

---

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР**

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ, КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНСТРУКЦИИ,  
НОРМЫ И ПРАВИЛА**

**РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТОВ НА ПУНКТАХ ЛАПЛАСА  
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ РЕФРАКЦИИ**

**ГКИНП-01-145-81**

**Москва 1982**

**Обязателен для предприятий, организаций и учреждений системы Главного  
управления геодезии и картографии при совете Министров СССР**

**Утвержден Главным управлением геодезии и картографии  
при Совете Министров СССР 4 сентября 1981 г.**

В РТМ изложен метод, позволяющий впервые учитывать с высокой точностью рефракцию при определении астрономических азимутов на пунктах Лапласа. Данное краткое описание метода, сформулированы дополнительные требования к методике определения азимута земного предмета, изложена новая технология, математической обработки результатов его определения, позволяющая практически полностью исключить влияние рефракции. Приведены таблицы необходимых метеорологических элементов, дан пример обработки результатов наблюдений астрономического азимута с учетом влияния рефракции.

Руководящий технический материал разработан на кафедре высшей геодезии МИИГАиК профессором Н.В. Яковлевым и согласован с ЦНИИГАиК; дополняет Инструкцию о построении государственной геодезической сети СССР (М.: Недра, 1966 г.) в части определения азимутов на пунктах Лапласа; предназначен для повышения точности азимутальных определений, исполненных как в прошлые годы, так и вновь выполняемых.

## **1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ**

Азимуты Лапласа имеют важное значение при создании государственной геодезической сети и должны определяться с предельно высокой точностью. Одним из существенных источников ошибок при определении азимута земного предмета является боковая рефракция. Средняя квадратическая величина ее влияния на среднее значение азимут из 18 - 20 приемов при длинах сторон 12 - 23 км равна в среднем 0,6 - 0,8"; в отдельных приемах, особенно в ночное время, ошибки из-за рефракции достигают нередко 2 - 3" и более. Такое влияние рефракции слишком велико и его необходимо исключить возможно полнее из результатов азимутальных определений.

В ясную погоду, когда определяются азимуты земных предметов, боковая рефракция в приземном слое атмосферы испытывает четко выраженный суточный ход и дважды переходит через ноль в моменты вечерней и утренней изотермии воздуха на высоте визирного луча, изменяя при этом всякий раз знаки на противоположные. Под воздействием суточного хода боковой рефракции значения азимута земного предмета, полученные из наблюдений в приемах, также изменяются во времени суток (рис. 1). Эти изменения необходимо учитывать как при организации азимутальных определений на пунктах, так и при математической обработке их результатов.

---

Для того чтобы практически полностью исключить ошибки из-за рефракции, необходимо среднее из приемов значение азимута редуцировать к среднему моменту вечерней изотермии воздуха, когда влияние местных полей боковой рефракции равно или почти равно нулю. На отрезке вечерних, ночных и утренних часов наблюдений суточный ход значений азимута в приемах уверенно аппроксимируется параболой второго порядка

$$\tilde{\alpha}_i = \alpha' + a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2, \quad (1)$$

где  $\alpha'$  - приближенное значение азимута, округленное до целого десятка секунд;  $a_0, a_1, a_2$  - коэффициенты, вычисляемые по методу наименьших квадратов из обработки результатов наблюдений азимута в приемах;  $x_i$  - время наблюдений в приемах, отсчитываемое относительно момента захода Солнца ( $t_{\text{зах}}$ ) и вычисляемое по формуле

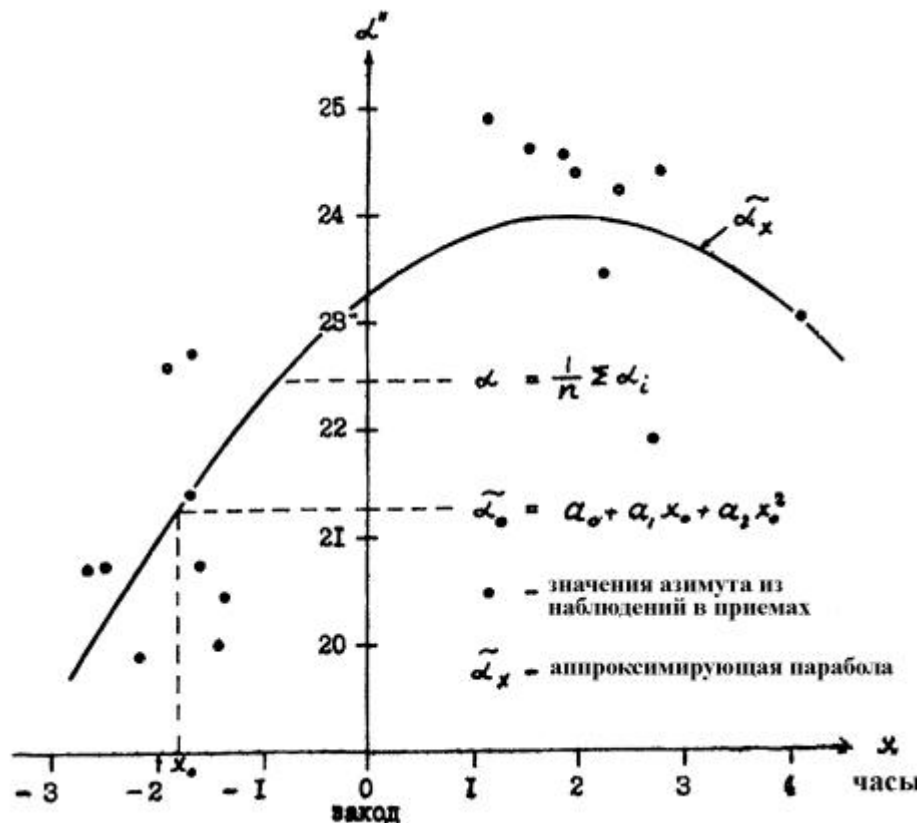


Рис. 1. Изменение значений азимута в приемах под воздействием суточного хода боковой рефракции

$$x_i = t_i - t_{\text{зах}}. \quad (2)$$

Азимут  $\tilde{\alpha}_0$ , исправленный за влияние рефракции, вычисляют по формуле

$$\tilde{\alpha}_0 = \alpha' + a_0 + a_1 x_0 + a_2 x_0^2, \quad (3)$$

где  $x_0$  - средний момент изотермии воздуха на высоте визирного луча, вычисляемый относительно момента захода Солнца по формуле (6), см. п. 4. Для каждой  $j$ -ой даты знак при  $x_{0,j}$  определяется формулой

$$x_{0,j} = t_{0,j} - t_{\text{зах},j}, \quad (4)$$

где  $t_0$  и  $t_{\text{зах}}$  - момент изотермии и время захода Солнца соответственно.

Данный метод коррекции астрономических азимутов за влияние рефракций распространяется в настоящее время на территорию между 40 - 64° северной широты и 30 -

---

130° восточной долготы. Применяется в равнинной, холмистой и горной местности при прохождении визирных лучей на высотах не более 600 м (в средней части луча) над земной поверхностью или, что все равно, при эквивалентных высотах визирных лучей не более 300 м. Используется при обработке наблюдений астрономических азимутов как ранее определенных, так и вновь определяемых в период с апреля по октябрь включительно при соблюдении дополнительных требований приведенных в разделе 2.

Метод разработан профессором Н.В. Яковлевым на кафедре высшей геодезии МИИГАиК и предназначен для повышения точности азимутальных определений в геодезических сетях. Теоретическое обоснование и результаты испытаний метода даны в работе [2].

## **2. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА**

Для исключения влияния рефракции и получения азимута с высокой точностью необходимо обеспечить возможность редукции его значения к моменту вечерней изотермии воздуха ( $x_0$ ). С этой целью в процессе наблюдений должны быть выполнены следующие требования, дополняющие Инструкцию [1]:

2.1. Определение азимута должно начинаться не позднее, чем за 1 час до наступления момента времени  $t_0'$ , когда на высоте визирного луча наступает состояние, наиболее близкое к изотермии, и появляются наиболее спокойные и четкие изображения визирных целей<sup>\*)</sup>. Другими словами, определение азимута должно начинаться не позднее, чем за  $x_0' + 1$  час до захода Солнца и продолжаться в ночные (утренние) часы при благоприятных условиях наблюдений земного предмета и звезд.

<sup>\*)</sup> На данной стадии полевых работ приближенное значение момента времени  $t_0'$  можно вычислить для каждой даты полевого сезона по формуле

$$t_0' = t_{\text{зах}} - x_0' \quad (5)$$

как разность момента захода верхнего края диска Солнца ( $t_{\text{зах}}$ ) и величины  $x_0'$ , которая берется с графика на рисунке 2 (в часах), по широте пункта и дате наблюдений. Время захода Солнца выписывают из Астрономического ежегодника (АЕ) и для контроля фиксируют по часам, находясь на знаке, причем в одной и той же системе счета времени. Если астропункт находится на командной вершине, то расхождение расчетного и фиксированного моментов захода не превысит нескольких минут.

2.2. В течение всех дней работы на пункте до захода Солнца должно быть выполнено не менее восьми приемов определений азимута, из которых не менее четырех приемов должно быть выполнено до момента изотермии. Чем больше будет приемов до захода Солнца, тем меньше будет влияние рефракции на средний результат. При благоприятных погодных условиях разрешается всю программу наблюдений выполнять только в вечерние часы до захода Солнца, причем не менее чем за два дня. Во всех остальных случаях программу наблюдений выполняют не менее чем за три дня.

2.3. Приемы определений азимута должны быть распределены более или менее равномерно на всем отрезке вечерних и ночных часов, в течение которых ведутся наблюдения на данном пункте; интервалы времени между приемами не рекомендуется допускать более 2 часов (целые сутки в расчет не принимаются). За полчаса до захода Солнца наблюдения прекращают и возобновляют их через полчаса после захода.

