,7
18 32	⊙ св	5	91,3	72,2	98,4	90,0	65,1	85,4	76,9	96,0	50,4
44	⊙ св	4,5	94,4	75,4	100,6	91,3	65,6	87,5	81,1	98,1	54,5
59	⊙ св	4,5	93,5	72,8	101,2	92,3	65,9	88,4	79,1	98,7	51,9

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив- цы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
			Измеренные зенитные расстояния								
			90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'

19 июля 1951 г.

19 13	⊙ в	5	88",2	70",0	95",5	88",3	61",4	80",6	71",4	96",0	51",9
20 08	⊕ вд	5	84,8	66,9	93,2	85,3	59,0	81,3	72,3	95,5	50,4
22	⊕ вд	5	81,1	63,6	90,9	83,0	56,1	78,4	69,9	94,2	47,4
34	⊕ вд	5	83,5	67,9	95,0	81,9	57,3	79,9	69,7	96,1	51,6
44	⊕ тх	5	81,9	65,9	91,2	81,9	57,4	79,9	69,8	96,0	48,4

2 августа 1951 г.

5 08	⊙ в	4	67,5	56,2	84,1	75,3	47,5	74,1	63,6	92,0	46,0
36	⊙ в	3	79,9	63,2	90,8	82,1	56,8	79,8	68,6	95,9	49,0
6 02	⊙ в	3	85,7	66,8	94,1	84,2	60,4	83,7	71,0	93,0	47,0
39	⊙ в	4	90,0	69,6	97,1	88,5	63,1	84,7	75,2	96,0	50,7
7 11	⊙ св	4	92,4	72,6	100,3	90,4	66,6	85,1	77,0	96,5	50,7
41	⊙ лв	4,5	91,5	72,3	99,3	90,8	65,5	87,0	81,1	96,4	50,8
8 00	⊙ лв	5	91,4	71,0	96,8	88,2	63,2	82,9	75,9	94,9	48,9
12	⊙ лв	4	93,3	71,0	97,9	90,3	65,0	84,1	78,7	95,2	50,7
30	⊕ лв	4	101,6	78,0	105,4	95,2	72,7	93,9	87,5	99,1	53,7
49	⊕ в	3	95,1	76,8	104,6	94,9	69,6	91,1	87,3	99,6	56,1
9 09	⊕ в	2	100,4	79,2	106,2	96,9	73,8	95,1	87,4	99,9	54,8
26	⊕ лв	2	102,2	82,5	110,6	99,8	74,9	93,9	89,1	101,4	58,1
49	⊕ лв	2	101,7	76,8	103,7	95,3	69,6	90,0	84,5	97,4	54,9
10 03	⊕ в	2	102,0	75,9	105,0	95,8	72,2	90,4	87,3	98,0	53,8
16	⊕ в	1	101,1	76,1	103,2	97,2	74,4	91,1	87,7	98,3	53,7
30	⊕ в	1	101,0	77,4	104,1	95,3	72,5	89,9	84,9	98,2	55,1
11 01	⊕ в	1	96,8	71,9	101,4	90,7	67,5	90,3	83,8	99,2	56,2
20	⊕ в	1	95,2	72,1	100,5	92,2	71,9	89,2	85,5	99,3	55,0
38	⊕ в	1	96,3	77,0	103,6	95,3	71,1	88,4	79,9	97,6	53,1
12 04	⊕ в	1	99,4	73,2	102,2	88,7	65,6	84,7	87,6	98,1	53,2
24	⊕ в	1	97,7	79,4	103,4	92,4	69,7	90,9	86,2	100,7	56,1
44	⊕ св	2	99,1	70,6	100,3	90,4	68,7	91,5	86,2	100,6	57,7
13 04	⊕ св	2	98,8	77,7	103,9	93,5	70,8	88,0	84,1	100,4	57,1
22	⊕ св	2	101,6	78,5	108,6	96,6	73,7	87,2	81,6	97,3	53,3
40	⊕ св	2	93,4	74,1	104,4	96,0	73,8	82,1	89,2	98,5	53,7
14 02	⊕ св	2	98,8	69,9	96,0	87,7	64,6	84,1	79,2	95,4	54,3
18	⊕ св	2	91,3	69,9	97,1	88,4	64,1	84,6	76,8	93,5	47,8
32	⊕ св	2	93,7	68,5	95,8	90,0	65,0	85,6	78,2	93,7	52,5
45	⊕ св	2	93,2	69,6	96,9	88,2	63,1	85,1	78,7	96,3	53,4
15 06	⊕ в	2	101,2	77,3	105,6	95,3	71,0	88,4	84,6	99,9	54,9
18	⊕ в	1	101,3	76,2	102,0	90,9	68,7	89,8	84,3	98,1	53,6
33	⊕ в	1	101,2	78,8	106,8	95,8	73,7	91,3	83,1	100,9	57,0
48	⊕ св	1	100,8	76,2	104,6	92,5	69,1	88,1	82,1	97,6	56,0
16 13	⊕ св	4	75,6	62,8	90,4	79,1	53,5	73,7	58,8	84,4	39,2
42	⊕ вд	4	65,5	61,5	85,5	79,6	53,8	76,6	66,3	91,8	47,6
17 00	⊕ лвд	4,5	79,1	65,2	90,5	82,7	57,4	81,7	72,0	93,8	51,0
24	⊕ лв	5	83,9	67,4	93,4	83,5	58,5	80,4	70,6	92,9	50,0
37	⊕ лв	5	83,7	67,5	96,2	86,7	60,5	82,7	74,5	95,9	49,4
52	⊕ лв	5	85,8	67,3	93,5	82,8	58,2	83,1	72,9	95,8	52,6
18 06	⊕ тх	5	89,6	71,1	97,8	87,6	65,0	84,4	76,7	98,0	53,5
28	⊕ тх	5	85,0	66,3	92,8	84,2	56,3	78,3	69,0	90,0	46,2
50	⊕ тх	5	77,0	61,4	88,0	79,9	53,6	77,3	67,2	92,0	46,1
19 00	⊕ тх	4	71,9	57,8	83,0	76,6	48,2	74,6	64,7	91,0	43,9
12	⊕ тх	4,5	74,5	61,4	88,5	80,9	53,7	79,4	69,6	93,4	47,8
34	⊕ тх	4,5	71,4	60,6	87,7	78,5	52,9	78,0	66,8	92,3	46,6
52	⊕ лв	3	69,2	56,1	82,2	74,7	49,0	73,0	61,8	88,8	44,5
20 07	⊕ лв	2,5	62,6	53,7	79,6	72,3	45,0	72,4	61,2	89,5	44,1
19	⊕ лв	3,5	43,8	44,4	68,2	63,8	36,7	67,3	56,3	85,8	40,9
31	⊕ лв	1	34,7	38,6	63,7	57,7	32,2	64,0	52,1	84,4	37,8

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив- цы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
			Измеренные зенитные расстояния								
			90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'

9 августа 1951 г.

7 30	⊕ тх	5	87",5	68",1	93",7	84",6	60",3	79",8	71",7	92",8	48",5
52	⊕ лв	5	89",7	69",5	95",4	86",4	61",5	82",9	74",6	92",2	49",1
8 04	⊕ лв	5	89",7	68",7	95",3	85",2	59",8	80",2	70",9	91",9	47",9
28	⊕ лвд	4,5	90",9	70",3	97",2	86",6	62",6	84",6	75",5	94",7	50",1
44	⊕ в	4	94",6	72",2	99",4	89",9	64",8	85",5	76",7	94",8	51",4
9 04	⊕ св	4	94",1	72",2	98",3	86",8	62",6	84",2	75",4	93",0	49",9
18	⊕ св	4	91",3	71",3	97",7	86",8	61",3	83",6	74",7	94",0	48",7
35	⊕ св	5	93",5	71",2	99",1	87",7	62",3	83",9	75",1	94",2	50",9
49	⊕ в	4	97",3	74",6	103",5	92",6	73",9	88",4	80",4	97",2	52",3
10 08	⊕ в	4	93",6	70",5	97",7	89",6	63",1	84",2	76",3	96",5	50",3
26	⊕ в	4	91",7	70",1	97",9	88",5	61",9	82",2	74",3	93",9	47",9
40	⊕ в	3	93",2	70",4	97",7	90",2	62",5	84",4	77",4	94",9	49",0
56	⊕ в	3	97",9	73",7	99",9	91",6	68",3	88",7	84",6	99",2	53",6
11 26	⊕ в	3	94",9	72",0	100",4	88",8	65",9	84",4	77",0	97",0	53",4
41	⊕ лв	3	95",3	73",8	100",2	90",9	65",3	84",3	75",9	97",0	49",2
12 04	⊕ лв	3	87",2	67",1	93",5	86",0	60",3	81",6	72",0	94",5	48",4
23	⊕ лв	3	95",5	71",6	99",7	90",1	64",3	85",6	78",6	96",2	51",7
38	⊕ лв	3	98",8	73",1	103",2	94",3	69",5	89",0	84",8	98",6	54",2
51	⊕ лвд	3	93",3	71",4	98",2	88",3	62",5	83",4	75",1	96",2	51",5
13 10	⊕ лв	3	92",1	69",3	97",5	88",9	62",9	85",2	77",7	95",7	49",7
24	⊕ в	3	98",7	73",9	100",8	93",4	67",9	87",9	82",7	97",6	52",9
45	⊕ в	3	99",1	74",8	103",6	91",6	68",9	86",7	81",9	96",8	53",9
14 02	⊕ в	2,5	99",4	76",2	103",6	92",9	70",0	88",8	82",1	98",0	52",9
18	⊕ в	3	96",9	73",8	100",7	89",7	63",3	86",3	76",2	95",3	50",4
32	⊕ вд	4	—	74",6	96",9	85",7	60",4	83",5	74",4	94",1	50",5
15 08	⊕ вд	5	81",2	64",1	91",3	80",4	56",6	77",8	66",2	91",2	47",0
21	⊕ вд	5	81",6	65",3	89",4	79",6	54",3	79",5	66",6	91",8	45",3
36	⊕ вд	5	81",0	66",1	90",9	80",5	54",3	79",9	68",0	91",7	46",1
50	⊕ вд	5	86",1	68",3	94",3	86",2	58",9	83",4	72",8	97",3	49",9
16 15	⊕ лв	5	90",7	69",7	97",5	86",7	63",1	83",0	76",8	96",3	51",8
30	⊕ лв	5	91",2	66",3	94",6	85",4	62",4	84",2	72",4	95",3	50",3
42	⊕ лв	5	90",2	68",6	96",1	84",9	63",5	86",4	75",1	97",5	51",6
54	⊕ лв	5	89",4	68",9	96",9	86",1	61",8	83",0	72",2	95",1	48",7

