*Д. И. МАСЛИЧ, Л. С. ХИЖАК, Б. Т. ТЛУСТЯК, С. Г. ВЛАСЕНКО*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РЕФРАКЦИИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

До настоящего времени закономерности изменения коэффициента рефракции в зимнее время изучены недостаточно. Трудность постановки таких исследований с проведением экспериментальных работ в этот период очевидна. Этому вопросу посвящены только две работы: исследование, проведенное И. И. Померанцевым в Пулково зимой 1875—1876 гг. [5], и исследование, выполненное зимой 1953—1954 гг. [3, 4] в предгорьях Карпат. В этих работах исследуется зависимость коэффициента рефракции от температуры, его дневной и сезонный ход. Но проведенные в определенных местных условиях эти исследования не дают ответа на все вопросы теории и практики геодезического нивелирования.

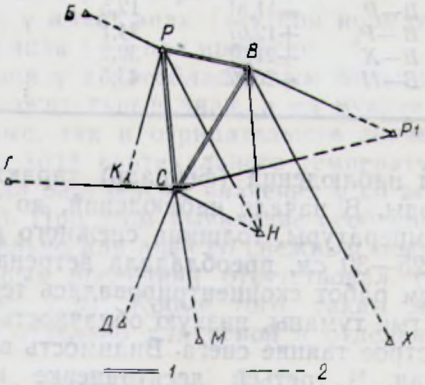


Рис. 1. Схема пунктов сети.

*1* — одновременные двухсторонние измерения зенитных расстояний; *2* — односторонние измерения зенитных расстояний.

Для восполнения этого пробела зимой 1966 г. нами были поставлены специальные экспериментальные исследования, имеющие своей целью детально изучить характерные особенности изменения коэффициента рефракции в зимний период.

Участок работ располагался в холмистой, частично залесенной местности, являющейся частью Волыно-Подольской возвышенности. Климат в районе работ умеренный, зима богата осадками, морозы в первой половине достигают —15— —20°. Вторая половина зимы (февраль месяц) отличается неустойчивой погодой, частыми оттепелями с повышением температуры до +5—+8°, густыми туманами.

Пункты сети (см. схему рис. 1) располагались в основном на вершинах холмов, превышения между пунктами были не более 40 *м*. Длины сторон колебались в пределах от 5 до 20 *км*.

В табл. 1 приведена характеристика наблюдаемой сети пунктов.

Таблица 1

**Основные данные, характеризующие наблюдаемую сеть пунктов**

| Названия сторон | Превышения в *м* | Эквивалентные высоты при наблюдениях | | Длины линий, в *км* |
|---|---|---|---|---|
| | | со штатива в *м* | со столика в *м* | |
| *С—Р* | —12,22 | 35,6 | 42,9 | 9,5 |
| *С—В* | — 0,41 | 32,7 | 42,0 | 9,0 |
| *С—Н* | +20,56 | 34,2 | 41,5 | 6,0 |
| *С—Р₁* | +12,26 | 41,2 | 50,5 | 14,2 |
| *С—М* | +20,46 | 22,0 | 34,4 | 9,8 |
| *С—Д* | +27,46 | 28,4 | 42,2 | 9,3 |
| *Р—С* | +12,22 | 22,1 | — | 9,5 |
| *Р—В* | +11,81 | 9,0 | — | 5,8 |
| *Р—Н* | +32,78 | 17,7 | — | 13,8 |
| *Р—К* | + 9,38 | 27,2 | — | 9,0 |
| *Р—Б* | — 6,22 | 10,2 | — | 5,0 |
| *В—С* | + 0,41 | 38,7 | — | 9,0 |
| *В—Р* | —11,81 | 12,5 | — | 5,8 |
| *В—Р₁* | +12,67 | 24,1 | — | 10,1 |
| *В—Х* | +27,07 | 32,2 | — | 20,0 |
| *В—Н* | +20,97 | 43,5 | — | 10,6 |