---

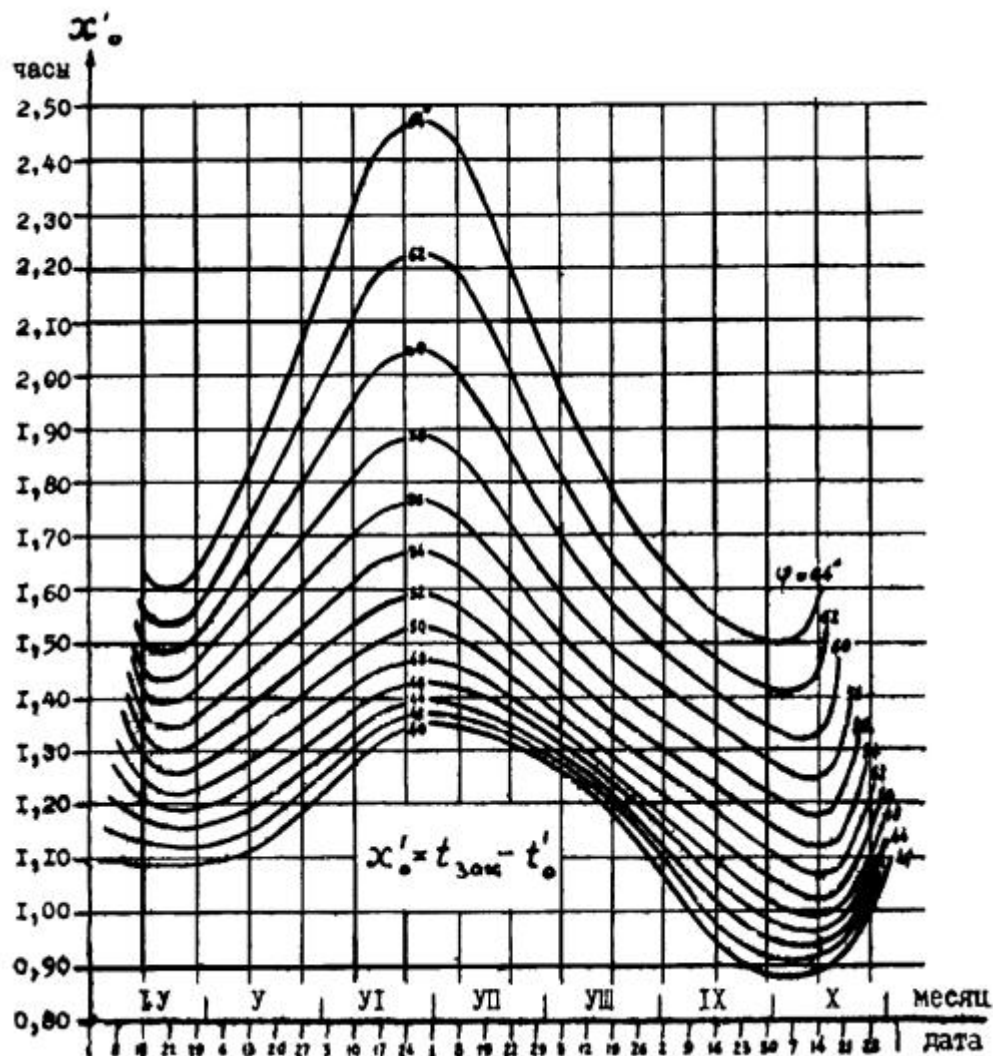


Рис. 2. Время становления вечерней изотермии воздуха на высоте 2 м над земной поверхностью, вычисленное для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°, относительно момента захода Солнца по многолетним данным

2.4. Значения азимута  $\alpha_i$  в приемах не должны отклоняться более чем на 2" в обе стороны от значений  $\bar{\alpha}_i$  параболы второго порядка (1), наилучшим образом аппроксимирующей изменение величины азимута во времени, обусловленное суточным ходом боковой рефракции, т.е.  $|\bar{\alpha}_i - \alpha_i|_{\max} = \delta_{\max} \leq 2''$

Разность между наибольшим и наименьшим значениями азимута в приемах не должна превышать 6".

2.5. Перенаблюдение значений азимута по допускам 2.4 следует начинать с приемов, не удовлетворяющих первому допуску  $\delta_{\max} \leq 2''$ . При этом повторный прием по времени его исполнения (целые сутки в расчет не принимаются) не должен отклоняться от основного более чем на  $\pm 2$  часа. В последующую обработку включают среднее из основного и повторного приемов (время наблюдений  $x_i$  также осредняют), если это среднее значение азимута отклоняется от соответствующего ему значения  $\bar{\alpha}_i$ , вычисленного по формуле (1), не более чем на 2", в противном случае в обработку берут только повторный прием (при соблюдении допуска  $\delta_{\max} \leq 2''$ ).

2.6. Для стороны, азимут которой определяют, составляют профиль местности и вычисляют эквивалентную высоту  $h$  над ней, руководствуясь указаниями п. 4.2. Если

---

эквивалентная высота больше 300 м ( $h > 300$  м), то азимут оставляют без изменений и не исправляют за рефракцию.

2.7. Для каждой даты наблюдений азимута определяют на пункте средние суточные значения: температуры  $T$ , давления  $p$ , упругости водяного пара воздуха  $e$ , общей облачности  $n$ , а также среднее альbedo  $A$  (отражательную способность) подстилающей поверхности между смежными астропунктами, руководствуясь указаниями п. 4.1.

2.8. Азимуты, определенные при снежном покрове, за рефракцию не исправляют.

2.9. Азимуты прошлых лет, не удовлетворяющие требованиям п.п. 2.2 - 2.4 и 2.6, оставляют без изменений. Азимуты, удовлетворяющие этим условиям, исправляют за влияние рефракции.

2.10. Новые азимуты определяют с учетом требований данного РТМ.

### 3. СОСТАВЛЕНИЕ СВОДКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТА

Результаты определений азимута, исполненных в соответствии с приведенными здесь требованиями, обрабатывают сначала по стандартной методике. Для каждого  $i$ -го приема наблюдений получают значение азимута  $\alpha_i$  и звездное время его определения  $s_i$ , которые записывают в сводку результатов определения азимута (табл. 1).

В целях редукции азимута к среднему моменту вечерней изотермии воздуха  $x_0$  необходимо звездное время определений азимута в приемах перевести сначала в местное среднее солнечное время  $t_i$ , а затем для каждой  $j$ -ой даты вечерних наблюдений (включая сюда и ночные наблюдения до и после полуночи) перевести его в новую систему счета относительно момента захода Солнца ( $t_{\text{зах}}$ ) в эту дату по формуле (2). В журналах азимутальных определений записывают, как правило, сдвоенные даты вечерних и ночных наблюдений азимута, например 25/26 мая. Время захода Солнца ( $t_{\text{зах}}$ ) выписывают из Астрономического ежегодника для первой даты, т.е. в данном случае для 25 мая. Для приемов, исполненных после полуночи и утром (в данном случае после 0,0 час 26 мая) время  $t_i$  при переводе его в систему  $x_i$  по формуле (2) увеличивают на 24 часа. Время  $t_i$  и  $t_{\text{зах}}$  записывают до  $1^{\text{м}}$ , а  $x_i$  - до 0,01 ч.

В целях проверки соблюдения требований, п. 2.1 - 2.5 результаты определения азимута в приемах ( $x_i, \alpha_i$ ) наносят на график, опустив при этом градусы и минуты (см. рис. 1). По оси абсцисс откладывают время  $x_i$  (1 час в 20 мм), по оси ординат - значения азимута в приемах  $\alpha_i$  (1" в 20 мм). На графике строят плавную кривую второго порядка  $\tilde{\alpha}_x$ , вычисляемую по формуле (1), коэффициенты которой  $a_k$  ( $k=0, 1, 2$ ) находят по методу наименьших квадратов, как указано в п. 5 и приложении 10.

Прежде чем приступить к вычислению коэффициентов  $a_k$  рекомендуется построить данную параболу  $\tilde{\alpha}_x$  сначала приближенно «на глаз», но так, чтобы возможно полнее соблюдались условия:  $\Sigma \delta^2 = \min$  и  $\Sigma(+\delta) = \Sigma(-\delta)$ , где  $\delta_i = \tilde{\alpha}_i - \alpha_i$ , т.е. чтобы парабола, аппроксимирующая суточный ход значений азимута, возможно ближе подходила к результатам наблюдений в приемах. На этом графике следует показать также и приближенное значение момента изотермии, приняв  $x_0 \approx -x_0'$ ; величину  $x_0'$  берут из приложения 1.

---

Таблица 1

## Сводка результатов определения азимута № 66-67

Широта пункта  $\varphi = 59^{\circ}27,0'$ Длина стороны  $S = 10,9$  км

Дата наблюдений 1968 г.	Время захода Солнца (по АЕ) $t_{\text{зах}}$	№ приемов $i$	Объект наблюдений Ф/Г	Местное время наблюдений		Время наблюдений относительно захода Солнца		Значения азимута в приемах $\alpha_i = 196^{\circ}18'$ +	$\nu$
				звездное $s_i$	среднее солнечное $t_i$	в часах и минутах $x_i$	в долях часа $x_i$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25-26/V	20 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	1	Ф	17 <sup>h</sup> 11	24 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	+4 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup>	+4,07 <sup>h</sup>	23,02"	+0,54"
26-27/V	20 53	2	Г	11 15	18 57	-1 56	-1,93	22,54	+0,06
"-		3	Г	11 30	19 12	-1 41	-1,68	22,71	+0,23
"-		4	Г	11 48	19 30	-1 23	-1,38	20,46	-2,02
"-		5	Ф	14 44	22 25	+1 32	+1,53	24,62	+2,14
"-		6	Ф	15 10	22 51	+1 58	+1,97	24,39	+1,91
"-		7	Ф	15 35	23 16	+2 23	+2,38	24,22	+1,74
"-		8	Ф	15 58	23 39	+2 46	+2,77	24,40	+1,92
29-30/V	20 58	9	Г	10 47	18 17	-2 41	-2,68	20,73	-1,75
"-		10	Г	11 45	19 15	-1 43	-1,72	21,40	-1,08
29-30/V	20 <sup>h</sup> 58 <sup>m</sup>	11	Г	12 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup>	19 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	-1 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	-1,43 <sup>h</sup>	20,00"	-2,48"
"-		12	Ф	15 20	22 49	+1 51	+1,85	24,55	+2,07
"-		13	Ф	15 42	23 11	+2 13	+2,22	23,45	+0,97
"-		14	Ф	16 09	23 38	+2 40	+2,67	21,88	-0,60
30-31/V	20 59	15	Г	11 03	18 29	-2 30	-2,50	20,74	-1,74
"-		16	Г	11 21	18 47	-2 12	-2,20	19,89	-2,59
"-		17	Г	11 57	19 23	-1 36	-1,60	20,74	-1,74
"-		18	Ф	14 41	22 06	+1 07	+1,12	24,92	+2,44
								Среднее	22,48
								$\Sigma \nu^2 =$	54,05
Среднее из приемов $\alpha = 196^{\circ}18'22,48''$ Сумма поправок, предусмотренных Инструкцией [1] <sup>*)</sup> - 3,72"						Средние квадратические ошибки азимута:			
*) За центровку прибора, редукцию цели, сближение меридианов, колебание полюса, высоту над референц-эллипсоидом, неравенство диаметров цапф. Значение азимута из наблюдений $\alpha = 196^{\circ}18'18,76''$						- из одного приема			
						$m = \sqrt{\frac{\Sigma \nu^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{54,05}{18-1}} 1,78''$			
						- из $n$ приемов			
						$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{1,78}{\sqrt{18}} = 0,42''$			

Построенный таким образом предварительный график позволит:

- проверить соблюдение требований относительно числа выполненных приемов до момента изотермии, до захода Солнца и равномерность распределения приемов на всем отрезке времени вечерних и ночных наблюдений (перерывы рекомендуются не более 2 часов, не считая целых суток);

- выявить приемы, явно не укладывающиеся в допуск  $\delta_{\text{max}} \leq 2''$  и подлежащие повторению.

Используя информацию, доставляемую данным графиком, выполняют необходимые дополнительные измерения и добиваются соблюдения всех требований п. 2.1 - 2.5 на данном этапе работ. Только лишь после этого вычисляют, как указано в п. 5, значения  $\tilde{\alpha}_i$ , аппроксимирующей параболы (1) и окончательно проверяют соблюдение допуска  $\delta_{\text{max}} \leq 2''$ ; для проверки этого допуска знание момента изотермии воздуха  $x_0$  не требуется (см. последний столбец табл. 5).