27 августа 1951 г.

17 18	⊕ лв	4,5	78",7	62",5	88",3	79",5	53",5	78",5	67",4	92",3	47",2
37	⊕ лв	4	78",5	64",0	89",3	78",9	52",6	77",3	67",5	91",3	46",8
56	⊕ лв	4	78",2	64",0	87",9	81",5	53",9	76",3	64",4	92",6	45",5
18 13	⊕ лв	4	74",2	62",3	88",5	76",9	50",8	75",5	64",5	92",4	45",2
38	⊕ лв	4	77",6	62",2	88",3	80",8	52",2	74",9	64",5	91",2	44",7
54	⊕ лв	4	76",1	60",4	86",7	79",6	50",5	75",5	64",7	90",8	45",7
19 10	⊕ лв	4,5	74",9	60",7	84",6	79",0	51",2	75",7	64",6	90",4	45",5
23	⊕ лв	4,5	71",6	56",7	80",6	74",2	47",4	71",8	62",8	89",0	43",4
35	⊕ лв	4,5	65",1	53",6	78",5	70",5	43",5	70",0	58",6	86",4	41",9

28 августа 1951 г.

5 38	⊕ лв	4,5	74",4	59",2	85",3	76",2	51",0	78",0	65",4	90",9	44",9
57	⊕ лв	4,5	82",9	64",8	91",8	81",7	55",7	80",7	70",2	91",5	45",5
6 17	⊕ лв	4	86",3	58",0	95",4	83",9	59",2	82",8	73",3	93",6	47",0
40	⊕ лв	4	—	66",2	94",9	84",1	59",2	82",5	71",8	92",8	47",4
7 14	⊕ лвд	4	87",3	65",5	94",1	82",2	56",9	77",6	66",9	91",4	45",2
35	⊕ лвд	5	85",0	66",7	93",1	84",3	57",0	77",0	69",1	92",3	47",5
52	⊕ лвд	5	87",6	67",7	92",6	86",0	59",7	80",8	74",9	95",6	47",7
8 04	⊕ лвд	5	87",4	68",1	93",2	85",5	60",1	81",2	74",5	92",7	47",2
16	⊕ лв	5	89",1	70",1	96",2	88",9	62",0	81",4	73",7	92",8	47",9
26	⊕ лв	4,5	90",5	68",9	96",3	87",0	62",5	83",0	75",3	92",2	48",7
42	⊕ лв	4,5	90",6	69",7	98",6	91",9	64",5	84",4	77",9	95",9	49",1

Время наблю- дений час мин	Условия погоды	Качество изобра- жения	Крив- цы	4в	4н	3в	3н	2в	2н	1в	1н
			Измеренные зенитные расстояния								
			90°14'	90°23'	90°26'	90°34'	90°39'	90°45'	90°52'	90°47'	90°00'

28 августа 1951 г.

54	⊕ лв	4,5	89°,0	68°,0	95°,5	89°,4	63°,2	80°,9	76°,1	93°,6	50°,6
9 14	⊕ лв	4,5		73,1	101,6	90,8	66,2	87,2	80,3	97,9	51,5
32	⊕ лв	4		74,9	106,1	95,9	70,6	89,2	88,1	96,6	53,3
52	⊕ лв	3		79,0	103,5	97,5	77,8	90,7	89,7	97,2	55,2
10 06	⊕ лв	3	99,8	76,3	104,3	94,4	71,1	87,5	85,7	95,5	53,5
22	⊕ лв	3,5	98,3	73,9	103,4	91,8	69,2	88,1	82,3	98,1	53,1
38	⊕ лв	3,5	92,8	70,5	98,0	89,3	64,6	84,2	81,4	95,8	49,3
52	⊕ лв	3	94,2	72,6	102,8	92,3	68,5	86,8	81,5	93,8	50,5
11 04	⊕ лв	3	95,6	72,9	101,5	89,7	65,6	87,6	82,7	95,2	48,7
20	⊕ лв	3	93,5	74,9	101,8	89,8	66,1	87,0	81,2	97,4	50,8
36	⊕ лв	3	95,9	72,3	98,6	88,6	66,3	84,6	78,2	93,9	48,4
49	⊕ в	3	90,7	69,6	95,7	84,4	61,5	86,7	77,8	93,5	48,3
12 01	⊕ в	4	88,2	67,7	93,8	83,8	59,1	81,2	71,2	92,0	47,1
21	⊕ в	4	88,1	67,9	94,1	87,3	60,4	82,2	74,2	93,7	47,4
34	⊕ в	5	88,4	69,7	94,7	88,6	61,5	83,2	77,3	95,7	48,6
46	⊕ св	5	90,2	71,1	96,1	89,4	61,4	84,0	77,6	94,6	49,4
58	⊕ свд	5	91,1	67,3	94,5	87,3	61,4	83,4	76,2	93,4	47,8
13 14	⊕ в	5	90,3	71,9	99,3	87,8	64,6	87,9	81,2	97,6	52,3
30	⊕ лв	3	98,1	77,7	107,9	94,9	71,2	89,1	89,9	96,4	51,0
46	⊕ лв	3	95,5	74,6	104,1	94,3	68,5	90,7	84,7	96,3	51,1
58	⊕ в	4	99,1	74,6	102,6	97,7	72,7	89,7	81,5	96,0	51,9
14 14	⊕ в	4	95,7	74,5	101,1	90,6	65,3	86,1	78,8	95,9	50,1
28	⊕ в	4	92,0	71,3	97,3	87,5	62,3	83,2	77,2	94,0	49,3
40	⊕ лв	4	91,2	70,2	96,1	87,6	61,0	83,9	76,5	94,6	49,2
52	⊕ лв	4	92,0	70,9	97,5	88,9	62,6	82,8	74,7	94,4	48,4
15 06	⊕ лв	4	92,1	69,7	97,8	87,5	62,0	84,0	75,2	93,8	48,7
18	⊕ лв	4	88,9	68,6	96,2	87,7	63,0	81,5	76,1	92,5	50,3
30	⊕ лв	4,5	89,4	68,8	96,5	88,2	62,6	83,0	76,0	93,0	47,9
40	⊕ лв	4	89,4	67,8	95,9	87,0	61,1	81,7	74,3	91,7	49,3
53	⊕ лв	4	87,7	67,8	95,3	87,7	61,0	80,6	74,0	90,8	47,0
16 09	⊕ тх	4,5	91,2	70,0	99,7	90,3	62,8	83,0	76,8	95,0	48,3
22	⊕ тх	5	91,5	70,6	98,2	89,0	63,0	84,6	76,0	92,0	47,8
34	⊕ тх	4,5	91,9	68,4	96,1	87,6	62,1	82,2	75,8	93,4	48,6
48	⊕ тх	3,5	91,8	69,8	96,0	88,5	61,7	84,1	78,8	95,4	51,7
17 04	⊕ тх	4	91,3	71,4	96,8	90,1	63,8	85,0	78,6	95,8	48,9
16	⊕ лв	4	91,2	70,2	97,3	88,7	61,0	80,3	73,6	93,0	49,3
38	⊕ лв	5	89,7	69,6	95,2	84,0	58,4	82,6	71,8	92,3	47,7
52	⊕ лв	5	89,1	69,0	95,6	84,5	59,7	83,9	74,5	93,9	48,1
18 06	⊕ тх	5	88,2	68,0	94,7	83,8	56,8	82,7	72,3	93,5	46,4
16	⊕ тх	5	87,4	66,3	92,8	81,5	56,0	80,9	70,6	93,4	47,3
34	⊕ тх	5	70,8	59,9	84,1	77,0	46,6	71,4	57,8	88,7	42,2
46	⊕ тх	4,5	77,7	58,5	83,1	70,0	36,2	63,5	52,3	85,7	38,6
59	⊕ тх	4,5	77,5	63,2	84,8	75,6	46,1	71,6	49,9	87,5	40,2
19 14	⊕ тх	5	73,6	55,6	81,4	73,2	43,6	66,3	43,0	84,8	32,6
28	⊕ тх	3	67,4	49,7	72,9	66,7	38,1	65,9	52,3	86,8	39,1
41	⊕ тх	2	56,9	42,0	66,6	62,3	24,4	64,9	53,7	85,8	39,9

РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

1. Метеорологические наблюдения на пункте Становое при одностороннем геодезическом нивелировании

Число и месяц наблюдения	Время наблю- дения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Темпе- ратура в граду- сах	Градиент темпера- туры град/м	Облач- ность в процен- тах	Ско- рость ветра м/сек
			относи- тельная в процен- тах	абсолют- ная мм				
Первый период								
13/VI	19 00	742,2	61	11,8	20,6	+0,21	100	5,0
	21 00	742,9	64	11,9	18,7	+0,31	—	—
14/VI	23 00	742,2	83	11,7	16,4	+0,24	50	4,0
	1 00	741,7	75	12,0	15,1	+0,28	50	4,0
	3 00	741,6	89	11,0	13,4	+0,68	50	1,6
	9 00	741,2	76	12,5	20,2	-0,12	85	2
	11 00	740,6	73	13,6	23,2	-0,39	100	0,5
	13 00	740,2	59	11,9	25,1	-0,67	70	1,2
	15 00	739,4	53	11,8	26,2	-0,65	20	0,8
	17 00	738,9	50	11,5	26,2	-0,40	—	1,6
	19 00*	738,9	59	12,2	22,0	+0,78	—	2,5
	21 00	739,2	90	12,8	16,1	+0,07	100	0,8
15/VI	23 00	739,4	89	12,4	15,5	+0,09	90	0,8
	1 00	739,6	94	12,0	14,2	+0,22	80	0
	13 00	742,0	75	12,8	18,0	-0,30	100	2,5
	15 00	741,5	71	11,5	18,9	-0,02	100	0,5
	17 30	741,5	67	11,2	20,2	-0,35	50	3
	20 00	741,5	75	11,2	17,6	+0,28	50	0,5
	21 00	742,7	75	10,9	16,4	+0,45	40	0
	22 00	742,8	84	11,6	15,1	+0,96	50	0
	23 00	742,8	84	11,6	14,7	+0,84	70	0
	16/VI	1 00	742,8	79	10,6	14,1	+0,86	80
3 00		743,1	89	10,5	12,9	+0,73	50	1,5
5 00		743,1	88	10,4	13,1	+0,86	50	0
15 00		742,1	41	11,4	25,5	-0,32	30	0
17 00		741,6	44	11,5	26,3	-0,31	30	0
18 00		741,5	44	11,3	25,5	-0,30	30	0
Второй период								
31/VI	5 00	740,9	83	10,9	14,1	+1,04	20	0
	7 00	740,5	75	10,8	17,6	+0,37	30	0
	9 00	740,7	65	12,4	21,8	-0,03	20	0
	11 00	740,1	53	12,3	23,2	-0,11	20	0
	13 00	—	53	12,3	24,2	-0,28	60	2,5
	15 30	740,2	56	12,4	23,6	+0,09	100	1,5
	17 00	740,7	72	12,3	20,1	+0,10	100	2
	19 00*	740,9	89	11,6	15,4	+0,24	100	—
1/VIII	5 00*	742,9	89	11,0	13,7	+0,18	100	0
	7 00*	743,4	78	9,6	14,7	+0,11	100	1
	9 00*	743,8	83	11,3	15,6	+0,01	100	1
	11 00	743,7	75	11,5	18,3	+0,03	80	2
	13 00	743,9	64	10,8	19,7	0,00	80	2
	15 00	743,6	65	12,1	20,8	-0,18	20	—
	17 00	743,2	57	11,0	20,3	-0,14	—	4,5
	19 00	744,2	67	10,7	18,8	-0,02	50	4
	21 00	745,0	84	11,5	15,3	+0,37	30	2
	Третий период							
12/IX	19 00	748,6	56	5,5	9,3	+0,64	20	0,5
	22 00	747,6	100	8,3	8,3	+0,09	80	3,5
13/IX	0 00	748,2	80	7,0	8,9	+0,14	90	2,5

* Дождь на пункте Становое.

Число и месяц наблюдения	Время наблюдения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Температура в градусах	Градиент температуры град/м	Облачность в процентах	Скорость ветра м/сек
			относительная в процентах	абсолютная мм				
13/IX	2 00	747,1	85	6,8	7,4	+0,48	100	5
	10 00	745,3	64	6,5	12,3	-0,19	30	6
	12 00	744,6	47	5,9	15,7	-0,23	30	8
	14 00	744,7	48	6,5	16,7	-0,29	50	4,5
	16 00	743,9	56	7,5	16,7	-0,07	30	6
	18 00	743,8	90	12,5	15,3	+0,13	30	4
	20 00	744,5	87	8,3	10,5	+0,93	30	0
14/IX	22 00	744,4	100	9,2	9,5	+0,63	30	1,5
	0 00	744,4	100	8,3	7,8	+0,35	0	1,5
	2 00	744,9	100	7,8	7,1	+0,46	0	1,5
	4 00*	—	100	7,8	6,3	+0,87	0	1,5
	12 00	746,7	—	—	16,3	-0,17	40	0,8
	14 00	746,5	57	9,1	18,9	-0,15	10	0
	16 00	746,2	50	7,4	18,9	-0,06	20	0
15/IX	18 00	746,5	52	7,5	17,0	+0,35	10	0
	20 00	747,3	48	5,9	15,2	+0,72	10	0
	22 00	748,6	64	7,3	11,6	+1,33	0	0,5
	5 00	749,5	94	7,2	6,3	+0,61	0	0,8
	9 00	749,8	83	8,9	12,3	0,00	0	0,8
	10 00	749,4	69	9,4	15,9	+0,10	0	0,8
	12 00	748,7	57	9,1	18,7	-0,11	0	1,2
14 00	748,0	51	8,7	20,2	-0,08	0	1,5	
	16 00	747,5	55	10,0	20,8	-0,21	0	1,5

* Сильный туман.

2. Метеорологические наблюдения при двустороннем геодезическом нивелировании по линии Становое—Боршева

Число и месяц наблюдения	Пункт Становое							Пункт Боршева			
	время наблюдения час мин	давление мм рт. ст.	влажность		температура в градусах	градиент температуры град/м	облачность в процентах	скорость ветра м/сек	время наблюдения час мин	температура в градусах	градиент температуры град/м
			относительная в процентах	абсолютная мм							
Первый период											
26/VI	20 00	748,2	45	8,1	21,7	—	50	1,0	—	—	—
	21 00	748,2	55	8,5	16,7	+0,81	30	0,8	—	—	—
	23 00	—	60	8,2	14,5	+0,62	20	—	—	—	—
27/VI	1 00	748,3	57	6,8	14,1	+0,50	10	2	—	—	—
	3 00	748,6	52	6,3	13,5	+0,30	10	2	—	—	—
	11 00	748,3	41	8,9	23,5	-0,26	0	5,2	—	—	—
	13 00	748,1	—	—	25,7	-0,31	0	5	—	—	—
	15 00	748,1	—	—	26,4	-0,36	0	4	—	—	—
	17 00	747,2	36	9,1	26,4	-0,73	0	4	16 00	26,1	—
28/VI	19 00	746,6	34	8,1	25,2	-0,30	0	3	19 00	24,3	-0,54
	21 00	746,8	58	9,1	19,6	+0,78	0	1,3	20 00	22,2	+0,33
	23 00	746,7	53	8,2	16,3	+0,94	0	4	22 00	19,1	+0,49
	1 00	746,9	56	7,8	15,5	+0,86	0	4	24 00	16,0	+0,31
	7 00	747,1	63	9,8	17,7	+0,34	0	3,5	7 00	18,0	-0,21
	9 00	746,7	39	7,9	22,7	-0,04	0	4	9 00	22,3	-0,12
	11 00	746,5	35	9,2	25,8	-0,19	0	3,5	11 00	25,8	-0,39
13 00	745,6	—	—	27,7	-0,15	0	5,5	13 00	27,7	-0,31	
15 00	744,7	30	6,5	28,0	-0,44	0	5,5	15 00	—	—	
17 00	744,1	31	7,9	27,7	-0,35	0	5	17 00	27,3	-0,17	