Период наблюдений (февраль) характеризовался резкими изменениями погоды. В начале наблюдений, до 10. II, удерживались отрицательные температуры, толщина снежного покрова на открытых местах достигала 25—30 *см*, преобладала ветреная погода. Во второй декаде над районом работ сконцентрировались теплые воздушные массы, вызвавшие густые туманы, низкую облачность, резкое повышение температуры и быстрое таяние снега. Видимость в этот период была неудовлетворительная. В третьей десятидневке преобладали положительные температуры при переменной облачности, слабом и умеренном ветре. Колебания температуры в период наблюдений находились в пределах —10— +16,3°, давление колебалось в диапазоне 724,0—744,0 *мм* рт. столба.

Наблюдение зенитных расстояний производилось тремя оптическими теодолитами ОТ-02. До начала наблюдений были выполнены полные исследования вертикальных кругов теодолитов по программе, предусмотренной для горизонтальных кругов. Рен микроскопов определялся для каждого деления вертикального круга в пределах 87—93°. Исследования показали, что вертикальные круги теодолитов пригодны для высокоточных измерений зенитных расстояний.

Инструменты устанавливались на штативах, а на пункте *С* — и на столике сигнала. Перед началом и после окончания наблюдений тщательно измерялись высоты инструментов и визирных целей металлической компарированной рулеткой с точностью до миллиметров.

Измерение зенитных расстояний производилось одновременно с пунктов *С*, *Р* и *В*, причем сначала измерялись взаимные зенитные расстояния между пунктами *С*, *Р* и *В*, а затем проводилось одностороннее измерение зенитных расстояний еще на 2—4 видимых пункта. Наблюдения велись в течение всего светлого периода суток через каждый час четырьмя приемами с наведением средней нити на верх визирного

цилиндра. Для каждой серии из четырех приемов фиксировались скорость и направление ветра, облачность, а также условия видимости и качество изображений по каждому наблюдаемому направлению.

В начале и в конце каждой серии наблюдений проводились инструментальные измерения температуры, влажности и давления. Температура измерялась психрометрами Асмана, подвешенными на высотах 1 и 3 *м*; влажность — с помощью волосяных гидрометров и давление — с помощью анероидов. По температурным измерениям в дальнейшем определялись вертикальные температурные градиенты.

Остановимся на изучении закономерностей изменения вертикального температурного градиента, который, как показано в работах [1 и 4], в основном определяет изменение коэффициента вертикальной рефракции. Величина вертикального температурного градиента определялась по формуле

$$\gamma = \frac{t_в - t_н}{h}, \qquad (1)$$

где $t_в$ — показания верхнего термометра;

$t_н$ — показания нижнего термометра;

$h$ — разность высот между термометрами.

Таким образом, значение $\gamma$ имеет знак (—) при нормальной стратификации воздушных масс и знак (+) при инверсии.

Полученные нами значения $\gamma$ в преобладающем большинстве случаев на пункте *C* имели положительный знак, а на пункте *P* и *B* — принимали как положительные, так и отрицательные значения.

Для выявления дневного хода вертикального температурного градиента для каждого часа были определены значения $\gamma$ со всех пунктов и за весь период наблюдений. При этом выявление особенностей дневного хода производилось отдельно для дней со снежным покровом и отдельно для дней, для которых последний отсутствовал (результаты обработки приведены на рис. 2, *а*). Кроме того, таким же образом были вычислены значения $\gamma$ отдельно для ясной и отдельно для пасмурной погоды (см. рис. 2, *б*).

Как видно из графиков, в дневном ходе преобладают положительные вертикальные градиенты температуры, и только в близполуденное время при ясной погоде $\gamma$ принимает отрицательные значения. Это указывает на то, что в зимний период в приземном слое воздуха преобладают инверсии температуры, что соответствует аналогичным исследованиям метеорологов, причем при ясной погоде вертикальные температурные градиенты достигают максимальных положительных значений (0,3° С/*м*) в утренние и вечерние часы. При пасмурной погоде дневной ход $\gamma$ значительно сглажен, и на протяжении всего дня величина $\gamma$ имеет положительный знак.