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СТАНОВЛЕНИЯ ВЕЧЕРНЕЙ ИЗОТЕРМИИ ВОЗДУХА НА ВЫСОТЕ ВИЗИРНОГО ЛУЧА

Средний за все дни определений азимута момент времени  $x_0$ , когда влияние боковой рефракции на азимут земного предмета равно или почти равно нулю, вычисляют в часах относительно момента захода Солнца по формуле

$$x_0 = -x'_0 + \varepsilon'_m + \varepsilon'_h, \quad (6)$$

где

$$x'_0 = \frac{\sum n_j x'_{0j}}{\sum n_j}, \quad (7)$$

$$\varepsilon'_m = \frac{\sum n_j \varepsilon'_{mj}}{\sum n_j}, \quad (8)$$

$$\varepsilon'_h = 1,30h[1 - (0,6976 - 0,00264\varphi)h + 0,064h^2] \quad (9)$$

В этих формулах:

$x_{0j}$  - многолетнее для  $j$ -ой даты на широте астропункта значение вечернего момента времени  $x'_0 = t_{\text{зах}} - t'_0$  перехода радиационного баланса через нуль на высоте 2 м над почвой; величины  $x'_0$  даны для каждой даты в приложении 1 и показаны на рисунке 2;

$\varepsilon'_{mj}$  - поправка, (в часах) за метеорологические условия в районе астропункта в  $j$ -ю дату определений азимута;

$\varepsilon'_h$  - поправка (в часах) на эквивалентную высоту визирного луча над местностью;

$n_j$  - число приемов определений азимута в  $j$ -й вечер, включая вечерние и ночные наблюдения (до и после полуночи);

$h$  - эквивалентная высота визирного луча над местностью, выраженная в сотнях метров ( $0 < h \leq 3$ ); при  $h > 3$  азимут не исправляют за влияние рефракции;

$\varphi$  - широта астропункта, выраженная в градусах ( $40^\circ \leq \varphi \leq 64^\circ$ ).

##### 4.1. Вычисление поправок $\varepsilon'_m$ за метеорологические условия

Поправки  $\varepsilon'_{mj}$  вычисляют в часах для каждой  $j$ -ой даты вечерних наблюдений азимута по формуле

$$\varepsilon'_{mj} = \theta \left\{ \frac{(273,2 + T)^4}{(273,2 + T_0)^4} \cdot \frac{1 - 0,026e}{1 - 0,026e_0} \cdot \frac{1 - A_0}{1 - A} \times \frac{1 - 0,42n(n+1)}{1 - 0,42n_0(n_0+1)} \cdot \frac{1 - (b + 0,38n_0)n_0}{1 - (b + 0,38n)n} - 1 \right\} \quad (10)$$

Здесь величины  $\theta$  (час) и сглаженные по широтам и датам многолетние средние суточные значения: температуры воздуха  $T_0$  ( $^\circ\text{C}$ ), упругости водяного пара воздуха  $e_0$  (в мм рт. ст.), общей облачности  $n_0$  (в долях единицы) и многолетнего альбеда местности  $A_0$  между смежными астропунктами (в долях единицы) выбирают из приложений 1 - 6 по широте астропункта и дате вечерних определений азимута. Параметр  $b$  (10) вычисляют по формулам

$$b = 0,412 - 0,002(57 - \varphi) \text{ при } 40^\circ \leq \varphi \leq 57^\circ$$

$$b = 0,412 - 0,018(\varphi - 57) \text{ при } 57^\circ \leq \varphi \leq 64^\circ, \quad (11)$$

где широта астропункта  $\varphi$  задается до  $0,1^\circ$ .

Фактические значения средних суточных величин: температуры воздуха  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ), упругости водяного пара  $e$  (мм рт. ст.) и общей облачности  $n$  (в долях единицы) запрашивают для каждой  $j$ -ой даты вечерних наблюдений азимута с ближайших к астропункту метеостанций, расположенных вокруг него по возможности в диаметрально противоположных направлениях в радиусе 1 до 50 км в закрытой и до 100 км - в открытой (степной,

полупустынной) местности. Результаты наблюдений для каждой метеостанции записывают в сводку (приложение 8); значения одноименных элементов осредняют по всем метеостанциям и средние величины подставляют в формулу (10).

При отсутствии метеостанций в районе работ (это выясняют до выезда на полевые работы) на астропункта измеряют давление воздуха  $p$  по барометру-анероиду, температуру по сухому  $T$  и смоченному  $T'$  термометрам аспирационного психометра (на высоте не ниже 2 м над почвой); определяют общую облачность  $n$  в долях единицы ( $n=0,0$  - на небе нет ни одного облака;  $n=0,5$  - небесная сфера наполовину закрыта облаками;  $n=1,0$  - пасмурно, все небо закрыто плотными облаками, без просветов). Измерения выполняют в каждую дату азимутальных определений по четыре раза в сутки: 1) в момент утренней изотермии воздуха, 2) в местный полдень, 3) в момент вечерней изотермии воздуха и 4) в местную полночь, руководствуясь указаниями приложения 9. Из четырех значений каждого элемента выводят среднее за сутки.

Упругость водяного пара воздуха  $e$  вычисляют в мм рт. ст. по формуле

$$e = E' - \frac{P}{k}(T - T'), \quad (12)$$

где давление насыщенного водяного пара  $E'$  и коэффициент  $k$  выбирают из приложения 7 по температуре  $T'$  смоченного термометра; давление  $p$  и величина  $E'$  выражены в мм ртутного столба.

Для определения средней величины альбедо местности  $A$  записывают в журнале азимутальных определений преобладающий между астропунктами вид подстилающей поверхности, например, хвойный лес, степь, тундра, снег и т.п. Затем по таблице 2 приложения 6 находят среднее альбедо  $A$ . Для тех видов подстилающей поверхности, которые не указаны в этой таблице, в формуле (10) принимают  $A = A_0$ . При наличии снежного покрова руководствуются указаниями п. 2.8. Пример вычисления поправок  $\varepsilon'_{m,j}$  дан в таблице 2.

Таблица 2

Метеорологическая информация для азимута № 66-67 и результаты вычисления поправок  $\varepsilon'_{m,j}$

Дата 1969 $j$	Число приемов $n_j$	$x'_{0,j}$ (час)	$\frac{T}{T_0}$	$\frac{e}{e_0}$	$\frac{A}{A_0}$	$\frac{n}{n_0}$	$b$	$\theta$	$\varepsilon'_{m,j}$ (час)
25.V	1	1,76	$\frac{4,2}{9,9}$	$\frac{5,7}{6,1}$	$\frac{0,12}{0,18}$	$\frac{0,30}{0,68}$	0,368	1,42	-0,087
26.V	7	1,77	$\frac{9,2}{10,1}$	$\frac{7,9}{6,1}$	$\frac{0,12}{0,18}$	$\frac{0,30}{0,68}$	0,368	1,43	-0,107
29.V	6	1,80	$\frac{4,3}{10,8}$	$\frac{5,6}{6,4}$	$\frac{0,12}{0,18}$	$\frac{0,30}{0,68}$	0,368	1,45	-0,089
30.V	4	1,82	$\frac{11,5}{11,0}$	$\frac{9,2}{6,5}$	$\frac{0,12}{0,18}$	$\frac{0,30}{0,68}$	0,368	1,47	-0,108

$$x'_0 = \frac{\sum n_j x'_{0,j}}{\sum n_j} = 1,79 \text{ час}; \quad \varepsilon'_m = \frac{\sum n_j \varepsilon'_{m,j}}{\sum n_j} = -0,10 \text{ час}$$

#### 4.2. Вычисление эквивалентной высоты визирного луча над местностью

Для вычисления поправки  $\varepsilon'_h$  за запаздывание момента времени  $t_0$  с увеличением высоты визирного луча над местностью необходимо по топографической карте М 1:100000 построить профиль местности и затем вычислить эквивалентную высоту визирного луча над ней отдельно для прямого и отдельно для обратного азимута. С этой целью начальный и конечный астропункты соединяют на карте прямой линией, которая разбивается на отдельные участки  $\Delta s_i$  по числу наиболее характерных точек излома профиля местности. Эти



точки, число которых не следует брать более 30 даже при расстояниях между астропунктами порядка 60 км, совмещают с ближайшими к ним горизонталями и нумеруют их от начального астропункта, которому присваивают нулевой номер ( $i = 0$ ), к другому астропункту на конце линии, которому присваивают номер  $i = k$ .

При помощи линейки с миллиметровыми делениями измеряют по карте до 0,1 км расстояния  $s_i$  между начальным астропунктом и каждой  $i$ -ой точкой профиля местности, включая второй астропункт. По горизонталям определяют высоты  $H_i$  каждой  $i$ -ой точки профиля местности, а также высоты начального  $H_0$  и конечного  $H_k$  астропунктов. Высоту леса и геодезических знаков не учитывают. Результаты измерений записывают в табл. 3.

Таблица 3

Информация о профиле местности для азимута № 66-67

№ точек $i$	Расстояния от начального пункта $s_i$ (км)	Высоты точек $H_i$ (м)
0	0,0	$H_0 = 130$
1	1,6	126
2	3,7	125
3	6,5	124
4	8,1	126
5	9,2	129
6	10,9	$H_k = 133$

Используя информацию о профиле местности (табл. 3), вычисляют для прямого азимута эквивалентную высоту визирного луча в метрах по формуле

$$h_{(м)} = \frac{\sum \Delta s_i p_i \bar{h}_i}{\sum \Delta s_i p_i}, \quad (13)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Delta s_i &= s_i - s_{i-1} \\ p_i &= \left(1 - \frac{d_i}{S}\right) \\ \bar{h}_i &= \frac{1}{2}(h_i + h_{i-1}) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} d_i &= \frac{1}{2}(s_i + s_{i-1}) \\ h_i &= (H_k - H_0) \frac{s_i}{S} + (H_0 - H_i) - v_i \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} v_i &= 0,067 s_i^2 && \text{при } s_i \leq \frac{S}{2} \\ v_i &= 0,067 (S - s_i)^2 && \text{при } s_i \geq \frac{S}{2} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

В формулах (13) - (16) обозначено:

$h_i$  - высота визирного луча над местностью  $i$ -ой точке на расстоянии  $s_i$  от начального астропункта;  $S$  - расстояние между астрономическими пунктами (длина стороны);

$v_i$  - поправка за кривизну Земли и рефракцию; остальные обозначения ясны из формул. В этих формулах расстояния  $s_i$ ,  $\Delta s_i$ ,  $d_i$  и  $S$  выражают в километрах, а поправки  $v_i$  и высоты  $H$ ,  $h_i$ ,  $\bar{h}_i$  - в метрах.

Пример вычисления эквивалентной высоты визирного луча по формулам (13) - (16) дан в таблице 4.