Число и месяц наблюдения	Пункт Становое								Пункт Боршева			
	время наблюдения час мин	давление мм рт. ст.	влажность		температура в градусах	градиент температуры град/м	облачность в процентах	скорость ветра м/сек	время наблюдения час мин	температура в градусах	градиент температуры град/м	
			относительная в процентах	абсолютная мм								
28/VI	19 00	744,0	34	8,3	25,8	-0,08	0	0	19 00	25,7	+0,19	
	21 00	744,5	44	9,3	21,5	+0,70	0	0	21 00	21,5	+0,56	
	23 00	744,3	59	9,6	18,3	+0,97	0	0	23 00	18,9	+0,76	
29/VI	9 00	745,4	49	9,4	21,8	-0,05	0	2	8 00	20,6	—	
	11 00	744,5	31	7,6	25,8	-0,22	10	3,5	10 00	24,1	-0,33	
	13 00	743,6	40	11,1	27,2	-0,16	30	4	12 00	27,6	-0,36	
	15 00	743,3	31	9,2	28,0	-0,42	70	2,5	14 00	29,1	-0,33	
	17 00	742,5	34	9,1	27,2	-0,29	70	1,5	16 00	28,7	-0,49	
	19 00	742,1	40	9,5	24,0	+0,67	70	1	18 00	26,5	+0,13	
	21 00	742,4	43	8,7	20,9	+1,07	50	1	20 00	24,4	+0,37	
30/VI	23 00	742,4	59	8,8	16,7	+1,13	30	3,2	22 00	20,0	+1,06	
	1 00	742,6	58	9,4	16,9	+1,46	10	0	0 00	17,8	+1,00	
	3 00	742,4	61	8,8	15,5	+0,88	40	1	2 00	15,7	+0,87	
	5 00	742,2	73	9,3	14,7	+0,55	70	—	4 00	15,5	+0,82	
	7 00	742,2	62	9,2	17,9	+0,16	70	—	6 00	17,8	+0,17	
	13 00	740,1	34	10,2	29,1	-0,22	90	4,5	13 00	29,7	-0,63	
	15 00	739,2	—	—	29,6	-0,41	70	7	15 00	29,8	-0,33	
	Второй период											
17/VII	7 00	739,5	75	14,9	22,2	+0,04	0	1,0	7 00	22,7	-0,19	
	9 00	739,1	58	15,3	28,0	-0,39	0	1,0	8 30	26,4	-0,36	
	—	—	—	—	—	—	—	—	10 00	29,1	-0,69	
	11 00	738,7	45	14,4	30,6	-0,27	30	1,5	11 30	31,1	-0,64	
	13 00*	738,2	37	12,8	31,9	-0,47	70	4	13 00	32,1	-0,66	
18/VII	15 00**	737,3	48	14,4	30,1	-0,01	90	—	14 30	28,2	-0,07	
	—	—	—	—	—	—	—	—	16 00**	29,9	-0,50	
	17 00**	737,4	60	13,0	21,8	+0,80	80	15	17 30**	25,4	+0,05	
	19 00	737,0	66	14,2	23,9	-0,09	50	2	19 00**	25,5	-0,07	
	21 00	736,9	74	13,4	20,6	+0,42	80	0	20 00	23,3	+0,66	
	5 00	736,8	93	13,8	17,5	+0,10	70	2,5	5 30	18,4	+0,03	
	7 00	736,7	84	14,1	19,1	+0,09	50	2,5	7 00	20,0	-0,34	
	9 00	737,1	76	13,7	21,5	-0,19	100	3	8 30	21,3	-0,40	
	—	—	—	—	—	—	—	—	10 00	22,5	-0,45	
	11 00	736,8	85	14,0	22,8	-0,33	60	2,5	11 30	25,5	—	
19/VII	13 00	736,1	60	13,6	24,4	-0,45	70	2,5	13 00	23,9	-0,16	
	15 00	735,1	40	10,1	26,4	-0,30	40	1,5	14 30	26,6	-0,82	
	—	—	—	—	—	—	—	—	16 00	26,8	-0,87	
	17 00	735,4	32	8,8	26,1	-0,48	40	4	17 30	25,9	-0,52	
	19 00	735,1	45	10,2	24,9	-0,43	0	1,5	19 00	25,1	-0,17	
	21 00	734,6	52	10,1	20,4	+0,65	20	0,8	20 00	23,1	+0,28	
	—	—	—	—	—	—	—	—	4 30	13,9	+0,27	
	5 00	734,3	89	10,6	13,7	+0,16	50	1,0	5 30	14,3	+0,04	
	7 00	734,0	74	10,6	17,1	-0,08	40	1,5	—	—	—	
	9 00	733,0	57	9,8	20,4	-0,26	10	1,8	8 30	20,3	-0,43	
20/VII	—	—	—	—	—	—	—	—	10 00	22,1	-0,45	
	11 00	732,3	49	10,3	22,8	-0,41	20	1,8	11 30	23,9	-0,68	
	13 00	732,1	44	9,7	24,8	-0,15	80	1,2	13 00	24,5	-0,61	
	15 00	731,3	49	10,7	24,6	-0,35	90	0,8	14 30	25,4	-0,81	
	—	—	—	—	—	—	—	—	16 00	25,7	-0,15	
	17 00	731,0	59	10,2	24,0	-0,20	80	4,8	17 30	24,8	-0,63	
	19 00	730,8	73	11,0	19,6	+0,05	80	3	19 00	22,1	-0,26	
	21 00	731,1	79	10,7	17,3	+0,08	90	0	20 00	19,7	-0,05	
	7 00	731,5	94	9,2	12,5	-0,03	20	5,6	7 00	13,3	-0,20	
	9 00	731,6	67	8,1	14,5	+0,01	80	4	8 30	13,7	-0,42	
—	—	—	—	—	—	—	—	10 00	15,9	-0,57		

* В окрестности полигона грозовые дожди.

** На пункте грозовой дождь.

Число и месяц наблюдения	Пункт Становое								Пункт Боршева		
	время наблюдения час мин	давление мм рт. ст.	влажность		температура в градусах	градиент температуры град/м	облачность в процентах	скорость ветра м/сек	время наблюдения час мин	температура в градусах	градиент температуры град/м
			относительная в процентах	абсолютная мм							
20/VII	11 00	732,2	43	6,3	16,6	-0,33	80	4	11 30	18,4	-0,80
	13 00	732,3	—	—	17,1	-0,26	80	4	13 00	16,9	-0,26
	15 00	733,0	—	—	18,7	-0,87	50	4	14 30	18,4	-0,53
	—	—	—	—	—	—	—	—	16 00	18,1	-0,44
	17 00	732,9	43	6,0	18,1	-0,40	50	6	17 30	18,7	-0,47
	19 00	733,3	43	6,3	17,3	-0,17	50	4	19 00	18,1	-0,13
	21 00	734,3	53	6,6	14,4	+0,14	30	4	20 00	16,5	+0,20
Третий период											
6/IX	9 00	745,6	83	10,2	15,2	-0,13	50	3,5	10 00	16,4	-0,14
	—	—	—	—	—	—	—	—	11 00	17,4	-0,25
	12 00	—	71	10,6	18,7	-0,27	80	4	12 00	18,8	-0,15
7/IX	13 00*	744,7	67	10,7	17,9	-0,02	100	3	13 00	18,4	-0,07
	9 00	743,6	93	11,7	15,2	+0,03	100	5	7 00	14,5	+0,06
	10 00	—	—	—	16,8	+0,07	90	3,5	10 00	17,4	-0,21
8/IX	11 00	743,2	71	11,0	17,9	-0,16	—	4	11 00	18,0	-0,38
	12 00	—	—	—	18,8	-0,23	—	4	12 00	18,9	-0,27
	13 00	743,4	64	11,2	19,8	-0,38	—	4,5	13 30	20,0	-0,35
	14 00	—	—	—	—	—	40	2,5	14 00	20,1	-0,29
	15 00	743,6	58	11,7	20,6	-0,28	20	2	15 00	20,2	-0,28
	16 00	—	—	—	21,2	-0,25	40	1,5	16 00	20,4	-0,27
	17 00	742,3	53	11,5	21,1	-0,01	10	0	17 00	20,4	+0,10
	18 00	—	—	—	20,0	-0,23	20	0	18 00	19,2	-0,46
	19 00	742,5	75	11,5	17,3	+0,46	30	0	19 00	16,6	+0,62
	6 00	—	—	—	11,7	+0,15	20	1,5	6 00	11,8	+0,22
	7 00	740,5	98	10,4	12,3	+0,16	80	1,8	—	—	—
8 00	—	93	10,8	14,1	-0,04	90	2	8 00	14,2	-0,11	
9 00	740,7	85	11,4	16,5	-0,33	40	1,5	9 00	15,8	-0,54	
10 00	—	—	—	17,5	-0,24	90	1	10 00	17,4	-0,34	
11 00	740,0	75	11,1	17,7	+0,03	90	1	11 00	18,9	-0,49	
12 00	—	—	—	16,9	-0,09	90	1	12 00	18,8	-0,41	
13 00	739,9	71	11,4	18,8	+0,02	90	1	13 00	18,8	-0,39	
14 00	—	—	—	19,6	-0,20	90	0	—	—	—	
15 00	739,3	72	11,4	19,6	-0,20	80	1,5	15 00	20,2	-0,32	
16 00	—	—	—	20,2	-0,29	80	1	16 00	19,5	-0,09	
17 00	739,0	—	—	18,7	-0,04	80	1	17 00	19,0	+0,15	
18 00	—	—	—	18,2	+0,03	80	1	18 00	18,2	+0,30	

* Дождь на пункте Становое.