Рассматривая графики, приведенные на рис. 2, *а*, можно выявить ряд отличительных особенностей дневного хода в зависимости от наличия или отсутствия снежного покрова. Так, при снежном покрове в близполуденное время наблюдается значительное увеличение $\gamma$, а без снежного покрова кривая изменения $\gamma$ имеет обычный ход.

Для характеристики точности определения зенитного расстояния $z$ в серии приемов были вычислены средние квадратические ошибки $m_z$ колебаний $z$ между отдельными приемами по формуле

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}, \qquad (2)$$

где $v$ — отклонение $z$ каждого приема от его среднего значения в данной серии наблюдений.

Результаты вычисления $m_z$ для двух характерных дней полных наблюдений приведены в табл. 2.

Величины $m_z$ получены отдельно для дня с положительными температурами и отдельно для дня с отрицательными, причем для вычисления $m_z$ использовалось от 32 до 44 значений $z$.

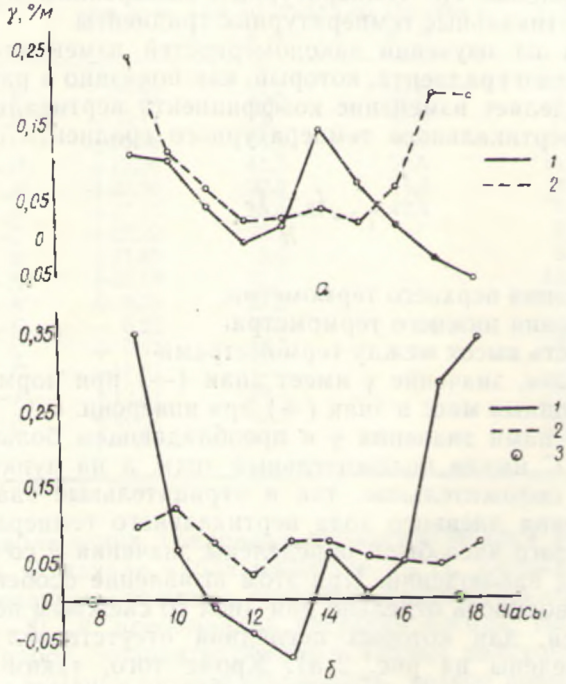


Рис. 2. Дневной ход вертикального температурного градиента.

*а* — при наличии снежного покрова и его отсутствии: *1* — со снежным покровом; *2* — без снежного покрова; *б* — в зависимости от погоды: *1* — при солнечной погоде; *2* — при пасмурной погоде; *3* — восход и заход солнца.

При анализе результатов табл. 2 видно, что точность измерения зенитных расстояний увеличивается в середине дня, причем максимальные значения $m_z$ получаются в утренние часы (около 3″,0). Характерно, что при отрицательных температурах точность в 1,5 раза выше, чем при положительных. Предельное расхождение между приемами за весь период наблюдений не превышало 10″. На наш взгляд, допуск инструкции о расхождении между приемами в 15″ следует считать завышенным.

Перейдем к детальному анализу закономерностей изменяемости коэффициента рефракции в зимний период. Для этого на основании результатов измерения зенитных расстояний и геометрического нивелирования по каждому направлению были вычислены почасовые коэффициенты вертикальной рефракции по формуле

$$k = \frac{2R}{\rho'' s} \delta z, \qquad (3)$$

где $R$ — средний радиус кривизны эллипсоида для района исследований;

$s$ — расстояние между пунктами;

$\delta z$ — разность теоретического и измеренного значения зенитного расстояния.

Кроме того, для каждого из наблюдаемых направлений вычислены эквивалентные высоты

$$h_э = \frac{s^2}{2\int_0^s \frac{l}{h}\,dl}, \tag{4}$$

где $l$ — расстояние от текущей точки светового луча до визирной цели;

$h$ — высота текущей точки светового луча над подстилающей поверхностью.