Таблица 4

Вычисление эквивалентной высоты визирного луча для азимута № 66-67

$i$	$s_i$ км	$\Delta s_i$ км	$d_i$ км	$\frac{d_i}{S}$	$p_i$	$\frac{s_i}{S}$	$(H_k - H_0) \times s_i / S$ , м	$H_0 - H_i$	$-v_i$ м	$h_i$ м	$\bar{h}_i$ м
1	1,6	1,6	0,80	0,07	0,93	0,15	0,4	4,0	-0,2	4,2	2,1
2	3,7	2,1	2,65	0,24	0,76	0,34	1,0	5,0	-1,0	5,0	4,6
3	6,5	2,8	5,10	0,47	0,58	0,60	1,8	6,0	-1,4	6,4	5,7
4	8,1	1,6	7,30	0,67	0,33	0,74	2,2	4,0	-0,5	5,7	6,0
5	9,2	1,1	8,65	0,79	0,21	0,84	2,5	1,0	-0,2	3,3	4,5
6	10,9	1,7	10,05	0,92	0,08	1,00	3,0	-3,0	0,0	0,0	1,0

$$\Sigma \Delta s_i = 10,9 = S \text{ (контроль)}$$

$$H_k - H_0 = 133 - 130 = 3 \text{ м}$$

$$h_{(м)} = \frac{\Sigma \Delta s_i p_i \bar{h}_i}{\Sigma \Delta s_i p_i} = \frac{23,3}{5,5} = 4 \text{ м}$$

Для обратного азимута эквивалентную высоту визирного луча вычисляют так же, как и для прямого по формулам (13) - (16), однако с той разницей, что в таблице 3 нумерацию точек профиля местности делают в обратной последовательности, т.е. снизу вверх, принимая второй астропункт за начальный, а первый - за конечный.

#### 4.3. Вычисление поправки $\epsilon'_h$ за высоту визирного луча над местностью

Выразив эквивалентную высоту визирного луча в сотнях метров

$$h = 0,01 h_{(м)} \quad (17)$$

и взяв широту астропункта с точностью до  $0,1^\circ$ , вычислим по формуле (9) поправку  $\epsilon'_h$  за запаздывание момента изотермии с ростом высоты элементарного слоя воздуха над земной поверхностью. Для рассматриваемого азимута № 66-67 широта начального астропункта  $\varphi = 59,4^\circ$ ; эквивалентная высота визирного луча, выраженная в сотнях метров,  $h = 0,04$ . С этими данными по формуле (9) получим:

$$\epsilon'_h = 1,30h[1 - (0,6976 - 0,00264\varphi)h + 0,064h^2] = 0,05 \text{ часа}$$

#### 4.4. Вычисление среднего момента вечерней изотермии воздуха для азимута № 66-67

Искомый момент времени  $x_0$  вычисляют по формуле

$$x_0 = -x'_0 + \epsilon'_m + \epsilon'_h.$$

Подставив в эту формулу найденные выше значения входящих в нее величин, получим

$$x_0 = -1,79 - 0,10 + 0,05 = -1,84 \text{ часа.}$$

### 5. ВЫЧИСЛЕНИЕ АЗИМУТА, ИСПРАВЛЕННОГО ЗА ВЛИЯНИЕ РЕФРАКЦИИ

Для вычисления по формуле (3) значения азимута  $\bar{\alpha}_0$ , приведенного к моменту изотермии, кроме момента времени  $x_0$ , необходимо определить коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ . С этой целью для всех значений азимута  $\alpha_i$  в приемах, измеренных в моменты времени  $x_i$ , составляют уравнения поправок

$$\delta_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 - l_i \quad (18)$$

где свободные члены равны

$$l_i = \alpha_i - \alpha', \quad (19)$$

$\alpha'$  - приближенное значение азимута, округленное до целого десятка секунд.

От уравнений поправок (18) переходят к системе нормальных уравнений, которые в матричной форме имеют вид

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum l_i \\ \sum x_i l_i \\ \sum x_i^2 l_i \end{pmatrix} \quad (20)$$

или более кратко

$$XA = L, \quad (21)$$

где

$$X = \begin{pmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{pmatrix}; \quad A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}; \quad L = \begin{pmatrix} \sum l_i \\ \sum x_i l_i \\ \sum x_i^2 l_i \end{pmatrix};$$

$n$  - число приемов,  $i$  - номер приема ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Умножив обе части уравнения (21) слева на матрицу  $\theta = X^{-1}$ , обратную к матрице  $X$  коэффициентов нормальных уравнений, найдем вектор  $A$  искомым коэффициентов  $a_k$  ( $k = 0, 1, 2$ ):

$$A = X^{-1}L = QL, \quad (22)$$

где матрица  $Q$  весовых коэффициентов равна

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Окончательную величину азимута  $\alpha_0$ , исправленного за влияние рефракции, вычисляют с учетом всех поправок по формуле

$$\alpha_0 = \tilde{\alpha}_0 + \Sigma \Delta, \quad (24)$$

где

$$\tilde{\alpha}_0 = \alpha' + a_0 + a_1 x_0 + a_2 x_0^2. \quad (25)$$

$\alpha'$  - приближенное значение азимута, округленное до целого десятка секунд,  $x_0$  - момент изотермии воздуха,  $a_k$  ( $k = 0, 1, 2$ ) - коэффициенты, вычисляемые по формуле (22);  $\Sigma \Delta$  - сумма всех поправок в азимут, предусмотренных Инструкцией [1].

Среднюю квадратическую ошибку определения азимута  $\alpha_0$  вычисляют по формуле

$$m_{\alpha_0} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha_0}}}, \quad (26)$$

где средняя квадратическая ошибка единицы веса равна

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-3}} \quad (27)$$

Обратный вес определения азимута вычисляют по формуле

$$\frac{1}{P_{\alpha_0}} = Q_{11} + 2Q_{12}x_0 + (Q_{22} + 2Q_{13})x_0^2 + 2Q_{23}x_0^3 + Q_{33}x_0^4 \quad (28)$$

или, что все равно, по формуле

$$\frac{1}{P_{\alpha_0}} = f^* Q' \quad (29)$$

где  $f^* = (1 \ x_0 \ x_0^2)$  - транспонированный по отношению к  $f$  вектор-строка коэффициентов при определяемых величинах  $a_0, a_1, a_2$  аппроксимирующей параболы (1);  $Q_{ij}$  - элементы матрицы  $\theta$  весовых коэффициентов (23);  $x_0$  - средний для азимута момент изотермии воздуха, когда влияние боковой рефракции равно или почти равно нулю.

В формуле (27)  $n$  - число приемов,  $i = 1, 2, \dots, n$  - их номера,  $\delta_i = \bar{\alpha}_i - \alpha_i$  - разность вычисленного по формуле (1) и измеренного значений азимута в приеме.

Для последующей обработки результатов определений конкретного азимута № 66-67 выписывают из сводки (табл. 1) время и значения азимута в приемах ( $x_i, \alpha_i$ ) и составляют таблицу 5, в которой по формуле (19) вычисляют свободные члены уравнений поправок (18). В верхней части этой таблицы приведено значение момента изотермии  $x_0$ , приближенное значение азимута  $\alpha'$  и сумма поправок в азимут  $\Sigma\Delta$ .

Таблица 5

Результаты наблюдений и предварительных вычислений азимута № 66-67

$x_0 = -1,84$  ч

$\alpha' = 196^\circ 18' 10''$

$\Sigma\Delta = -3,72''$

Приемы	Результаты наблюдений		Предварительные вычисления		
	$x_i$ , час	$\alpha_i$	$l_i = \alpha_i - \alpha'$	$\bar{\alpha}_i$	$\delta_i = \bar{\alpha}_i - \alpha_i$
1	2	3	4	5	6
1	+4,07	23,02"	13,02"	23,07"	+0,05"
2	-1,93	22,54	12,54	21,15	-1,39
3	-1,68	22,71	12,71	21,50	-1,21
4	-1,38	20,46	10,46	21,90	+1,44
5	+1,53	24,62	14,62	23,93	-0,69
6	+1,97	24,39	14,39	23,96	-0,43
7	+2,38	24,22	14,22	23,91	-0,31
8	+2,77	24,40	14,40	23,82	-0,58
9	-2,68	20,73	10,73	19,94	-0,79
10	-1,72	21,40	11,40	21,45	+0,05
Н	-1,43	20,00	10,00	21,83	+1,83
12	+1,85	24,55	14,55	23,96	-0,59
13	+2,22	23,45	13,45	23,94	+0,49
14	+2,67	21,88	11,88	23,85	+1,97
15	-2,50	20,74	10,74	20,25	-0,49
16	-2,20	19,89	9,89	20,74	+0,85
17	-1,60	20,74	10,74	21,61	+0,87
18	+1,12	24,92	14,92	23,84	-1,08
				$\Sigma(+\delta)$	7,55
				$\Sigma(-\delta)$	7,56
				$\Sigma\delta^2$	17,90

По данным, которые записаны в 2, 3 и 4 графах таблицы 5, вычисляют коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений (20). В итоге получают следующую систему нормальных уравнений.

$$\begin{pmatrix} 18,00 & 3,47 & 87,11 \\ 3,47 & 87,11 & 78,99 \\ 87,11 & 78,99 & 633,12 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 224,66 \\ 94,32 \\ 1092,12 \end{pmatrix} \quad (30)$$

В полевых условиях нормальные уравнения (30) решают по схеме Гаусса (см. приложение 10) и находят неизвестные коэффициенты  $a_k$  ( $k = 0, 1, 2$ ):

$$\begin{aligned} a_0 &= 13,2638 \\ a_1 &= 0,7273 \\ a_2 &= -0,1907 \end{aligned} \quad (31)$$

Элементы  $Q_{ij}$  весовой матрицы  $Q$  вычисляют на ЭВМ. Для азимута № 66-67 матрица  $Q$  имеет вид

$$Q = \begin{pmatrix} 0,188 & 0,018 & -0,028 \\ 0,018 & 0,015 & -0,004 \\ -0,028 & -0,004 & 0,006 \end{pmatrix} \quad (32)$$

Прежде чем вычислить по формуле (3) значение азимута  $\tilde{\alpha}_0$ , приведенного к моменту изотермии  $x_0$ , необходимо убедиться еще раз в соблюдении требований п. 2.1 - 2.8, предъявляемых к условиям и результатам определения азимута.

Для азимута № 66-67 имеем: широту  $40 < \varphi = 59^\circ 57' < 64^\circ$ , долготу  $30 < \lambda < 130^\circ$  и эквивалентную высоту визирного луча  $h = 4 \text{ м} < 300 \text{ м}$ ; до момента изотермии  $x_0$  выполнено четыре приема, до захода Солнца - 8, что и требуется; перерывы времени наблюдений между приемами, с учетом исключения целых суток и часового перерыва при заходе Солнца, не превышают двух часов (см. рис. 1); разница между наибольшим и наименьшим значениями азимута в приемах равна  $5,0''$  при допуске  $6''$ ; снежный покров отсутствует.

Остается проверить соблюдение допуска  $\delta_{\max} \leq 2''$ . С этой целью в таблице 5 по формуле (1) вычисляют сглаженные за суточный ход рефракции значения азимута  $\tilde{\alpha}_i$  (графа 5) и находят разности  $\delta_i = \tilde{\alpha}_i - \alpha_i$  (графа 6). Из этой таблицы видно, что наибольшая разность  $\delta_{14} = 1,97'' < \delta_{\max} = 2''$ . Таким образом, для азимута № 66-67 требования п. 2.1 - 2.8 полностью выполнены.

