

УДК 522. 92. 528. 061. 2

А. Л. ОСТРОВСКИЙ, Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

## ИССЛЕДОВАНИЯ БОКОВОЙ РЕФРАКЦИИ В ЗАПОЛЯРЬЕ

До настоящего времени исследования боковой рефракции выполнялись только в средних и южных широтах СССР. Большой интерес представляет характер рефракционного поля и его влияния на измерения углов за Полярным кругом, в условиях полярных дня и ночи и наличия вечной мерзлоты.

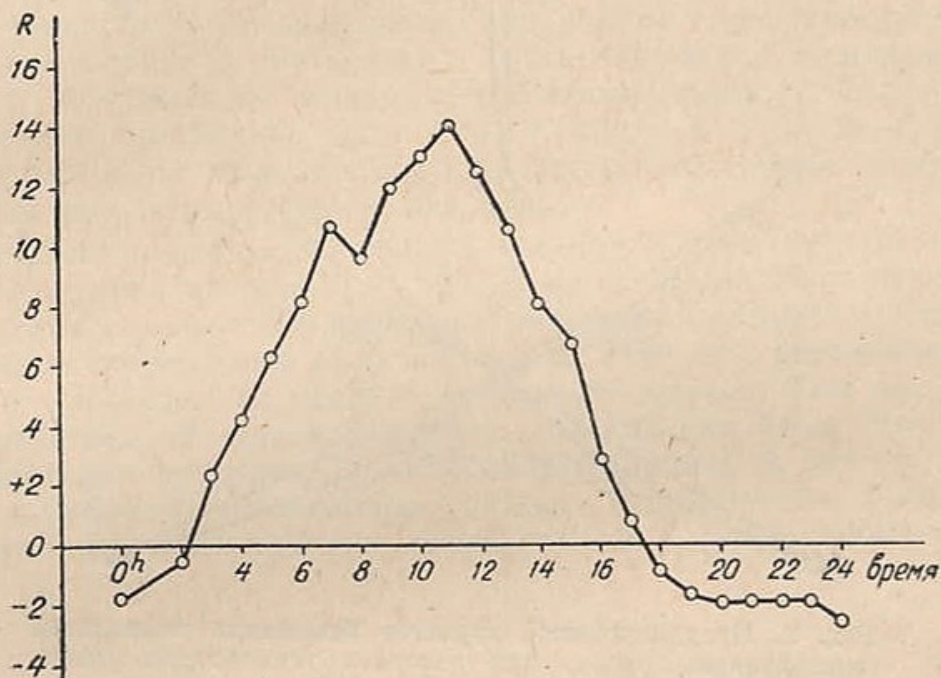


Рис. 1. Осредненный за 5 суток (9—13. VIII) малооблачной погоды ход радиационного баланса в делениях шкалы гальванометра.

Территория СССР значительной своей частью расположена за Полярным кругом, а вечная мерзлота распространена более чем на  $\frac{1}{3}$  всей страны. Поэтому понятен интерес к особенностям рефракционных влияний на геодезические измерения в этих районах. К тому же этот интерес значительно возрос в последние годы в связи с выполнением большей части геодезических работ именно в северных районах. Предполагалось, что наличие полярного дня и вечной мерзлоты может существенно повлиять на характер рефракционного поля и нарушить, например, до сих пор везде наблюдающуюся смену знака  $\text{grad } n$  (горизонтального градиента показателя преломления) в течение суток.

Полевые экспериментальные исследования ставились специальной экспедицией в Ямало-Ненецком национальном округе. Район работ

относится к тундровой, самой северной части Западно-Сибирской низменности, в целом наклонен к Северному Ледовитому океану. Тундра здесь холмистая с колебаниями высот до 20 и более метров. Подстилающая поверхность во время вегетационного периода, продолжающегося 44—120 дней, весьма однородна: это мхи, лишайники и низкорослые кустарники — карликовые полярные березки и ивняки оран-