Вычисление эквивалентных высот производилось численным интегрированием на основании построенных профилей местности по соответствующим направлениям.

Таблица 2

**Точность измерения зенитных расстояний в зимний период**

| Время наблюдений | При снежном покрове | | Без снежного покрова | |
|---|---|---|---|---|
| | $m_{z_1}$ | $n$ | $m_{z_2}$ | $n$ |
| 10 | 1,60 | 40 | 2,98 | 40 |
| 11 | 1,66 | 44 | 2,26 | 40 |
| 12 | 1,06 | 44 | 1,95 | 36 |
| 13 | 1,31 | 42 | 1,60 | 40 |
| 14 | 1,08 | 40 | 1,50 | 40 |
| 15 | 1,24 | 40 | 1,55 | 40 |
| 16 | 1,57 | 40 | 1,67 | 40 |
| 17 | 1,52 | 40 | 1,24 | 40 |
| 18 | 0,97 | 32 | 1,81 | 40 |

Для выявления особенностей дневного хода коэффициента рефракции $k$ были вычислены средние почасовые значения за весь период наблюдений для каждого направления в отдельности. Результаты этих вычислений на пунктах $C$, $P$ и $B$ приведены в таблицах 3, 4 и 5. В этих же таблицах приводятся значения $h_э$ (на пункте $C$ в числителе для наблюдений со штатива, а в знаменателе — со столика сигнала), количество серий коэффициента рефракции $n$, из которых определено каждое среднее значение $k$. Кроме того, в таблицах 3, 4 и 5 приводятся средневесовое дневное значение $k$ для каждого направления и средневесовое значение для каждого пункта.

Для характеристики устойчивости почасовых значений коэффициента рефракции на каждом пункте вычислены средние квадратические ошибки $\mu_k$ одной часовой серии по формуле

$$\mu_k = \sqrt{\frac{[pvv]}{k-1}}, \tag{5}$$

которые приводятся в последнем столбце тех же таблиц. В качестве весов $p$ были приняты величины, пропорциональные количеству серий.

Для более наглядного представления дневного хода $k$ в зимний период по некоторым характерным направлениям (с максимальным