Подставив в формулу (24) значения входящих в нее величин, вычисленных для азимута № 66-67, найдем исправленное за рефракцию окончательное значение этого азимута;

$$\alpha_0 = \alpha' + a_0 + a_1 x_0 + a_2 x_0^2 + \Sigma \Delta = 198^\circ 18' 10'' + 11,28'' - 3,72'' = 198^\circ 18' 17,56''.$$

Средняя квадратическая ошибка единицы веса равна

$$\mu = \sqrt{\frac{\Sigma \delta^2}{n-3}} = \sqrt{\frac{17,90}{18-3}} = 1,09''.$$

Подставив в формулу (28) значения соответствующих элементов  $Q_{ij}$  матрицы (32), вычислим при  $x_0 = -1,84$  час обратный вес определения азимута  $\alpha_0$ :

$$\frac{1}{P_{\text{оч}}} = 0,188 + 2 \times 0,018(-1,84) + 0,015 - 2 \times 0,028(-1,84)^2 + 2(-0,004)(-1,84)^3 + 0,006(-1,84)^4 = 0,102.$$

По формуле (26) вычислим среднюю квадратическую ошибку азимута  $\alpha_0$ , исправленного за влияние рефракции,

$$m_{\alpha_0} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\text{оч}}}} = 1,09 \sqrt{0,102} = 0,35''.$$

После учета рефракции азимут направления  $\alpha = 196^\circ 18' 18,76''$ , вычисленный традиционным способом (табл. 1), уменьшился на  $1,20''$  и принял более точное значение  $\alpha_0 = 196^\circ 18' 17,56''$ .

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### **Приложения 1 - 7: МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ для вычисления времени становления вечерней изотермии воздуха на территории между $40 - 64^\circ$ северной широты и $30 - 130^\circ$ восточной долготы**

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Многолетние значения величины  $x'_{0j} = t_{\text{зах}} - t'_0$  (час) для широт  $40 - 64^\circ$  и долгот  $30 - 130^\circ$**

Дата, j	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	$64^\circ$
Апрель 6	1,09	1,15	1,21	1,28									
10	1,09	1,14	1,19	1,25	1,30	1,36	1,42						
14	1,09	1,13	1,18	1,22	1,25	1,31	1,36	1,39	1,43	1,47	1,52	1,58	1,65
18	1,09	1,13	1,16	1,20	1,23	1,27	1,31	1,35	1,39	1,43	1,49	1,54	1,61
22	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,30	1,34	1,39	1,43	1,48	1,54	1,60
26	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,31	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,61
30	1,09	1,12	1,16	1,20	1,23	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,53	1,58	1,65
Май 4	1,09	1,13	1,17	1,20	1,24	1,29	1,34	1,39	1,45	1,50	1,56	1,62	1,69
8	1,10	1,14	1,18	1,22	1,26	1,31	1,36	1,42	1,48	1,54	1,60	1,67	1,75
12	1,11	1,15	1,19	1,23	1,28	1,33	1,38	1,44	1,51	1,57	1,65	1,72	1,80
16	1,12	1,16	1,21	1,25	1,29	1,35	1,40	1,46	1,53	1,60	1,69	1,77	1,87
20	1,14	1,18	1,22	1,27	1,31	1,37	1,42	1,49	1,56	1,64	1,73	1,82	1,94
24	1,17	1,20	1,24	1,29	1,33	1,39	1,44	1,51	1,58	1,67	1,77	1,88	2,02
28	1,19	1,23	1,26	1,30	1,35	1,41	1,46	1,53	1,61	1,70	1,81	1,93	2,08
Июнь 1	1,22	1,26	1,29	1,33	1,37	1,43	1,49	1,56	1,64	1,73	1,85	1,98	2,16
5	1,25	1,28	1,31	1,35	1,40	1,45	1,51	1,59	1,67	1,77	1,90	2,04	2,24
9	1,27	1,30	1,33	1,37	1,42	1,47	1,53	1,61	1,70	1,80	1,94	2,10	2,30
13	1,29	1,32	1,35	1,39	1,44	1,49	1,55	1,63	1,72	1,83	1,98	2,15	2,36
17	1,32	1,34	1,37	1,40	1,45	1,51	1,57	1,65	1,74	1,86	2,01	2,18	2,42
21	1,33	1,36	1,38	1,42	1,46	1,52	1,58	1,66	1,75	1,87	2,03	2,21	2,45
25	1,34	1,37	1,39	1,43	1,46	1,52	1,59	1,67	1,76	1,88	2,04	2,22	2,46
29	1,34	1,37	1,39	1,43	1,46	1,53	1,59	1,67	1,76	1,88	2,04	2,22	2,47
Июль 3	1,35	1,37	1,39	1,43	1,46	1,52	1,58	1,66	1,75	1,88	2,03	2,22	2,46
7	1,34	1,36	1,39	1,42	1,46	1,51	1,57	1,65	1,74	1,86	2,01	2,20	2,44
11	1,34	1,36	1,38	1,41	1,45	1,50	1,55	1,63	1,71	1,83	1,98	2,16	2,40
15	1,33	1,35	1,37	1,40	1,43	1,48	1,53	1,60	1,68	1,79	1,93	2,11	2,32
19	1,32	1,34	1,36	1,39	1,42	1,46	1,51	1,57	1,65	1,75	1,89	2,05	2,25
23	1,31	1,33	1,34	1,37	1,40	1,43	1,48	1,54	1,62	1,71	1,84	1,99	2,18
27	1,30	1,32	1,33	1,36	1,38	1,41	1,46	1,52	1,59	1,68	1,79	1,93	2,12
31	1,28	1,30	1,31	1,34	1,36	1,39	1,43	1,49	1,56	1,64	1,75	1,88	2,05
Август 4	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,37	1,41	1,46	1,52	1,60	1,70	1,82	1,98
8	1,24	1,26	1,28	1,30	1,32	1,35	1,39	1,44	1,50	1,57	1,67	1,78	1,93
12	1,23	1,24	1,26	1,28	1,30	1,33	1,37	1,41	1,47	1,54	1,63	1,73	1,87
16	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,31	1,34	1,39	1,44	1,51	1,59	1,68	1,82

Дата, j	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
20	1,18	1,20	1,22	1,24	1,25	1,29	1,32	1,37	1,42	1,49	1,57	1,65	1,78
24	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,27	1,31	1,34	1,40	1,46	1,54	1,62	1,73
28	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21	1,25	1,29	1,33	1,39	1,45	1,52	1,60	1,70
Сентябрь 1	1,08	1,11	1,13	1,16	1,18	1,22	1,26	1,30	1,36	1,42	1,48	1,56	1,65
5	1,04	1,07	1,10	2,13	1,16	1,20	1,24	1,28	1,34	1,40	1,46	1,53	1,62
9	1,00	1,04	1,07	1,11	1,14	1,18	1,22	1,27	1,32	1,38	1,44	1,51	1,60
13	0,97	1,00	1,04	1,08	1,11	1,16	1,20	1,25	1,30	1,36	1,42	1,49	1,57
17	0,94	0,98	1,02	1,05	1,09	1,14	1,18	1,23	1,28	1,34	1,40	1,47	1,55
21	0,92	0,95	0,99	1,03	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26	1,32	1,38	1,45	1,53
25	0,90	6,93	0,97	1,00	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24	1,31	1,36	1,43	1,51
29	0,89	0,92	0,96	0,99	1,02	1,07	1,12	1,17	1,23	1,29	1,35	1,42	1,51
Октябрь 3	0,88	0,91	0,94	0,98	1,01	1,05	1,10	1,16	1,21	1,27	1,33	1,41	1,50
7	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08	1,14	1,19	1,25	1,32	1,41	1,51
11	0,88	0,91	0,94	0,96	0,99	1,02	1,07	1,12	1,18	1,25	1,32	1,42	1,53
15	0,90	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,07	1,12	1,18	1,25	1,34	1,47	
19	0,91	0,93	0,95	0,38	1,00	1,04	1,08	1,13	1,20	1,28	1,43		
23	0,94	0,96	0,98	1,01	1,03	1,07	1,13	1,19	1,28	1,40			
27	0,98	1,01	1,03	1,06	1,09	1,14	1,20	1,28					
31	1,06	1,09	1,12	1,14	1,16								

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Величины $\theta$ (час) для вечернего периода суток для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
Апрель 6	1,06	1,05	1,09	1,18									
10	1,04	1,04	1,08	1,14	1,17	1,23	1,30						
14	1,02	1,03	1,07	1,10	1,13	1,18	1,25						
18	0,99	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12	1,19	1,20	1,25	1,27	1,30	1,33	1,37
22	0,99	1,01	1,04	1,07	1,08	1,12	1,18	1,20	1,24	1,27	1,30	1,32	1,37
26	0,98	1,00	1,03	1,06	1,08	1,11	1,16	1,20	1,23	1,26	1,29	1,31	1,37
30	0,98	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,18	1,20	1,34	1,28	1,30	1,33	1,37
Май 4	0,98	1,00	1,03	1,05	1,09	1,13	1,19	1,21	1,26	1,29	1,31	1,34	1,37
8	0,99	1,01	1,04	1,06	1,10	1,14	1,20	1,23	1,27	1,31	1,34	1,37	1,39
12	0,99	1,02	1,05	1,07	1,12	1,15	1,21	1,25	1,28	1,32	1,37	1,40	1,41
16	1,00	1,04	1,06	1,09	1,13	1,17	1,21	1,26	1,30	1,34	1,39	1,42	1,45
20	1,01	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,21	1,28	1,32	1,36	1,41	1,44	1,48
24	1,03	1,06	1,10	1,12	1,16	1,19	1,24	1,29	1,34	1,37	1,43	1,46	1,50
28	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20	1,26	1,29	1,35	1,38	1,45	1,48	1,52
Июнь 1	1,09	1,11	1,13	1,16	1,19	1,33	1,26	1,31	1,36	1,42	1,48	1,51	1,55
5	1,10	1,13	1,15	1,18	1,21	1,25	1,28	1,33	1,38	1,43	1,50	1,54	1,57
9	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22	1,26	1,29	1,34	1,40	1,44	1,52	1,56	1,59
13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,24	1,28	1,32	1,36	1,42	1,47	1,54	1,58	1,61
17	1,18	1,19	1,21	1,23	1,26	1,29	1,34	1,38	1,43	1,49	1,57	1,61	1,63
21	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,30	1,35	1,40	1,44	1,51	1,58	1,63	1,65
25	1,20	1,21	1,23	1,25	1,27	1,32	1,36	1,41	1,45	1,52	1,59	1,65	1,67
29	1,21	1,22	1,24	1,25	1,28	1,32	1,36	1,41	1,46	1,53	1,60	1,67	1,70
Июль 3	1,22	1,33	1,24	1,26	1,29	1,32	1,37	1,42	1,48	1,54	1,61	1,69	1,72
7	1,22	1,23	1,24	1,26	1,29	1,32	1,36	1,41	1,47	1,53	1,61	1,69	1,74
11	1,21	1,23	1,24	1,26	1,29	1,32	1,36	1,40	1,46	1,52	1,61	1,68	1,76
15	1,21	1,22	1,23	1,26	1,28	1,31	1,34	1,39	1,43	1,51	1,58	1,67	1,75
19	1,21	1,22	1,22	1,25	1,26	1,30	1,33	1,38	1,41	1,49	1,56	1,65	1,73
23	1,20	1,21	1,22	1,25	1,25	1,28	1,32	1,36	1,39	1,47	1,54	1,63	1,72
27	1,20	1,21	1,22	1,25	1,25	1,27	1,31	1,35	1,37	1,44	1,52	1,61	1,70
31	1,18	1,20	1,21	1,24	1,24	1,26	1,29	1,33	1,36	1,42	1,49	1,58	1,69
Август 4	1,17	1,19	1,20	1,23	1,24	1,25	1,27	1,30	1,34	1,40	1,47	1,56	1,66
8	1,16	1,18	1,19	1,22	1,23	1,24	1,26	1,29	1,34	1,38	1,46	1,54	1,65
12	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,23	1,25	1,28	1,33	1,37	1,45	1,52	1,63
16	1,13	1,15	1,17	1,18	1,20	1,23	1,23	1,27	1,32	1,36	1,43	1,51	1,60
20	1,11	1,13	1,16	1,16	1,19	1,22	1,22	1,26	1,31	1,36	1,42	1,50	1,56
24	1,09	1,12	1,14	1,15	1,17	1,21	1,21	1,25	1,29	1,35	1,41	1,48	1,55