3. Метеорологические наблюдения при двустороннем геодезическом нивелировании по линии Становое — Петровское

Число и месяц наблюдения	время наблюдения час мин	давление мм рт. ст.	Пункт Становое				Петровское			
			влажность		температура в градусах	градиент температуры град/м	облачность в процентах	скорость ветра м/сек	температура в градусах	градиент температуры град/м
			относительная в процентах	абсолютная мм						
15/VIII	17 00	741,9	33	9,8	28,7	+0,31	0	3,5	28,1	+0,42
	18 00	—	41	10,6	26,9	—	0	2,5	27,1	+0,40
	19 00	742,0	53	12,5	24,0	+0,46	0	2,5	25,3	+0,41
	20 00	—	68	14,3	21,2	+1,52	0	—	22,5	+0,64

Число и месяц наблюдения	Время наблюдения час мин	Пункт Становое							Петровское		
		давление мм рт. ст.	влажность		температура в градусах	градиент температуры град/м	облачность в процентах	скорость ветра м/сек	температура в градусах	градиент температуры град/м	
			относительная в процентах	абсолютная мм							
16/VIII	5 00	741,3	—	—	15,4	+0,68	0	3,5	16,3	+0,32	
	6 00	—	79	10,6	15,5	+0,27	0	2	17,2	+0,44	
	7 00	741,0	67	10,1	18,1	+0,34	0	1,5	18,8	—	
	8 00	—	69	12,1	19,8	+0,17	0	—	21,5	-0,13	
	9 00	740,9	51	11,8	22,6	+0,12	10	1	23,0	-0,01	
	10 00	741,3	46	10,5	24,0	+0,11	10	5	24,6	-0,20	
	11 00	741,1	52	12,2	25,2	+0,27	20	5	26,1	-0,26	
	12 00	741,1	38	10,6	27,6	+0,21	20	5	28,3	-0,01	
	13 00	741,6	34	10,1	29,0	+0,12	20	9	30,0	+0,26	
	14 00	741,8	33	9,6	29,4	-0,12	30	8	30,3	+0,10	
	15 00	741,9	52	15,7	29,5	-0,10	40	6	30,7	+0,17	
	16 00	—	49	15,1	29,6	+0,11	40	5	30,4	+0,10	
	17 00	740,2	66	18,2	27,4	+0,03	50	5	27,7	+0,18	
	18 00	740,9	70	16,9	25,3	+0,30	40	3	26,3	+0,14	
	19 00	—	83	19,2	24,4	+0,24	30	2	24,7	+0,32	
	20 00	—	84	17,1	21,6	+0,55	20	1	23,5	+0,32	
	17/VIII	8 00	738,1	100	15,5	18,3	+0,18	80	—	21,5	-0,12
		9 00	737,8	81	14,3	20,2	-0,17	—	—	23,0	-0,06
		10 00	737,9	78	15,5	22,0	0,00	70	4,5	24,1	+0,06
		11 00	—	59	13,5	23,8	-0,08	70	4	25,0	-0,15
12 00*		—	63	14,5	23,8	-0,01	60	4	25,1	+0,06	
13 00		736,8	57	14,7	25,8	-0,53	40	4	26,1	+0,10	
14 00		—	55	14,9	26,8	-0,45	40	4	26,5	-0,30	
15 00		736,6	53	14,7	27,1	-0,41	20	4	26,7	+0,15	
16 00		—	55	14,9	26,4	-0,22	70	1,5	26,9	+0,13	
17 00**		735,8	60	15,4	26,0	-0,33	60	7	22,4	+0,20	
18/VIII	8 00***	—	92	11,3	14,1	-0,04	100	7	15,1	-0,50	
	9 00	742,1	85	11,5	15,3	-0,04	60	3,5	16,1	-0,54	
	10 00	—	77	11,3	16,9	-0,05	50	6	17,9	-0,34	
	11 00	743,3	72	11,3	17,6	-0,14	50	5,5	19,2	-0,13	
	12 00	—	64	10,6	18,8	-0,38	50	4	20,1	-0,12	
	13 00	743,5	63	10,9	19,4	-0,24	30	3	21,3	-0,44	
	14 00	—	54	10,0	19,6	-0,19	20	3	21,5	-0,35	
	15 00	744,3	59	10,7	20,1	-0,26	10	3	21,1	-0,35	
	16 00	—	55	10,5	20,4	-0,11	10	1,5	21,2	-0,13	

* Дождь на пункте Становое.

** Дождь на пункте Петровское.

*** Дождь на обоих пунктах.

4. Метеорологические наблюдения на пункте Становое при геодезическом нивелировании на малых расстояниях

Число и месяц наблюдения	Время наблюдения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Температура в градусах	Градиент температуры град/м	Облачность в процентах	Скорость ветра м/сек
			относительная в процентах	абсолютная мм				
26/VI	20 00	748,2	45	8,1	21,7	-0,08	50	1,0
	21 00	748,2	55	8,5	16,7	+0,81	30	0,8
27/VI	3 00	748,6	52	6,3	13,5	+0,30	10	2
	5 00	748,6	52	6,4	13,8	+0,27	15	2

Число и месяц наблюдения	Время наблю- дения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Темпе- ратура в граду- сах	Градиент темпе- ратуры град/м	Облач- ность в процен- тах	Ско- рость ветра м/сек
			относи- тельная в про- центах	абсолют- ная мм				
27/VI	7 00	748,6	48	7,9	18,4	+0,25	20	2,5
	9 00	48,8	48	8,6	20,2	+0,04	60	4
	11 00	48,3	41	8,8	23,5	-0,26	0	5,2
	13 00	48,1	—	—	25,7	-0,31	0	5
	15 00	48,1	—	—	26,4	-0,36	0	4
	17 00	47,2	36	9,1	26,4	-0,73	0	4
	19 00	46,6	34	8,1	25,2	-0,30	0	3
	21 00	46,8	58	9,1	19,6	+0,78	0	1,3
	23 00	46,7	53	8,2	16,3	+0,94	0	4
28/VI	5 00	47,4	66	7,7	12,8	+0,66	0	3
	7 00	47,1	63	9,8	17,7	+0,34	0	3,5
	9 00	46,7	39	7,9	22,7	-0,04	0	4
	11 00	46,5	35	9,2	25,8	-0,19	0	3,5
	13 00	45,6	—	—	27,7	-0,15	0	5,5
	15 00	44,7	30	6,5	28,0	-0,44	0	5,5
	17 00	44,1	31	7,9	27,7	-0,35	0	5
	19 00	44,0	34	8,3	25,8	-0,08	0	0
	21 00	44,5	44	9,3	21,5	+0,70	0	0
29/VI	3 00	45,4	67	8,7	13,5	+0,90	0	3
	5 00	45,0	67	8,7	14,0	+0,50	0	3
	7 00	44,7	58	9,2	18,3	+0,24	0	3
	9 00	45,4	49	9,4	21,8	-0,05	0	2
	11 00	44,5	31	7,6	25,8	-0,23	10	3,5
	13 00	43,6	40	11,1	27,2	-0,16	30	4
	15 00	43,3	31	9,2	28,0	-0,42	70	2,5
	17 00	42,5	34	9,1	27,2	-0,29	70	1,5
	19 00	42,1	40	9,5	24,0	+0,67	70	1,0
21 00	42,4	43	8,7	20,9	+1,07	50	1,0	
17/VII	5 00	39,5	81	13,5	19,4	+0,21	0	0,5
	7 00	39,5	75	14,9	22,2	+0,04	0	1,0
	9 00	39,1	58	15,3	28,0	-0,39	0	1,0
	11 00	38,7	45	14,1	30,6	-0,27	30	1,5
	13 00*	38,2	37	12,8	31,9	-0,47	70	4
	15 00*	37,3	48	14,4	30,1	-0,01	90	4
	17 00**	37,4	60	13,0	21,8	+0,80	80	до 15
	19 00	37,0	66	14,2	23,9	-0,09	50	2
	21 00	36,9	74	13,4	20,6	+0,42	80	2
18/VII	5 00	36,8	93	13,8	17,5	+0,10	70	2,5
	7 00	36,7	84	14,1	19,1	+0,05	50	2,5
	9 00	37,1	76	13,7	21,5	-0,19	100	3
	11 00	36,8	85	14,0	22,8	-0,33	60	2,5
	13 00	36,1	60	13,6	24,4	-0,45	70	2,5
	15 00	35,1	40	10,1	26,4	-0,30	40	1,5
	17 00	35,4	32	8,8	26,1	-0,48	40	4
	19 00	35,1	45	10,2	24,9	-0,43	0	1,5
	21 00	34,6	52	10,1	20,4	+0,65	20	0,8
19/VII	3 00	34,2	89	—	14,3	+0,28	70	0,8
	5 00	34,3	89	10,6	13,7	+0,16	50	1,0
	7 00	34,0	74	10,6	17,1	-0,08	40	2
	9 00	33,0	57	9,8	20,4	-0,26	10	1,8
	11 00	32,3	49	10,3	22,8	-0,41	20	1,8
	13 00	32,1	44	19,7	24,8	-0,15	80	1,2
	15 00	31,3	49	10,7	24,6	-0,35	90	0,8
	17 00	31,0	59	10,2	24,0	-0,20	80	4,8

* В окрестности полигона идут дожди.