Таблица 3

**Средние почасовые значения коэффициентов рефракции на пункте *С***

| Направления / $h_э$ / Часы | *Р* | | *В* | | *Н* | | $P_1$ | | *М* | | *Д* | | *Г* | | Средние почасовые значения | | $\mu_к$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 35,6/42,9 | | 32,7/42,0 | | 34,2/41,5 | | 41,2/50,5 | | 22,0/34,4 | | 28,4/42,2 | | 31,9/42,5 | | | | |
| | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | |
| *Наблюдения со штатива* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 0,321 | 6 | 0,299 | 6 | 0,263 | 8 | — | — | 0,350 | 2 | — | — | — | — | 0,296 | 22 | ±0,0782 |
| 11 | 0,259 | 7 | 0,243 | 8 | 0,211 | 8 | — | — | 0,270 | 3 | — | — | — | — | 0,241 | 26 | 0,0633 |
| 12 | 0,241 | 7 | 0,220 | 8 | 0,176 | 9 | — | — | 0,254 | 3 | — | — | — | — | 0,214 | 27 | 0,0879 |
| 13 | 0,231 | 8 | 0,218 | 8 | 0,146 | 9 | — | — | 0,246 | 4 | — | — | — | — | 0,203 | 29 | 0,1221 |
| 14 | 0,198 | 8 | 0,202 | 9 | 0,144 | 10 | — | — | 0,200 | 4 | — | — | — | — | 0,182 | 31 | 0,0844 |
| 15 | 0,210 | 9 | 0,209 | 10 | 0,154 | 10 | — | — | 0,201 | 5 | — | — | — | — | 0,192 | 34 | 0,0830 |
| 16 | 0,204 | 8 | 0,204 | 8 | 0,165 | 9 | — | — | 0,229 | 5 | — | — | — | — | 0,196 | 30 | 0,0709 |
| 17 | 0,213 | 6 | 0,217 | 6 | 0,161 | 6 | — | — | 0,261 | 5 | — | — | — | — | 0,211 | 23 | 0,0962 |
| 18 | 0,246 | 6 | 0,236 | 6 | 0,186 | 6 | — | — | 0,292 | 5 | — | — | — | — | 0,238 | 23 | 0,1020 |
| Среднее | 0,233 | 65 | 0,225 | 69 | 0,176 | 75 | — | — | 0,249 | 36 | — | — | — | — | 0,216 | 245 | |
| *Наблюдения со столика сигнала* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | — | — | 0,274 | 2 | 0,194 | 3 | — | — | 0,269 | 3 | 0,238 | 3 | 0,159 | 1 | 0,234 | 12 | ±0,0658 |
| 11 | 0,223 | 3 | 0,209 | 3 | 0,124 | 3 | 0,202 | 1 | 0,190 | 3 | 0,202 | 3 | 0,140 | 1 | 0,187 | 17 | 0,0624 |
| 12 | 0,200 | 3 | 0,188 | 3 | 0,124 | 3 | 0,198 | 1 | 0,185 | 3 | 0,169 | 3 | 0,164 | 1 | 0,174 | 17 | 0,0433 |
| 13 | 0,197 | 3 | 0,182 | 3 | 0,121 | 3 | 0,180 | 2 | 0,192 | 3 | 0,163 | 3 | 0,156 | 1 | 0,171 | 18 | 0,0433 |
| 14 | 0,182 | 3 | 0,160 | 3 | 0,104 | 3 | 0,173 | 3 | 0,167 | 3 | 0,144 | 3 | 0,152 | 1 | 0,155 | 19 | 0,0444 |
| 15 | 0,177 | 3 | 0,166 | 3 | 0,099 | 3 | 0,164 | 3 | 0,203 | 3 | 0,139 | 3 | 0,181 | 1 | 0,159 | 19 | 0,0570 |
| 16 | 0,220 | 3 | 0,187 | 3 | 0,133 | 3 | 0,171 | 1 | 0,174 | 2 | 0,154 | 2 | 0,202 | 1 | 0,177 | 15 | 0,0472 |
| 17 | 0,204 | 2 | 0,190 | 2 | 0,144 | 2 | 0,182 | 1 | 0,202 | 2 | 0,197 | 2 | 0,251 | 1 | 0,192 | 12 | 0,0381 |
| 18 | 0,218 | 2 | 0,216 | 2 | 0,186 | 2 | 0,239 | 2 | 0,251 | 2 | 0,264 | 2 | — | — | 0,229 | 12 | 0,0397 |
| Среднее | 0,202 | 22 | 0,193 | 24 | 0,134 | 25 | 0,186 | 14 | 0,203 | 24 | 0,183 | 24 | 0,176 | 8 | 0,182 | 141 | |

количеством наблюдений) были построены графики, которые приведены на рис. 3. Кроме того, для сравнения зимних наблюдений с наблюдениями в другие сезоны года построены аналогичные графики по материалам весенних наблюдений в тех же направлениях (апрель, 1966), которые показаны на рис. 4.