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
28	1,07	1,10	1,12	1,14	1,16	1,20	1,20	1,23	1,28	1,35	1,41	1,47	1,55
Сентябрь 1	1,04	1,06	1,08	1,12	1,13	1,17	1,18	1,22	1,27	1,33	1,39	1,45	1,54
5	1,00	1,03	1,06	1,10	1,12	1,16	1,17	1,21	1,26	1,32	1,38	1,44	1,52
9	0,96	1,00	1,04	1,08	1,11	1,16	1,16	1,20	1,26	1,31	1,37	1,43	1,50
13	0,94	0,98	1,01	1,05	1,09	1,13	1,14	1,19	1,24	1,30	1,36	1,41	1,49
17	0,92	0,95	0,98	1,03	1,07	1,11	1,12	1,18	1,23	1,30	1,35	1,39	1,48
21	0,89	0,93	0,96	1,01	1,05	1,10	1,11	1,16	1,22	1,28	1,34	1,40	1,49
25	0,88	0,91	0,94	0,98	1,04	1,08	1,10	1,15	1,20	1,27	1,33	1,42	1,50
29	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,08	1,14	1,19	1,26	1,33	1,42	1,51
Октябрь 3	0,86	0,89	0,93	0,96	1,00	1,04	1,06	1,13	1,18	1,25	1,33	1,42	1,52
7	0,85	0,89	0,92	0,96	0,99	1,03	1,05	1,11	1,17	1,25	1,33	1,43	1,56
11	0,85	0,89	0,92	0,95	0,98	1,02	1,04	1,09	1,16	1,24	1,34	1,45	1,59
15	0,87	0,90	0,93	0,96	1,00	1,02	1,05	1,10	1,18	1,27	1,37		
19	0,88	0,92	0,93	0,97	1,03	1,03	1,06	1,12	1,20	1,29	1,49		
23	0,92	0,96	0,98	1,02	1,02	1,10	1,13	1,20					
27	0,96	1,00	1,03	1,06	1,10	1,16	1,20	1,29					
31	1,05	1,10	1,13	1,15	1,18								

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Многолетняя средняя суточная температура воздуха $T_0$ (°C) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
Апрель 2	10,4	9,1	7,7	6,3	4,7	3,1	1,3	-0,4	-2,3	-4,4	-6,4	-8,9	-11,4
6	11,3	10,1	8,7	7,3	5,8	4,3	2,5	0,8	-1,0	-3,0	-5,0	-7,4	-9,9
10	12,2	11,0	9,7	8,3	6,9	5,4	3,7	2,1	0,3	-1,6	-3,7	-5,9	-8,4
14	13,1	12,0	10,6	9,3	7,9	6,5	4,9	3,3	1,5	-0,4	-2,4	-4,6	-6,9
18	14,0	12,9	11,6	10,3	8,9	7,6	6,0	4,5	2,8	0,9	-1,0	-3,2	-5,5
22	14,8	13,7	12,5	11,2	9,9	8,6	7,1	5,6	4,0	2,1	0,2	-1,8	-4,1
26	15,6	14,6	13,4	12,2	11,0	9,7	8,2	6,7	5,1	3,3	1,5	-0,5	-2,7
30	16,4	15,4	14,3	13,1	11,9	10,7	9,2	7,8	6,3	4,5	2,7	0,8	-1,3
Май 4	17,3	16,2	15,1	14,0	12,8	11,6	10,2	8,8	7,4	5,7	3,9	2,0	0,0
8	18,0	17,0	16,0	14,9	13,7	12,5	11,2	9,8	8,4	6,8	5,1	3,2	1,4
12	18,8	17,8	16,8	15,7	14,6	13,4	12,2	10,8	9,4	7,8	6,2	4,4	2,6
16	19,5	18,5	17,6	16,5	15,4	14,2	13,0	11,7	10,4	8,8	7,3	5,6	3,9
20	20,1	19,2	18,3	17,2	16,2	15,0	13,8	12,6	11,3	9,8	8,3	6,7	5,1
24	20,8	19,9	19,0	17,9	16,9	15,7	14,6	13,3	12,1	10,8	9,3	7,8	6,3
28	21,4	20,5	19,6	18,6	17,6	16,5	15,3	14,1	12,9	11,6	10,2	8,8	7,4
Июнь 1	22,0	21,1	20,2	19,2	18,2	17,1	16,0	14,8	13,6	12,4	11,1	9,8	8,5
5	22,6	21,6	20,8	19,8	18,8	17,7	16,6	15,5	14,3	13,2	12,0	10,7	9,5
9	23,1	22,2	21,3	20,3	19,4	18,3	17,2	16,1	15,0	14,0	12,7	11,6	10,5
13	23,6	22,6	21,8	20,8	19,9	18,8	17,7	16,7	15,6	14,6	13,4	12,4	11,3
17	24,0	23,1	22,3	21,2	20,4	19,3	18,3	17,3	16,2	15,2	14,1	13,1	12,1
21	24,3	23,5	22,6	21,6	20,8	19,8	18,8	17,8	16,7	15,8	14,7	13,7	12,8
25	24,7	23,9	23,0	22,0	21,2	20,2	19,2	18,2	17,2	16,3	15,3	14,4	13,5
29	25,0	24,2	23,3	22,4	21,5	20,5	19,6	18,6	17,6	16,7	15,8	14,9	14,1
Июль 3	25,2	24,4	23,6	22,6	21,8	20,8	19,9	18,9	18,0	17,1	16,2	15,3	14,6
7	25,5	24,6	23,8	22,9	22,0	21,1	20,2	19,2	18,3	17,4	16,5	15,7	15,0
11	25,7	24,8	23,9	23,1	22,2	21,3	20,4	19,4	18,5	17,6	16,7	15,9	15,2
15	25,9	25,0	24,1	23,2	22,3	21,4	20,5	19,5	18,6	17,7	16,9	16,1	15,4
19	26,0	25,0	24,1	23,2	22,3	21,4	20,5	19,5	18,6	17,7	16,9	16,1	15,4
23	25,9	25,0	24,1	23,2	22,2	21,4	20,4	19,4	18,5	17,6	16,8	16,0	15,2
27	25,8	24,9	24,0	23,2	22,1	21,3	20,3	19,3	18,4	17,5	16,6	15,7	14,9
31	25,7	24,7	23,8	23,0	21,9	21,1	20,1	19,1	18,1	17,2	16,3	15,4	14,5
Август 4	25,4	24,5	23,5	22,7	21,7	20,8	19,8	18,8	17,8	16,9	15,9	14,9	14,0
8	25,1	24,2	23,3	22,4	21,4	20,4	19,4	18,4	17,4	16,4	15,4	14,4	13,4
12	24,8	23,8	22,9	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	16,9	15,9	14,8	13,8	12,8
16	24,3	23,3	22,4	21,5	20,5	19,5	18,5	17,4	16,3	15,3	14,2	13,2	12,1
20	23,7	22,7	21,9	21,0	20,0	18,3	17,9	16,8	15,7	14,7	13,5	12,5	11,4



Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
24	23,1	22,2	21,3	20,3	19,3	18,2	17,2	16,1	15,0	13,9	12,8	11,7	10,7
28	22,4	21,5	20,6	19,6	18,6	17,5	16,5	15,4	14,2	13,1	11,9	10,8	9,6
Сентябрь 1	21,8	20,9	19,9	18,9	17,9	16,7	15,7	14,6	13,4	12,2	11,1	9,9	8,8
5	21,0	20,1	19,1	18,1	17,1	15,9	14,9	13,7	12,6	11,4	10,1	9,0	7,8
9	21,3	19,4	18,4	17,3	16,3	15,1	14,0	12,9	11,6	10,4	9,2	7,9	6,8
13	19,6	18,6	17,6	16,5	15,4	14,2	13,1	11,9	10,7	9,4	8,1	6,8	5,6
17	18,8	17,8	16,7	15,6	14,6	13,3	12,1	11,0	9,6	8,3	7,1	5,6	4,4
21	18,0	17,0	15,9	14,8	13,6	12,3	11,1	9,9	8,5	7,2	5,9	4,4	3,1
25	17,3	16,2	15,0	13,9	12,7	11,4	10,1	8,9	7,5	6,0	4,7	3,1	1,8
29	16,5	15,4	14,2	13,0	11,8	10,4	9,2	7,9	6,4	4,9	3,5	1,8	0,3
Октябрь 3	15,7	14,6	13,4	12,1	10,9	9,5	8,2	6,8	5,3	3,7	2,3	0,5	-1,1
7	15,0	13,8	12,5	11,2	9,9	8,5	7,2	5,7	4,1	2,5	1,0	-0,9	-2,6
11	14,2	13,0	11,7	10,4	9,0	7,6	6,2	4,7	3,0	1,3	-0,3	-2,3	-4,2
15	13,3	12,1	10,8	9,5	8,1	6,7	5,2	3,6	1,9	0,1	-1,8	-3,7	-5,8
19	12,6	11,4	10,0	8,6	7,2	5,7	4,2	2,5	0,7	-1,2	-3,2	-5,3	-7,5
23	11,8	10,5	9,3	7,7	6,2	4,7	3,1	1,3	-0,6	-2,5	-4,6	-6,9	-9,4
27	11,0	9,7	8,3	6,8	5,3	3,7	2,0	0,1	-1,9	-3,9	-6,1	-8,5	-11,2
31	10,2	8,9	7,5	6,0	4,3	2,7	1,0	-1,0	-3,1	-5,3	-7,7	-10,1	-13,1
Ноябрь 4	9,4	8,1	6,6	5,1	3,4	1,7	-0,1	-2,2	-4,3	-6,6	-9,2	-11,9	-14,9
8	8,7	7,3	5,8	4,2	2,5	0,7	-1,2	-3,4	-5,5	-8,0	-10,7	-13,6	-16,9
12	7,9	6,5	5,0	3,4	1,5	-0,3	-2,3	-6,8	-6,8	-9,4	-12,3	-15,3	-18,8