** Дождь на пункте Становое.

Число и месяц наблюдения	Время наблю- дения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Темпе- ратура в граду- сах	Градиент темпе- ратуры град/м	Облач- ность в процен- тах	Ско- рость ветра м/сек
			относи- тельная в про- центах	абсолют- ная мм				
19/VII	19 00	730,8	73	11,0	19,6	+0,05	80	3
	21 00	31,1	79	10,7	17,3	+0,07	90	0
2/VIII	5 00	44,9	94	8,9	11,6	+0,27	0	2
	7 00	44,7	83	11,0	14,4	-0,11	0	0,8
	9 00	44,7	72	12,1	18,2	-0,05	40	0,8
	11 00	44,8	66	13,2	21,2	-0,07	—	1
	13 00	44,7	61	12,0	20,1	-0,01	60	3
	15 00	44,0	48	10,3	24,1	+0,11	50	2
	17 00*	44,5	90	13,0	19,1	-0,15	90	1
	19 00	45,0	81	14,0	19,4	+0,13	60	0
	21 00	45,1	75	12,5	17,2	+0,71	20	0
9/VIII	7 00	44,3	100	13,3	15,5	+0,22	100	2,5
	9 00	44,3	90	13,5	17,7	-0,36	100	3
	11 00	44,8	84	13,6	19,1	+0,01	80	2
	13 00**	44,3	82	13,6	19,5	-0,01	100	0
	15 00**	44,3	87	14,1	18,4	+0,08	100	0
	17 00	42,8	90	13,5	19,3	-0,17	80	0
27/VIII	17 00	42,0	72	12,5	19,6	+0,07	100	2,5
	19 00	41,2	75	12,4	18,4	+0,18	70	2
	21 00	41,7	80	11,8	15,9	+0,76	20	2
28/VIII	5 00	41,2	99	11,9	13,7	+0,30	50	1,5
	7 00**	41,9	99	12,1	14,3	-0,10	100	1,5
	9 00	41,7	100	12,6	15,1	-0,28	100	2
	11 00	41,8	90	13,5	17,9	-0,27	100	2,5
	13 00	41,6	93	13,2	16,6	-0,04	100	2
	15 00	41,2	84	13,4	18,8	-0,09	100	1
	17 00	—	81	14,0	20,3	+0,07	70	0,5
	19 00	40,5	83	14,0	18,5	+0,24	70	0
	21 00***	40,9	98	13,0	15,1	+0,58	—	—

Линия Становое — № 4

3/VIII	7 00	46,3	80	11,7	16,0	-0,13	20	0,5—1
	9 00	46,0	67	10,3	19,4	-0,33	20	до 2
	11 00	46,0	57	9,8	21,2	+0,02	70	до 2
	13 00	45,7	53	10,6	22,8	+0,08	85	до 4
	15 00	45,6	54	10,7	24,6	-0,17	90	до 4
	17 00	45,6	58	11,9	22,7	-0,13	90	до 4
	19 00	45,8	73	12,8	20,0	+0,23	30	0
	21 00	—	81	13,0	17,9	+0,89	20	0
4/VIII	3 00	47,4	82	9,6	12,3	+0,95	10	до 2
	5 00	46,9	83	9,4	11,9	+0,79	10	до 1
	7 00	47,3	75	10,2	14,4	-0,03	10	до 1
	9 00	46,6	55	11,1	18,1	-0,01	0	0
	11 00	46,8	44	9,4	21,9	-0,04	10	2—3
	13 00	46,1	42	9,5	23,4	-0,02	30	1—2
	15 00	45,6	46	10,9	23,0	-0,37	30	до 2
	17 00	44,8	44	10,5	24,2	—	15	1—2
	19 00	44,8	59	12,5	22,2	-0,07	—	0

* Дождь с грозой на пункте Становое.

** Слабый дождь на пункте Становое.

*** Сильный туман.

Число и месяц наблюдения	Время наблю- дения час мин	Давление мм рт. ст.	Влажность		Темпе- ратура в граду- сах	Градиент темпе- ратуры град/м	Облач- ность в процен- тах	Ско- рость ветра м/сек
			относи- тельная в процен- тах	абсолют- ная мм				
4/IX	9 00	746,1	91	14,4	18,7	-0,01	0	0
	11 00	46,1	82	15,1	21,5	-0,20	0	1-2
	13 00	45,8	54	12,0	24,2	-0,56	30	1-2
	15 00	45,1	60	13,6	25,2	-0,01	30	1-2
	17 00	44,9	70	14,7	22,7	+0,04	40	1-2
	19 00	45,5	83	14,8	19,5	+0,54	50	1-2
5/IX	7 00	45,1	95	12,4	15,2	+0,07	70	2-3
	9 00	45,0	86	13,3	18,4	-0,17	70	2-3
	11 00	44,6	74	14,0	21,1	-0,36	90	5-7
	13 00	45,2	68	13,0	20,0	-0,17	90	6-8
	15 00	44,5	72	11,6	18,7	-0,07	90	6-7
	17 00	44,6	67	10,8	17,3	+0,21	30	до 5
	19 00	45,8	70	10,0	15,7	+0,33	40	—

Линия Становое — № 5

12/VII	11 00	47,9	44	10,8	23,6	-0,33	0	3,5
	13 00	47,3	39	11,2	26,5	-0,73	0	1-2
	15 00	47,1	42	12,9	27,8	-0,56	40	3,5
	17 00	46,4	42	12,9	27,8	-0,49	60	2,1
	19 00	46,4	47	14,7	26,5	-0,04	80	1,3
	21 00	46,8	54	14,4	23,3	+0,53	30	0
13/VII	5 00	48,6	76	13,3	17,8	+1,30	0	0
	7 00	48,9	66	15,6	21,5	+0,36	0	0
	9 00	48,3	51	12,8	25,1	0,00	0	0
	11 00	47,9	43	12,9	27,2	-0,80	0	0
	13 00	46,9	43	13,4	29,8	-0,22	40	0
	15 00	46,0	41	13,3	31,2	-0,22	50	0
	17 00	45,5	37	13,6	30,5	-0,03	50	0
	19 00	44,9	48	14,4	28,7	+0,14	50	0
21 00	45,0	54	13,9	24,3	+1,00	0	0	
14/VII	3 00	45,8	68	12,7	20,0	+0,52	0	1,3
	5 00	45,3	75	12,9	19,4	+0,19	0	до 2
	7 00	45,2	66	13,5	22,4	-0,02	0	2
	9 00	45,1	53	14,2	27,2	-0,23	40	3-4
	11 00	44,9	38	13,7	30,4	-0,37	0	3,2
	13 00	44,1	46	17,3	33,6	-0,12	40	до 4
14/VIII	9 00	45,2	87	15,1	19,9	-0,14	20	3-4
	11 00	44,9	71	16,1	24,0	+0,02	30	до 3
	13 00	43,8	49	15,4	26,8	-0,01	—	3-5
	15 00	44,3	62	16,9	28,2	-0,25	20	3-5
	17 00	43,2	66	18,6	27,7	-0,13	25	2-3
	19 00	42,8	81	19,9	25,4	+0,33	20	1
	21 00	43,3	91	19,1	22,0	+0,63	0	0

Приложение VI

СВОДКА НАБЛЮДЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕФРАКЦИИ, ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ УКРАИНСКОГО АЭРОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ НИВЕЛИРОВАНИЮ

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_s m	k	Условия погоды и видимости
Наблюдения в апреле					
36* 27/IV	37	5711	15,5	+ 0,195	⊕ хор.
38* 19/IV	37	4932	15,3	+ 0,114	⊕ хор.
Наблюдения в мае					
65 23/V	67	4155	21,6	(+ 0,324)	⊖ удовл.
	68	7106	20,4	+ 0,145	
	64	6391	22,8	+ 0,162	
	60	6138	12,3	- 0,056	
67 26/V	65	4155	17,2	+ 0,022	○ хор.
	68	4850	11,6	- 0,130	
	86	6062	18,7	+ 0,133	
	60	8218	37,2	+ 0,072	
70 10/V	68	6630	19,0	+ 0,085	⊖ хор.
	86	4820	14,2	+ 0,008	
	71	6617	21,9	+ 0,056	
	87	5255	17,5	+ 0,112	
73 14/V	74	4046	11,2	+ 0,055	⊖в удовл.
	75	5777	11,2	+ 0,110	
	71	7630	9,8	+ 0,064	
77 7/V	60	7664	18,2	+ 0,094	⊖в удовл.
	66	6512	18,5	+ 0,089	
	76	6384	13,7	- 0,010	
	86	7482	17,0	+ 0,099	
78 10/V	66	7278	14,6	+ 0,178	⊕ отл.
	79	5190	15,2	+ 0,197	
	76	5012	9,6	+ 0,145	
79* 31/V	78	5190	15,8	+ 0,282	○ удовл.
	76	8948	14,8	+ 0,197	
80* 28/V	74	9657	22,2	+ 0,168	○ удовл.
81* 9/V	37	6963	16,0	+ 0,255	⊖в удовл.
	98	5846	22,8	+ 0,229	
82 26/V	98	8101	17,5	+ 0,111	⊖в удовл.
	84	5031	14,8	+ 0,010	
	85	7978	16,6	+ 0,194	
84 23/V	97	8440	15,0	+ 0,129	○ хор.
	85	3976	12,6	+ 0,012	
	82	5031	17,0	+ 0,055	
95 19/V	96	5065	13,4	+ 0,011	⊖ хор.
	97	6455	12,3	+ 0,101	
	94	4154	10,0	- 0,066	