Таблица 4

**Средние почасовые значения коэффициентов рефракции на пункте *Р***

| Направления | *С* | | *В* | | *Н* | | *К* | | Средние почасовые значения | | $\mu_к$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $h_э$ | 22,1 | | 9,0 | | 17,7 | | | | | | |
| Часы | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | |
| 9 | 0,405 | 5 | 0,608 | 6 | 0,474 | 2 | 0,397 | 4 | 0,483 | 17 | ±0,2265 |
| 10 | 0,278 | 4 | 0,422 | 8 | 0,308 | 2 | 0,294 | 4 | 0,349 | 18 | 0,1615 |
| 11 | 0,178 | 7 | 0,298 | 9 | 0,193 | 3 | 0,188 | 7 | 0,224 | 26 | 0,1593 |
| 12 | 0,151 | 7 | 0,213 | 9 | 0,171 | 3 | 0,152 | 7 | 0,175 | 26 | 0,0852 |
| 13 | 0,131 | 8 | 0,209 | 10 | 0,149 | 3 | 0,138 | 8 | 0,162 | 29 | 0,1078 |
| 14 | 0,125 | 7 | 0,170 | 9 | 0,100 | 3 | 0,137 | 7 | 0,141 | 26 | 0,0696 |
| 15 | 0,128 | 7 | 0,185 | 10 | 0,139 | 3 | 0,134 | 7 | 0,152 | 27 | 0,0768 |
| 16 | 0,139 | 7 | 0,208 | 10 | 0,141 | 6 | 0,133 | 7 | 0,161 | 30 | 0,1055 |
| 17 | 0,161 | 9 | 0,254 | 9 | 0,151 | 7 | 0,168 | 9 | 0,185 | 34 | 0,1411 |
| 18 | 0,205 | 7 | 0,307 | 9 | 0,183 | 7 | 0,188 | 7 | 0,226 | 30 | 0,1695 |
| Среднее | 0,178 | 68 | 0,272 | 89 | 0,180 | 39 | 0,178 | 67 | 0,210 | 263 | |

Анализ результатов, приведенных в указанных таблицах в графиках, позволяет заключить, что в зимний период дневной ход коэффициента рефракции характеризуется максимальными значениями в утренние часы. К близполуденному времени значения *k* уменьшаются, а к закату солнца снова незначительно увеличиваются. Примерно такой же ход наблюдается и в весенний период. Однако в зимний период наблюдений имеются и свои существенные особенности.

Таблица 5

**Средние почасовые значения коэффициентов рефракции на пункте *В***

| Направления | *С* | | *Р* | | $P_1$ | | *Г* | | *Н* | | Средние почасовые значения | | $\mu_к$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $h_э$ | 38,7 | | 12,5 | | 24,1 | | 32,2 | | 43,5 | | | | |
| Часы | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | *к* | *п* | |
| 9 | 0,458 | 2 | 0,656 | 2 | 0,508 | 2 | — | — | 0,432 | 2 | 0,514 | 8 | ±0,1415 |
| 10 | 0,259 | 10 | 0,293 | 10 | 0,316 | 8 | 0,255 | 1 | 0,249 | 8 | 0,278 | 37 | 0,0779 |
| 11 | 0,219 | 10 | 0,230 | 10 | 0,274 | 9 | 0,273 | 1 | 0,203 | 9 | 0,232 | 39 | 0,0835 |
| 12 | 0,171 | 10 | 0,179 | 11 | 0,187 | 9 | 0,180 | 3 | 0,171 | 9 | 0,177 | 42 | 0,0203 |
| 13 | 0,168 | 10 | 0,192 | 12 | 0,165 | 7 | 0,165 | 4 | 0,164 | 9 | 0,173 | 42 | 0,0388 |
| 14 | 0,162 | 11 | 0,177 | 11 | 0,170 | 9 | 0,167 | 5 | 0,149 | 9 | 0,165 | 45 | 0,0326 |
| 15 | 0,157 | 10 | 0,194 | 11 | 0,168 | 9 | 0,163 | 5 | 0,149 | 9 | 0,168 | 44 | 0,0548 |
| 16 | 0,169 | 8 | 0,190 | 9 | 0,186 | 8 | 0,174 | 6 | 0,165 | 8 | 0,177 | 39 | 0,0312 |
| 17 | 0,171 | 8 | 0,237 | 9 | 0,193 | 8 | 0,189 | 6 | 0,166 | 8 | 0,192 | 39 | 0,0825 |
| 18 | 0,195 | 7 | 0,261 | 8 | 0,208 | 7 | 0,194 | 4 | 0,184 | 7 | 0,211 | 33 | 0,0838 |
| Среднее | 0,192 | 86 | 0,224 | 93 | 0,215 | 76 | 0,181 | 35 | 0,184 | 78 | 0,202 | 368 | |