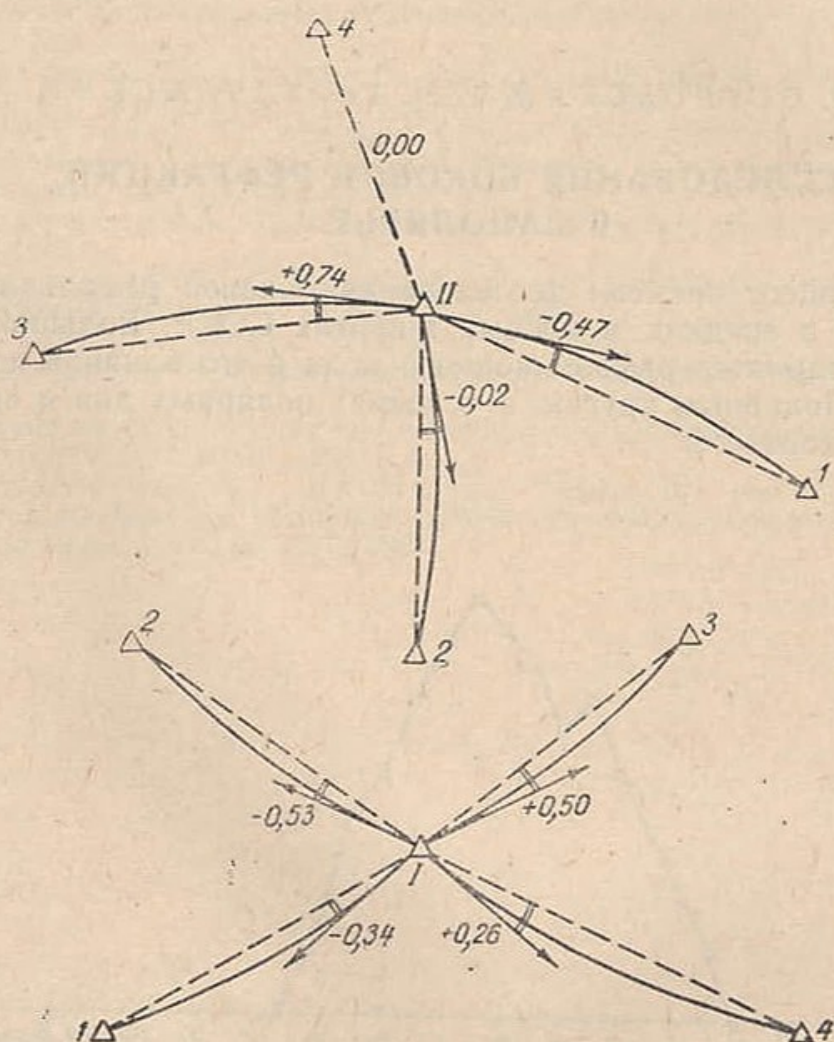


Рис. 2. Предполагаемый характер искажения рефракцией горизонтальных углов при инверсии температуры (отрицательном радиационном балансе).

жево-зеленого цвета. Средняя температура января  $-22-25^{\circ}$ . Лето короткое, холодное, с частыми заморозками и малооблачным небом. Средняя температура июля  $+3^{\circ},6-+10^{\circ},2$ . Годовые осадки 200—400 мм. Во время исследований деятельный слой почвы оттаял на 40—50 см. Приведенные выше сведения о температуре воздуха в январе и июле являются средними многолетними. Во время экспериментальных исследований в июле температура колебалась от  $+31^{\circ}$  до  $+8^{\circ},5$ .

Исследования выполнялись 7—25 июля 1967 года. 7—13 июля продолжался еще полярный день; 13 июля солнце коснулось горизонта в 22 ч (время здесь и далее — московское), а затем происходила смена дня и ночи. К 25 июля продолжительность ночи составляла примерно 3 ч. Ночи были настолько светлыми, что отсчеты по метеоприборам можно было брать без искусственного освещения. Программу исследований предполагалось выполнять круглосуточно. Горизонтальные углы

и зенитные расстояния должны были измеряться на трех пунктах триангуляции по трем-пяти направлениям на протяжении пяти-семи суток на каждом пункте. В процессе исследований выяснилось, что из-за отсутствия оптической видимости в этих районах, как и в южных и средних районах (главным образом из-за колебания изображений), вести круглосуточные наблюдения невозможно. Круглосуточно (хотя и не все время) велись только метеорологические наблюдения.