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s м	h_j м	k	Условия погоды и видимости
24 25/VI	23	4167	11,5	+ 0,081	○ хор.
	25	5306	10,0	- 0,072	
	34	8408	25,4	+ 0,110	
Наблюдения в июне					
25 28/VI	24	5306	11,6	- 0,081	○ удовл.
	26	5227	10,1	- 0,042	
27 29/VI	26	4262	13,0	- 0,049	⊕ хор.
	28	4686	13,1	+ 0,013	
66* 4/VI	60	8075	17,6	+ 0,210	⊕ удовл.
	78	7278	22,8	+ 0,190	
	77	6512	13,4	+ 0,179	
68* 8/VI	65	7106	23,4	+ 0,177	⊕ хор.
	69	5574	22,8	+ 0,185	
	70	6630	22,3	+ 0,201	
	72	8513	16,9	+ 0,129	
	67	4850	9,3	+ 0,157	
69 1/VI	68	5574	12,8	+ 0,123	○ ^в удовл.
	64	6899	12,2	+ 0,009	
	72	3153	8,6	- 0,180	
71* 21/VI	70	6617	26,6	+ 0,195	⊕ хор.
	73	7630	14,4	+ 0,116	
76* 18/VI	77	6384	18,7	+ 0,124	⊕ хор.
	78	5012	14,1	+ 0,064	
	79	8948	17,6	+ 0,140	
	86	6966	23,4	+ 0,190	
86* 16/VI	67	6062	20,4	+ 0,240	⊕ удовл.
	70	4820	14,3	+ 0,102	
	76	6966	22,4	+ 0,166	
	77	7482	24,6	+ 0,167	
87* 10/VI	70	5255	14,6	+ 0,172	○ удовл.
56 20/VI	83	6853	28,8	+ 0,151	⊕ хор.
	98	5758	12,3	+ 0,102	
	55	9717	32,8	+ 0,143	
51 28/VI	Наблюдения в июне				⊕ ^в удовл.
	47	5214	20,3	+ 0,032	
	49	4346	19,0	(- 0,150)	
	50	7929	24,8	+ 0,128	
	52	7123	23,8	+ 0,087	
	54	7580	31,4	+ 0,118	
46	7562	22,4	+ 0,047		
52 22/VI	50	5061	8,8	+ 0,011	⊕ хор.
	53	8477	11,2	+ 0,024	
	55	7123	8,7	- 0,008	
54 12/VI	51	7580	19,8	+ 0,129	⊕ ^в хор.
	53	6179	22,3	+ 0,030	
	55	4477	10,8	- 0,095	
55 9/VI	54	4477	15,0	+ 0,153	⊕ удовл.
	53	8118	—	+ 0,136	
	56	9717	19,8	+ 0,143	
	83	5049	9,5	+ 0,035	

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_s m	k	Условия погоды и видимости
85 6/VI	Наблюдения в июне				⊙ хор.
	82	7978	11,5	+ 0,018	
	84	3976	9,9	- 0,037	
	88	7050	18,6	+ 0,071	
92 22/VI	91	4125	10,7	- 0,019	⊙ хор.
	93	4659	6,0	- 0,188	
	94	6581	13,1	+ 0,005	
	118	4023	7,3	- 0,150	
96* 27/VI	95	5065	15,2	+ 0,106	⊙ хор.
	97	8182	15,6	+ 0,114	
112 16/VI	113	6951	9,3	+ 0,048	⊙ хор.
	114	5378	7,9	+ 0,008	
	115	4243	9,6	- 0,066	
116 24/VI	115	3913	6,2	(+ 0,505)	○ удовл.
	93	5775	10,4	- 0,054	
	117	4608	7,4	- 0,202	
118 23/VI	93	4029	11,1	- 0,071	⊙ удовл.
	92	4023	10,7	+ 0,234	
	91	7066	15,6	+ 0,102	
	117	5020	15,9	+ 0,085	
119 27/VI	117	7076	27,6	+ 0,135	⊙ удовл.
	91	6493	15,0	+ 0,095	
	120	7082	15,1	+ 0,107	
6 16/VII	Наблюдения в июле				⊕ хор.
	5	5100	17,1	+ 0,111	
	7	7121	17,0	+ 0,118	
7* 17/VII	6	7121	10,8	+ 0,106	⊙ хор.
	8	7895	11,8	+ 0,144	
	15	5006	—	(+ 0,675)	
	16	8030	18,0	+ 0,136	
9* 31/VII	5	11669	43,5	+ 0,168	⊕ хор.
	12	8366	30,5	+ 0,197	
	13	9155	27,9	+ 0,158	
	14	4863	19,4	+ 0,177	
12 22/VII	11	5304	11,8	+ 0,117	○ хор.
	1	11326	12,0	+ 0,041	
	9	8366	26,6	+ 0,115	
13* 21—22/VII	9	9155	22,8	+ 0,190	⊙ удовл. хор.
	14	8033	15,9	+ 0,120	
	15	6683	—	(+ 0,502)	
	18	3132	17,0	+ 0,270	
14 7/VII	9	4863	10,6	+ 0,237	⊕ хор.
	13	8033	6,6	+ 0,185	
	19	6406	10,3	+ 0,227	
15 11/VII	7	5006	—	+ 0,148	○ ^в хор.
	13	6683	—	+ 0,074	
	17	9539	—	+ 0,119	
16* 15/VII	7	8030	15,2	+ 0,130	⊕ хор.
	17	7821	20,8	+ 0,153	
17* 13/VII	15	9539	—	(+ 0,360)	⊕ хор.
	18	7601	18,7	+ 0,221	
	16	7821	19,7	+ 0,204	

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_s m	k	Условия погоды и видимости
18 5/VII	15	7219	—	(+ 0,402)	⊕ хор.
	17	7601	28,9	+ 0,149	
	13	3132	10,3	— 0,016	
19* 28/VII	14	6406	13,9	+ 0,169	⊕ хор.
	20	6422	21,2	+ 0,162	
23 7/VII	24	4167	13,3	+ 0,184	⊕ хор.
	25	7649	16,4	+ 0,174	
26 5/VII	25	5227	9,5	+ 0,052	⊕ хор.
	27	4262	11,7	— 0,014	
28* 7/VII	27	4686	15,8	+ 0,181	⊕ хор.
	26	6335	13,5	+ 0,099	
29 29/VII	30	3047	13,8	+ 0,167	○ хор.
	31	5162	14,7	+ 0,011	
121 12/VII	120	5233	10,3	+ 0,094	⊕ хор.
35 11/VII	25	10821	25,6	+ 0,123	⊕ хор.
39 27/VII	33	6830	16,4	+ 0,064	⊕ хор.
	40	5306	19,1	+ 0,095	
	42	9505	19,4	+ 0,115	
42 22/VII	39	9505	25,0	+ 0,106	⊕ хор.
	43	6571	11,1	— 0,075	
	44	5119	15,5	+ 0,217	
45 18/VII	44	7549	34,7	+ 0,131	⊕ хор.
	46	4098	29,4	— 0,042	
	47	5184	23,6	+ 0,055	
	49	8410	25,6	+ 0,072	
	40	8062	23,2	+ 0,117	
46 19/VII	45	4098	16,5	+ 0,140	⊕ хор.
	50	7806	16,9	+ 0,132	
	51	7562	16,4	+ 0,153	
47 13/VII	45	5184	19,7	+ 0,093	⊕ хор.
	48	8020	13,7	+ 0,124	
	49	6982	17,8	+ 0,041	
	51	5214	22,6	+ 0,149	
49 12/VII	47	6982	12,0	— 0,043	⊕ удовл.
	45	8410	19,4	+ 0,063	
	50	4159	7,8	+ 0,148	
	51	4346	10,6	+ 0,107	
50 5/VII	49	4159	14,6	+ 0,045	⊕ хор.
	46	7806	13,2	+ 0,071	
	51	7929	19,6	+ 0,114	
	52	5061	11,8	+ 0,021	
53 21/VII	52	8477	17,6	+ 0,112	○ удовл.
	54	6179	20,6	+ 0,140	
	55	8118	—	+ 0,117	
62* 4/VII	63	8060	21,5	+ 0,244	○ удовл.
74* 2/VII	73	4046	16,3	+ 0,132	⊕ удовл.
	80	9657	32,6	+ 0,134	