Как показано в работе [2], при положительных температурах имеются промежутки дня, примерно совпадающие с периодами спокойных изображений, когда происходит выравнивание коэффициентов вертикальной рефракции по всем направлениям. Это легко заметить на

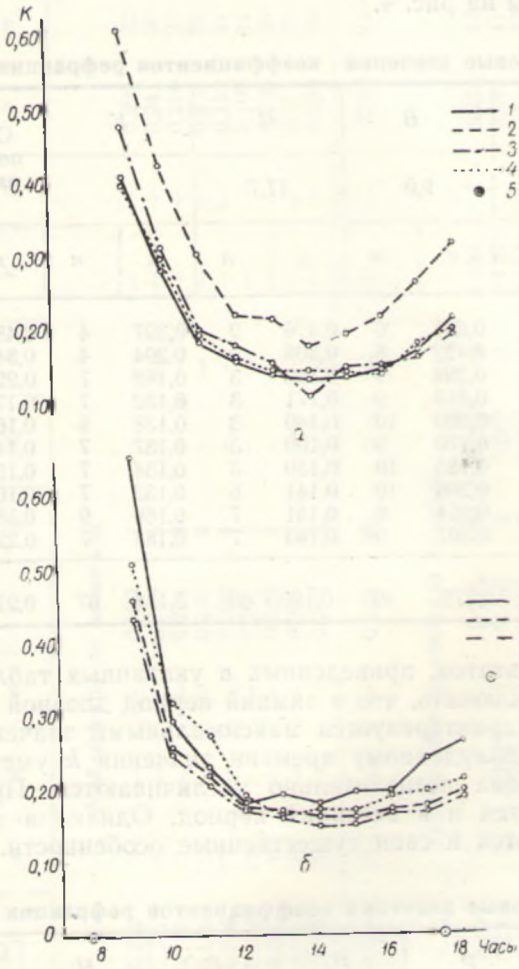


Рис. 3. Дневной ход коэффициента рефракции на пунктах *P* и *B*.

*а* — зимние наблюдения со штатива на пункте *P*: *1* — по направлению *C*, *2* — по направлению *B*, *3* — по направлению *H*, *4* — по направлению *K*; *б* — зимние наблюдения со штатива на пункте *B*: *1* — по направлению *P*, *2* — по направлению *C*, *3* — по направлению *H*, *4* — по направлению $P_1$, *5* — восход и заход солнца.

графике изменяемости *k* в весенний период (рис. 4). В зимних же условиях таких периодов, как правило, не наблюдается. Можно предполагать, что это вызвано существованием устойчивых инверсий в приземном слое воздуха. Как исключение, в близполуденное время имеет место непродолжительное выравнивание коэффициентов только для направлений с большими эквивалентными высотами. Кроме того, из таблиц и графиков легко установить увеличение амплитуды кривой дневного хода коэффициента рефракции с уменьшением высоты визирного луча над подстилающей поверхностью, причем по всем направ-

лениям наблюдается ярко выраженная асимметричность кривой дневного хода коэффициентов рефракции с преувеличенными значениями утренних коэффициентов, чего в такой же мере нельзя сказать о весенних наблюдениях. Следует отметить, что при отрицательных температурах с преобладающими положительными градиентами (то есть с возрастанием температуры с высотой) наблюдается увеличение коэффициента рефракции с уменьшением эквивалентной высоты.