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Многолетняя упругость водяного пара воздуха  $e_0$  (мм рт. ст.) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
Апрель 2	6,6	6,2	5,9	5,4	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,6	2,1	1,6	1,2
6	6,9	6,5	6,2	5,7	5,2	4,7	4,2	3,7	3,2	2,8	2,3	1,8	1,3
10	7,2	6,8	6,4	5,9	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
14	7,4	7,0	6,6	6,2	5,8	5,3	4,8	4,2	3,7	3,2	2,7	2,2	1,7
18	7,7	7,3	6,9	6,4	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,3	3,0	2,5	2,0
22	7,9	7,6	7,2	6,7	6,3	5,8	5,3	4,8	4,3	3,8	3,2	2,7	2,2
26	8,2	7,8	7,4	7,0	6,5	6,0	5,6	5,1	4,6	4,0	3,5	2,9	2,4
30	8,4	8,1	7,7	7,2	6,8	6,3	5,9	5,4	4,9	4,3	3,8	3,2	2,7
Май 4	8,7	8,4	8,0	7,5	7,1	6,6	6,2	5,7	5,2	4,6	4,1	3,5	2,9
8	8,9	8,6	8,2	7,8	7,4	6,9	6,5	6,0	5,5	5,0	4,4	3,8	3,2
12	9,1	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,3	5,6	5,3	4,7	4,1	3,5
16	9,3	9,0	8,7	8,3	7,9	7,5	7,1	6,7	6,2	5,6	5,1	4,5	3,8
20	9,6	9,2	8,9	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,5	6,0	5,5	4,9	4,2
24	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,4	5,9	5,3	4,7
28	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,3	8,0	7,6	7,2	6,7	6,2	5,7	5,1
Июнь 1	10,1	9,8	9,6	9,3	9,0	8,6	8,3	7,9	7,5	7,0	6,6	6,1	5,6
5	10,3	10,0	9,8	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3	7,8	7,4	7,0	6,5	6,0
9	10,5	10,2	10,0	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,8	7,4	6,9	6,5
13	10,7	10,4	10,2	9,9	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9
17	10,8	10,6	10,3	10,1	9,9	9,6	9,4	9,1	8,8	8,4	8,1	7,7	7,3
21	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	9,9	9,6	9,4	9,1	8,7	8,4	8,0	7,6
25	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	10,1	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,3	8,0
29	11,3	11,1	10,9	10,7	10,6	10,3	10,1	9,9	9,6	9,3	9,0	8,6	8,3
Июль 3	11,4	11,2	11,0	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,9	9,6	9,3	8,9	8,3
7	11,5	11,3	11,2	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,8	9,5	9,2	8,8
11	11,6	11,4	11,3	11,2	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,0	9,7	9,4	9,1
15	11,7	11,6	11,5	11,3	11,3	11,0	10,9	10,7	10,5	10,2	9,9	9,6	9,3
19	11,8	11,6	11,5	11,4	11,3	11,1	10,9	10,7	10,6	10,4	10,0	9,7	9,4
23	11,8	11,6	11,5	11,4	11,3	11,2	11,0	10,8	10,6	10,4	10,1	9,8	9,5
27	11,8	11,6	11,5	11,4	11,3	11,1	11,0	10,8	10,6	10,3	10,0	9,7	9,4
31	11,8	11,6	11,5	11,3	11,2	11,0	10,9	10,7	10,5	10,2	10,0	9,6	9,3
Август 4	11,7	11,6	11,4	11,2	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,0	9,8	9,4	9,1

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
8	11,6	11,4	11,2	11,1	10,9	10,7	10,6	10,4	10,1	9,8	9,5	9,2	8,8
12	11,4	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9	8,5
16	11,2	11,1	10,9	10,7	10,5	10,2	10,0	9,8	9,5	9,2	9,0	8,6	8,2
20	11,0	10,8	10,6	10,4	10,2	9,9	9,7	9,4	9,1	8,9	8,6	8,2	7,8
24	10,7	10,5	10,3	10,1	9,8	9,6	9,3	9,1	8,8	8,5	8,2	7,8	7,5
28	10,4	10,2	10,0	9,7	9,5	9,3	9,0	8,7	8,4	8,1	7,8	7,4	7,1
Сентябрь 1	10,1	9,8	9,6	9,4	9,1	8,9	8,6	8,3	8,1	7,8	7,4	7,1	6,8
5	9,7	9,5	9,3	9,0	8,8	8,5	8,2	7,9	7,7	7,4	7,0	6,7	6,3
9	9,4	9,2	8,9	8,7	8,4	8,2	7,9	7,6	7,3	7,0	6,6	6,3	5,9
13	9,1	8,8	8,6	8,3	8,1	7,8	7,5	7,2	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6
17	8,8	8,5	8,3	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,1	5,8	5,5	5,2
21	8,5	8,2	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,4	6,1	5,7	5,4	5,1	4,7
25	8,2	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,1	5,8	5,4	5,1	4,7	4,3
29	8,0	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0
Октябрь 3	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2	5,9	5,5	5,1	4,8	4,4	4,0	3,6
7	7,5	7,2	6,9	6,6	6,3	5,9	5,6	5,2	4,8	4,4	4,1	3,7	3,2
11	7,2	6,9	6,6	6,3	6,0	5,6	5,3	4,9	4,6	4,2	3,8	3,4	2,9
15	7,0	6,7	6,4	6,1	5,8	5,4	5,0	4,6	4,3	3,9	3,5	3,1	2,6
19	6,8	6,5	6,2	5,9	5,5	5,1	4,8	4,4	4,0	3,6	3,2	2,8	2,3
23	6,6	6,3	6,0	5,6	5,3	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3	2,9	2,5	2,0
27	6,3	6,1	5,8	5,4	5,1	4,7	4,3	3,9	3,5	3,1	2,7	2,3	1,3
31	6,2	5,9	5,6	5,2	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3	2,9	2,5	2,0	1,6
Ноябрь 4	6,0	5,7	5,4	5,0	4,7	4,3	3,9	3,5	3,1	2,7	2,3	1,8	1,4
8	5,8	5,4	5,1	4,8	4,4	4,0	3,7	3,3	2,9	2,5	2,1	1,6	1,2
12	5,6	5,2	4,8	4,5	4,1	3,7	3,4	3,0	2,6	2,2	1,8	1,4	1,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

**Многолетняя общая облачность  $n_0$  (в долях единицы) для широт 40 - 64°и долгот 30 - 130°**

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
Март 16	0,70	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
24	0,68	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64
Апрель 2	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
6	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
10	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66
14	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66
18	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67
22	0,58	0,58	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67
26	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68
30	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,67	0,68
Май 4	0,52	0,54	0,55	0,56	0,58	0,60	0,61	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69
8	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69
12	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,66	0,69	0,70
16	0,46	0,46	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70
20	0,43	0,46	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,69	0,70
24	0,41	0,44	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,69	0,70
28	0,39	0,42	0,46	0,49	0,52	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,68	0,70	0,71
Июнь 1	0,37	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71
5	0,35	0,39	0,43	0,46	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71
9	0,33	0,37	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,69	0,71
13	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,67	0,69	0,71
17	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57	0,60	0,64	0,67	0,69	0,71
21	0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,56	0,60	0,64	0,67	0,69	0,71
25	0,27	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,53	0,55	0,59	0,64	0,67	0,69	0,71
29	0,25	0,30	0,35	0,39	0,43	0,48	0,52	0,55	0,59	0,63	0,66	0,68	0,71
Июль 3	0,24	0,29	0,33	0,37	0,42	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,66	0,68	0,71
7	0,23	0,28	0,32	0,36	0,41	0,46	0,50	0,54	0,59	0,62	0,66	0,68	0,71
11	0,22	0,27	0,31	0,35	0,40	0,45	0,50	0,54	0,59	0,62	0,66	0,68	0,71

Дата	$\varphi = 40$	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64°
15	0,21	0,26	0,30	0,34	0,39	0,44	0,49	0,53	0,59	0,62	0,66	0,68	0,71
19	0,20	0,25	0,29	0,34	0,39	0,44	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66	0,68	0,71
23	0,19	0,24	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,52	0,57	0,62	0,66	0,68	0,71
27	0,19	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,52	0,57	0,62	0,66	0,68	0,71
31	0,18	0,22	0,27	0,32	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66	0,68	0,71
Август 4	0,17	0,22	0,27	0,32	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66	0,69	0,72
8	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66	0,69	0,72
12	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,70	0,72
16	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,67	0,70	0,72
20	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,68	0,70	0,72
24	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,59	0,64	0,68	0,70	0,73
28	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,43	0,49	0,54	0,60	0,64	0,68	0,70	0,74
Сентябрь 1	0,15	0,21	0,26	0,31	0,37	0,43	0,50	0,55	0,61	0,65	0,69	0,71	0,74
5	0,15	0,21	0,26	0,32	0,38	0,44	0,51	0,56	0,62	0,66	0,70	0,72	0,75
9	0,16	0,22	0,27	0,33	0,39	0,45	0,52	0,58	0,64	0,68	0,71	0,74	0,76
13	0,18	0,23	0,28	0,34	0,41	0,47	0,54	0,60	0,65	0,69	0,72	0,75	0,77
17	0,19	0,24	0,30	0,36	0,43	0,49	0,56	0,61	0,67	0,70	0,73	0,76	0,78
21	0,20	0,26	0,32	0,38	0,46	0,52	0,58	0,63	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79
25	0,22	0,28	0,34	0,41	0,48	0,54	0,60	0,65	0,70	0,72	0,75	0,78	0,80
29	0,23	0,30	0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,66	0,71	0,73	0,76	0,78	0,80
Октябрь 3	0,25	0,32	0,40	0,45	0,53	0,58	0,64	0,68	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81
7	0,28	0,35	0,42	0,48	0,55	0,60	0,65	0,69	0,74	0,76	0,78	0,80	0,81
11	0,30	0,37	0,45	0,51	0,57	0,62	0,67	0,71	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81
15	0,32	0,40	0,47	0,53	0,59	0,64	0,68	0,71	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81
19	0,35	0,42	0,50	0,56	0,61	0,65	0,69	0,72	0,76	0,78	0,79	0,80	0,80
23	0,38	0,45	0,52	0,58	0,62	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79
27	0,41	0,48	0,54	0,59	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,78	0,79	0,79	0,79
31	0,44	0,50	0,55	0,60	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78
Ноябрь 4	0,47	0,52	0,57	0,61	0,65	0,68	0,72	0,74	0,77	0,78	0,78	0,78	0,77
8	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66	0,69	0,72	0,74	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75
12	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,77	0,77	0,75	0,73

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

### Альbedo местности

Таблица 1. Сглаженное по широтам многолетнее альbedo  $A_0$

Широта $\varphi_0$	$A_0$ на 15 число месяца							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
40	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
42	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,26
44	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,28
46	0,18	0,18	0,18	0,18-	0,18	0,19	0,20	0,30
48	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,19	0,33
50	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,37
52	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,19	
54	0,19	0,17	0,15	0,15	0,15	0,15	0,21	
56	0,25	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,25	
58	0,30	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,28	
60	0,38	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,32	
62		0,22	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	
64		0,34	0,22	0,22	0,22	0,22	0,52	

Таблица 2. Среднее альbedo  $A$  подстилающей поверхности

№ п/п	Вид подстилающей поверхности	$A$
1.	Хвойный лес	0,14
2.	Смешанный лес	0,16
3.	Лиственный, лес, степи, тундра	0,18
4.	Луга	0,20

№ п/п	Вид подстилающей поверхности	A
5.	Полупустыни	0,25
6.	Пустыни	0,30

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Величины  $E'$  и коэффициенты  $k$  для вычисления упругости водяного пара воздуха по формуле (12)