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_s m	k	Условия погоды и видимости
88 5/VII	85 89 123	7050 6553 5358	21,3 14,2 20,4	+ 0,065 + 0,058 + 0,056	⊕ отл.
90 5/VII	123 91 120	5435 5777 7845	14,0 23,8 24,4	+ 0,213 + 0,163 + 0,168	⊖ отл.
117 16/VII	116 118 119	4608 5020 7076	13,1 25,0 16,7	+ 0,188 + 0,201 + 0,193	⊕ отл.
124 17/VII	110 111	5386 4909	25,6 19,6	+ 0,166 + 0,214	⊕ удовл.
Наблюдения в августе					
20 6/VIII	19 16	6422 7533	17,1 18,0	+ 0,158 + 0,173	○ хор.
30 2/VIII	29 32 33	3047 6581 6869	13,6 17,2 23,5	- 0,093 + 0,106 + 0,116	⊖ хор.
32 5/VIII	30 33 34 32	6581 5882 5292 3909	14,7 9,4 10,2 9,0	+ 0,102 - 0,030 + 0,013 + 0,065	⊖ хор.
34 12/VIII	24 32 33	8408 5292 8324	26,5 12,8 —	+ 0,099 + 0,013 + 0,126	⊖ хор.
44 9/VIII	43 42	11298 6115	32,8 27,2	+ 0,136 + 0,077	⊖ удовл.
75* 7/VIII	73 122	5777 8914	16,7 39,4	+ 0,083 + 0,153	⊖ хор.
123 20/VIII	88 90 85	5358 5435 9324	31,2 18,4 17,8	+ 0,153 + 0,101 + 0,143	⊕ хор.
91 30/VIII	90 92 118 119	5777 4125 7066 6493	23,2 21,9 21,9 16,2	+ 0,079 + 0,222 + 0,102 + 0,117	○ удовл.
93 11/VIII	92 116 118	4659 5775 4029	17,2 19,4 16,0	+ 0,076 + 0,012 + 0,038	⊖ хор.
94 27/VIII	95 92	4154 6581	12,5 24,0	- 0,111 + 0,111	○ удовл.
97 12/VIII	95 96 84	6455 8182 8440	16,4 18,1 31,3	+ 0,173 + 0,187 + 0,165	○ хор.
110* 13/VIII	124 111	5386 9449	25,6 35,2	+ 0,061 + 0,082	⊖ хор.
111* 11/VIII	124 110	4909 9449	36,8 48,8	+ 0,018 + 0,080	○ хор.
114 16/VIII	112	5378	10,9	+ 0,096	○ удовл.
115 1/V	112 116	4243 3913	13,9 14,7	+ 0,098 + 0,132	⊖ хор.

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_s m	k	Условия погоды и видимости
120 31/VIII	119	7082	15,9	+ 0,165	☉ хор.
	90	7845	17,6	+ 0,168	
	121	5233	10,1	+ 0,172	
37 5/IX	Наблюдения в сентябре				
	36	5711	22,3	+ 0,156	☉ хор.
	38	4932	17,4	+ 0,197	
81	6963	23,8	- 0,038		
57* 8/IX	59	4293	14,1	+ 0,002	☉ хор.
	58	7263	—	+ 0,186	
	99	6742	16,1	+ 0,098	
58* 23/IX	99	8117	29,1	+ 0,132	☉ хор.
	57	7263	—	+ 0,072	
	59	3394	17,7	+ 0,107	
	61	4313	23,2	+ 0,093	
59 6—8/IX	58	3394	11,8	- 0,082	☉ хор.
	57	4293	12,4	- 0,185	
	60	6065	20,2	- 0,062	
60* 3—4/IX	59	6065	27,7	+ 0,168	☉ хор.
	63	8075	27,1	+ 0,149	
	77	7664	26,0	+ 0,146	
	67	8218	38,0	+ 0,166	
	65	6138	20,8	+ 0,245	
	61	8346	21,3	+ 0,146	
61 10/IX	58	4313	16,2	+ 0,044	⊕ хор.
	60	8346	17,0	+ 0,023	
	64	4292	13,3	+ 0,043	
	106	8042	16,4	+ 0,095	
8* 13/IX	7	7895	15,8	+ 0,128	☉ хор.
89 11/IX	88	6553	18,2	+ 0,128	☉ хор.
99 6/IX	57	6742	13,8	- 0,006	☉ удовл.
	58	8117	14,0	+ 0,080	
	104	6432	15,8	+ 0,024	
101 12/IX	100	5872	9,4	+ 0,002	☉ хор.
	102	3854	10,4	- 0,200	
	103	8716	—	+ 0,013	
102* 16/IX	101	3854	12,2	- 0,022	☉ удовл.
	99	5593	11,8	+ 0,274	
	103	9859	14,1	+ 0,164	
104* 20/IX	99	6432	26,3	+ 0,131	☉ удовл.
	105	7549	20,6	+ 0,158	
	106	8678	26,0	+ 0,172	
105 26/IX	104	7549	16,3	+ 0,044	☉ хор.
	107	8189	14,4	+ 0,017	
	103	8823	9,7	+ 0,006	
106* 26/IX	104	8678	26,0	+ 0,120	☉ хор.
	61	8042	24,2	+ 0,140	
	108	5587	24,0	+ 0,120	
108 30/IX	107	3936	11,7	+ 0,026	☉ хор.
	106	5587	11,2	+ 0,087	
	109	5668	17,6	+ 0,037	

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_a m	k	Условия погоды и видимости
Наблюдения в октябре					
1 22/X	2	8033	25,7	+ 0,172	⊕ отл.
	10	9078	28,6	+ 0,189	
	12	11326	22,9	+ 0,125	
	3	12248	22,6	+ 0,124	
10 19/X	1	9078	17,6	+ 0,146	⊕в отл.
	11	5585	11,7	+ 0,164	
	125	7688	—	+ 0,188	
11 15/X	10	5585	13,2	+ 0,116	○ хор.
	12	5304	13,8	+ 0,181	
	22	9092	15,4	+ 0,209	
21 12/X	22	5853	8,2	+ 0,051	⊖ хор.
22 28/X	21	5853	13,5	+ 0,218	⊕в хор.
33 13/X (1949)	30	6869	16,0	+ 0,183	○ удовл.
	32	5882	14,8	+ 0,162	
	39	6830	16,4	+ 0,262	
40 11/X (1949)	39	5306	20,2	+ 0,136	○ удовл.
	45	8062	14,4	+ 0,154	
	41	4371	13,4	+ 0,073	
41 18/X (1949)	40	4371	16,9	+ 0,114	○ удовл.
64* 2/X	61	4292	14,6	+ 0,009	○ хор.
	65	6391	17,0	+ 0,087	
	69	6899	15,8	+ 0,127	
	72	8363	12,7	+ 0,100	
72* 9/X	64	8363	14,9	+ 0,122	○ хор.
	69	3153	10,8	+ 0,166	
	68	8513	14,0	+ 0,131	
83 9/X (1949)	55	5049	10,7	+ 0,095	⊖ удовл.
	56	6853	21,4	+ 0,240	
98 8/X (1949)	82	8101	17,8	+ 0,174	○ хор.
	81	5846	19,9	+ 0,188	
107 21/X	105	8189	13,5	+ 0,182	⊕ хор.
	108	3936	11,8	+ 0,156	
	109	9290	—	+ 0,153	
109 14/X	108	5668	23,2	+ 0,136	⊕ хор.
	107	9290	—	+ 0,181	
113 16/X	112	6951	17,6	+ 0,132	⊕ хор.

Номер пункта и дата наблюдения	Номера наблюдаемых пунктов	s m	h_z m	k	Условия погоды и видимости
Наблюдения в ноябре					
2 1/XI	1	8033	23,0	+ 0,164	☉в хор.
	3	6324	22,8	+ 0,041	
3 13/XI	2	6324	21,6	+ 0,229	⊕в удовл.
	4	5446	11,7	+ 0,127	
	5	9930	11,4	+ 0,132	
4 20/XI	3	5446	7,9	+ 0,269	⊕ удовл.
	5	4608	10,4	+ 0,176	
5 17/XI	4	4608	15,1	+ 0,242	○ удовл.
	3	9930	11,8	+ 0,181	
	6	5100	14,1	+ 0,276	
100 15/XI	101	5872	13,4	+ 0,151	⊕ хор.
103 2/XI	101	8716	—	+ 0,219	⊕ хор.
	102	9859	24,0	+ 0,203	
	105	8823	10,6	+ 0,166	

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
96	16 снизу	$\sqrt{(\Delta h)^2 + m^2_h} = 27 \text{ мм},$	$\sqrt{(\Delta h)^2 + m^2_h} = \pm 27 \text{ мм}$
98	6 сверху	$\pm 0,40 \text{ мм}$	$\pm 0,40 \text{ м}$
123	13 снизу последняя графа	$+ 1,148$	$+ 0,148$