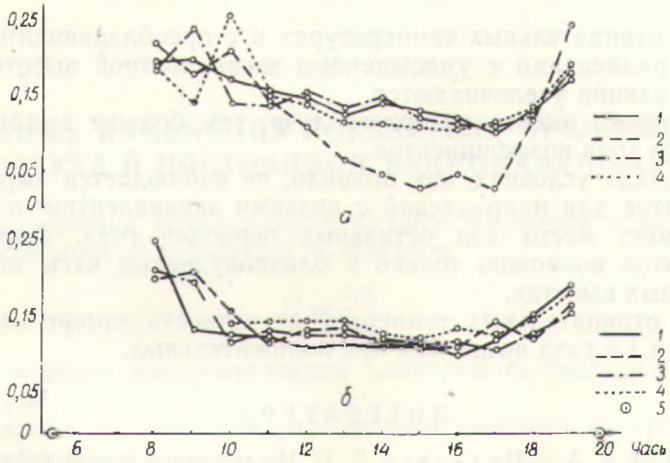


Рис. 4. Дневной ход коэффициента рефракции на пунктах *P* и *B* в весенний период.

*а* — наблюдения со штатива на пункте *P*: *1* — по направлению *C*, *2* — по направлению *B*, *3* — по направлению *H*, *4* — по направлению *K*; *б* — наблюдения со штатива на пункте *B*: *1* — по направлению *P*, *2* — по направлению *C*, *3* — по направлению *H*, *4* — по направлению $P_1$, *5* — восход и заход солнца.

Приведенные в табл. 3, 4 и 5 значения $\mu_k$ указывают на относительную неустойчивость коэффициента рефракции для пунктов с низкими эквивалентными высотами направлений. Более устойчивые значения коэффициентов имеют место в близполуденное время. В утренние часы величина $\mu_k$ по всем направлениям принимает максимальные значения.

Для исследования сезонной изменяемости коэффициента рефракции нами были произведены определения *k* и в летний период. Средние значения для зимнего, весеннего и летнего периодов приведены в табл. 6. Там же дается количество серий измерений *n*, из которых получены эти средние значения. Из результатов, приведенных в табл. 6, видно, что максимальные значения коэффициента имеют место в зимнее время.

Таблица 6

**Средние сезонные значения коэффициентов рефракции**

| Пункты / Сезон года | *P* | | *B* | | *C* | | Средние сезонные значения | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *к* | *n* | *к* | *n* | *к* | *n* | *к* | *n* |
| Зима | 0,210 | 263 | 0,202 | 368 | 0,203 | 386 | 0,204 | 1017 |
| Весна | 0,128 | 262 | 0,113 | 303 | 0,170 | 473 | 0,143 | 1038 |
| Лето | 0,157 | 187 | — | — | 0,160 | 225 | 0,159 | 412 |

Следует также отметить, что в зимний период коэффициент более стабильный, чем в остальные сезоны.

Таким образом, на основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В зимний период коэффициенты рефракции принимают большие значения, чем в остальные периоды года.

2. Кривая дневного хода коэффициентов имеет ярко выраженную асимметричность с преувеличенными утренними коэффициентами рефракции.

3. При отрицательных температурах и с преобладающими положительными градиентами с уменьшением эквивалентной высоты коэффициенты рефракции увеличиваются.

4. Чем ниже высота визирного луча, тем больше амплитуда кривой дневного хода коэффициентов.

5. В зимних условиях, как правило, не наблюдается выравнивания коэффициентов для направлений с низкими эквивалентными высотами, как это имеет место для остальных периодов года. Выравнивание коэффициентов возможно только в близполуденные часы на больших эквивалентных высотах.

6. При отрицательных температурах точность измерения зенитных расстояний в 1,5 раза выше, чем при положительных.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Изотов А. А. и Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 102, Геодезиздат, 1955.

2. Джуман Б. М. К вопросу о выгоднейшем времени измерения зенитных расстояний. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 1. Межведомственный республиканский научно-технический сборник. Изд-во Львов. ун-та, 1964.

3. Маслич Д. И. Сезонные изменения коэффициента вертикальной рефракции в районе Карпат. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, вып. 1, 1964.

4. Маслич Д. И. О точности геодезического нивелирования в горных условиях. Львов, 1957.

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



Работа поступила
1 апреля 1967 года