$T'$	Значения величины $E'$ (в мм рт. ст.)					$k$
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8°	
0°	4,58	4,65	4,72	4,79	4,85	1509
+1	4,92	5,00	5,07	5,15	5,21	1507
2	5,29	5,37	5,45	5,52	5,60	1506
3	5,69	5,76	5,84	5,93	6,02	1504
4	6,10	6,18	6,27	6,36	6,45	1502
5	6,54	6,63	6,73	6,82	6,92	1501
6	7,01	7,11	7,21	7,31	7,41	1499
7	7,52	7,61	7,72	7,83	7,94	1497
8	8,04	8,15	8,27	8,38	8,49	1495
9	8,61	8,72	8,84	8,96	9,08	1494
10	9,21	9,33	9,46	9,59	9,71	1492
11	9,85	9,98	10,11	10,25	10,38	1490
12	10,52	10,66	10,80	10,94	11,09	1489
13	11,24	11,39	11,54	11,69	11,84	1487
14	11,99	12,15	12,31	12,47	12,63	1485
15	12,80	12,96	13,13	13,30	13,47	1484
16	13,64	13,82	14,00	14,18	14,36	1482
17	14,54	14,72	14,91	15,10	15,29	1480
18	15,49	15,68	15,88	16,08	16,28	1479
19	16,49	16,70	16,91	17,12	17,33	1477
20	17,54	17,76	17,99	18,21	18,44	1475
21	18,66	18,89	19,13	19,37	19,60	1474
22	19,85	20,02	20,33	20,58	20,83	1472
23	21,08	21,35	21,60	21,36	22,13	1470
24	22,40	22,67	22,94	23,22	23,50	1469
25	23,78	24,06	24,35	24,65	24,94	1467
26	25,23	25,53	25,84	26,15	26,45	1466
27	26,76	27,08	27,40	27,72	28,05	1464
28	28,38	28,71	29,05	29,39	29,73	1462
29	30,08	30,42	30,78	31,14	31,50	1461
+30°	31,86	32,23	32,60	32,97	33,35	1459
31	33,74	34,12	34,51	34,91	35,30	1457
32	35,70	36,11	36,52	36,93	37,35	1456
33	37,77	38,20	38,63	39,06	39,51	1454
34	39,95	40,39	40,85	41,30	41,76	1453
35	42,23	42,69	43,17	43,65	44,13	1451
36	44,62	45,11	45,60	46,11	46,62	1449
37	47,13	47,64	48,16	48,69	49,22	1448
38	49,75	50,39	50,84	51,39	51,95	1446
39	52,51	53,08	53,64	54,22	54,81	1445

Примечание: таблица заимствована из книги Лобачева В.М. «Радиоэлектронная геодезия». - М.: Недра, 1980.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

### Сводка метеорологических данных, запрашиваемых с метеостанций

Астропункт № 45.

Широта 53°14',

долгота 69°08'

Дата 1940 <i>j</i>	Средние суточные значения				
	температура <i>T</i> (°C)	упругость водяного пара		общая облачность	
		<i>e<sub>мб</sub></i>	<i>e<sub>мм</sub></i>	в баллах <i>n</i>	в долях единицы <i>n</i>
Метеостанция (пост) № 127, φ = 53°19', λ = 69°22'					
7 августа	16,8	9,7	7,3	2,5	0,25
8	20,0	12,2	9,2	1,2	0,12
9	22,1	10,7	8,0	5,5	0,55
10	25,1	11,1	8,3	5,0	0,50
11	22,2	13,4	10,0	1,2	0,12

#### Примечания:

1. В метеорологии упругость водяного пара *e* нередко называют абсолютной влажностью и измеряют ее, как и давление *p*, в миллибарах (мб). Для выражения *P<sub>мб</sub>* и *e<sub>мб</sub>*, в миллиметрах ртутного столба применяют формулы

$$P_{\text{мм}} = 0,75P_{\text{мб}},$$

$$e_{\text{мм}} = 0,75e_{\text{мб}}.$$

2. На метеостанциях общую облачность измеряют обычно по 10-балльной шкале. Для перевода ее в доли единицы следует число баллов уменьшить в 10 раз.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 9

### Сводка измерения метеорологических элементов на пункте

Пункт № 27. Широта 56°18', долгота 87°00', часовой пояс № = 6. Анероид № 1035. Психрометр № 843.

Подстилающая поверхность: смешанный лес (*A* = 0,16).

Дата 1968 <i>j</i>	Летнее время		Давление воздуха <i>p</i> (мм рт. ст.)	Температура по термометру		Общая облачность <i>n</i>
	восход, заход Солнца	Сроки измерений		сухому <i>T</i>	мокрому <i>T</i>	
12 сент. <i>x<sub>0j</sub></i> = 1 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>	9 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	745,1	12,2	10,0	0,40
	20 38	14 00	746,4	17,1	16,4	0,25
		19 30	745,8	14,5	13,7	0,40
		2 00	746,0	9,1	7,8	0,30
Среднее			745,8	13,2	12,0	0,34

$$e = E - \frac{P}{k} (T - T) = 10,52 - \frac{745,8}{1489} (13,2 - 12,0) = 9,9 \text{ мм рт. ст.}$$

Примечание: аналогичные таблицы метеоданных составляют для каждого дня азимутальных определений.

#### Расчет сроков измерения метеорологических элементов на пункте

1. Метеорологические элементы, указанные в таблице, измеряют четыре раза в сутки в следующие сроки летнего времени (апрель-сентябрь), вычисляемые для каждой *j*-ой даты по формулам:

$$t_1 = t_{\text{восх,л}} + x'_{0j}$$

- время утренней изотермии воздуха,

$$t_2 = 12^{\text{h}} + 2^{\text{h}} = 14^{\text{h}}$$

- местный полдень,

$$t_3 = t_{\text{зах,л}} - x'_{0j}$$

- время вечерней изотермии воздуха,

$$t_4 = 24^{\text{h}} + 2^{\text{h}} = 2^{\text{h}}$$

- местная полночь (начало следующих суток),

где *t<sub>восх,л</sub>* и *t<sub>зах,л</sub>* - время восхода и захода Солнца в системе летнего времени. Полученные результаты округляют до ближайшего получаса, см. таблицу.

2. Время восхода и захода Солнца выписывают из АЕ в системе местного среднего солнечного времени  $t$  и переводят его в систему летнего времени  $t_{л}$  по формуле

$$t_{л} = t + N + 2^h - \lambda,$$

где  $N$  - номер часового пояса, в котором находится астропункт,  
 $\lambda$  - долгота пункта, выраженная в часах.

3. С 1 октября вводят зимнее время:

$$t_3 = t + N + 1^h - \lambda.$$

В этой системе счета времени сроки наблюдений находят по формулам:

$$\begin{aligned} t_1 &= t_{\text{восх,з}} + x'_{0,j} \\ t_2 &= 12^h + 1^h = 13^h \\ t_3 &= t_{\text{зах,з}} - x'_{0,j} \\ t_4 &= 24^h + 1^h = 1^h \end{aligned}$$

и затем округляют их до ближайшего получаса.

4. В качестве примера рассчитаем сроки наблюдений для 12 сентября на пункте:  $\varphi = 56^\circ 18'$ ,  $\lambda = 87^\circ 00' = 5^h 48^m$ ,  $N = 6$ .

Из АЕ находим:  $t_{\text{восх}} = 5^h 25^m$ ,  $t_{\text{зах}} = 18^h 26^m$ . Переходим к летнему времени:

$$t_{\text{восх,л}} = 5^h 25^m + 6^h + 2^h - 5^h 48^m = 5^h 25^m + 2^h 12^m = 7^h 37^m,$$

$$t_{\text{зах,л}} = 18^h 26^m + 2^h 12^m = 20^h 38^m.$$

По графику на рисунке 2 определяем  $x'_{0,j} = 1,3^h = 1^h 18^m$ . С этими данным получим:

$$t_1 = t_{\text{восх,л}} + x'_{0,j} = 7^h 37^m + 1^h 18^m = 8^h 55^m \approx 9^h 00^m.$$

$$t_3 = t_{\text{зах,л}} - x'_{0,j} = 20^h 38^m - 1^h 18^m = 19^h 20^m \approx 19^h 30^m.$$

Сроки наблюдений по летнему времени на данном пункте будут следующие:

$$t_1 = 9^h 00^m, t_2 = 14^h 00^m, t_3 = 19^h 30^m, t_4 = 2^h 00^m.$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ 10

### Определение коэффициентов $a_0, a_1, a_2$ из решения нормальных уравнений для азимута № 66-67

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$l$	$\Sigma$	Контроль
+18,00	+3,47	+87,11	-224,66	-116,08	+6,44388
(-1)	-0,19278	-4,83944	+12,48111	+6,44889	
	+87,11	+78,99	-94,32	+75,25	
	-0,66895	-16,79307	+43,30995	+22,37790	
	+86,44105	+62,19693	-51,01005	+97,62790	+97,62793
	(-1)	-0,71953	+0,59011	-1,12942	-1,12942
		+633,12	-1092,12	-292,90	
		-421,56362	+1087,22859	+561,76220	
		-44,75256	+36,70326	-70,24620	
		+166,80382	+31,81185	+198,61600	+198,61576
		(-1)	-0,19071	-1,19072	-1,19071
+12,48111	+0,59011	-0,19071		$a_0 = +13,2638$	
+0,92293	+0,13722			$a_1 = +0,7273$	
-0,14021	+0,72733			$a_2 = -0,1907$	
+13,26383					

#### Контроль решения уравнений

$$18,00 \times 13,2638 + 3,47 \times 0,7273 - 87,11 \times 0,1907 - 224,66 = 0,000$$

$$3,47 \times 13,2638 + 87,11 \times 0,7273 - 78,99 \times 0,1907 - 94,32 = -0,003$$

$$87,11 \times 13,2638 + 78,99 \times 0,7273 - 633,12 \times 0,1907 - 1092,12 = +0,003$$

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. - М.: Недра, 1966. - 344 с.
2. Яковлев Н.В. Высокоточные угловые измерения и азимутальные определения в нестандартном поле боковой рефракции. Автореферат диссертации. - М.: МИИГАиК, 1971. - 38 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Общая часть
  2. Дополнительные требования к методике определения астрономического азимута земного предмета
  3. Составление сводки результатов определения азимута
  4. Определение времени становления вечерней изотермии воздуха на высоте визирного луча. 6
  5. Вычисление азимута, исправленного за влияние рефракции
- Приложения 1 - 7: Метеорологические таблицы для вычисления времени становления вечерней изотермии воздуха на территории между 40 - 64° северной широты и 30 - 130° восточной долготы
- Приложение 1 Многолетние значения величины  $x'_{0,j} = t_{\text{зах}} - t'_0$  (час) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°
- Приложение 2 Величины  $\theta$  (час) для вечернего периода суток для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°. 14
- Приложение 3 Многолетняя средняя суточная температура воздуха  $T_0$  (°C) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°
- Приложение 4 Многолетняя упругость водяного пара воздуха  $e_0$  (мм рт. ст.) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°
- Приложение 5 Многолетняя общая облачность  $n_0$  (в долях единицы) для широт 40 - 64° и долгот 30 - 130°
- Приложение 6 Альбеда местности
- Приложение 7 Величины  $E'$  и коэффициенты  $k$
- Приложение 8 Сводка метеорологических данных, запрашиваемых с метеостанций
- Приложение 9 Сводка измерения метеорологических элементов на пункте
- Приложение 10 Определение коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  из решения нормальных уравнений для азимута № 66-67
-