На пунктах триангуляции, где велись угловые наблюдения, температура измерялась психрометрами Асмана на высотах 1,0—1,5 и 4,5—5 м; давление — анероидом; радиационный баланс — балансометром Янишевского на высоте 1,5 м, по пятибалльной системе фиксировались облачность и колебания изображений (последние только в периоды измерения углов и зенитных расстояний). Угловые наблюдения велись способом во всех комбинациях без перестановок лимба, а зенитные расстояния измерялись обычным методом. Все наблюдения выполнялись теодолитом ОТ-02 со штатива на малофазные визирные цилиндры; наружные знаки — простые четырехгранные металлические пирамиды высотой 6—7 м. Средняя высота визирных лучей над подстилающей поверхностью 11—12 м, при колебании в пределах 6—30 м. В среднем около 5% всей протяженности лучей (без направления II-4 через губу большой реки (рис. 2) проходили над водной поверхностью речек и озер, которые текут в промоинах с почти отвесными стенками. Обычно в каждый нечетный час выполнялся полный прием, т. е. при четырех направлениях измерялись углы 1—2, 1—3, 1—4, 2—3, 2—4, 3—4, а в каждый четный час выполнялись два приема измерения зенитных расстояний по всем четырем направлениям.

Наблюдения велись фактически только на двух пунктах: на пункте I 7—15 июля и на пункте II 18—25 июля. Всего было измерено более 400 углов и около 500 зенитных расстояний. Заметим, что измерение зенитных расстояний велось с целью изучения вертикальной рефракции, что выходит за пределы настоящей статьи. Тем не менее мы здесь упоминаем об этих измерениях, так как они были использованы для определения поправок за боковую рефракцию по методу, разработанному в работе [1]. Напомним сущность этого метода. Рабочие формулы для вычисления поправки за рефракцию в направлении имеют вид

$$\delta'' = -\frac{0,2}{S} \cdot \gamma \cdot \Sigma; \quad (1)$$

$$\Sigma = \int_0^S S_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_i \cdot \cos \nu_i \cdot dS_i; \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{dT}{dh} = 0,0924 \cdot \frac{T^2}{B} \cdot \frac{\delta_z}{S} - 0,0342; \quad (3)$$

$$\delta_z'' = Z_T - Z_H. \quad (4)$$

Здесь  $\delta''$  — поправка за рефракцию;

$S$  — длина линии визирования;

$\gamma$  — вертикальный градиент температуры;

$T$  — средняя температура в слое воздуха на пути светового луча, °К;

$B$  — среднее давление в этом же слое, мм. рт. ст.;

$\delta_z''$  — частная вертикальная рефракция;

- $Z_T$  — теоретическое зенитное расстояние, определенное по отметкам точек из геометрического нивелирования;
- $Z_n$  — измеренное зенитное расстояние;
- $\alpha_i$  — угол между горизонтальной и изотермической поверхностями на данной секции луча —  $\Delta S_i$ , причем предполагается, что изотермические поверхности следуют за рельефом местности, а за секции  $\Delta S_i$  принимаются отрезки профиля вдоль направления с монотонным рельефом;
- $\nu_i$  — угол (в точке преломления луча) между линией пересечения только что названных (горизонтальной и изотермической) поверхностей с линией визирования;
- $S_i$  — отрезки от визирной цели до середины секций  $\Delta S_i$ .

Углы  $\alpha_i$  и  $\nu_i$  на отдельных секциях  $\Delta S_i$  определяются по карте с горизонталями.

Величина  $\Sigma$  — постоянна для данного направления и зависит только от топографических условий, в которых проходит луч света, и показывает степень опасности по направлению с точки зрения рефракционных влияний.

В работе [1] приведен пример вычисления  $\Sigma$  и изложены правила определения знаков при  $\operatorname{tg} \alpha_i$  и  $\cos \nu_i$ . Добавим только, что если на отрезке  $\Delta S_i$  линия визирования проходит параллельно горизонталям, то угол  $\nu = 0^\circ$ , если понижение рельефа имеет место справа отрезка луча (по отношению к наблюдателю, повернутому лицом к визирной цели); если понижение рельефа наблюдается слева от отрезка луча, то  $\nu = 180^\circ$ .

Если придерживаться всех указанных правил, то вычисленная величина  $\Sigma$  окажется с противоположными знаками при нормальном и инверсионном распределении температуры. Приписывание величине  $\Sigma$  определенного знака не лишено смысла. Дело в том, что  $\Sigma$  прямо пропорционально  $\delta$  и по  $\Sigma$  можно не только определить порядок рефракционных влияний по той или иной линии визирования, но и направление отклонения световой кривой от хорды — линии, соединяющей пункты наблюдения и визирования. Если при инверсии  $\Sigma$  имеет положительный знак, то световая кривая уклоняется от хорды вправо, если отрицательный — влево. Все эти сведения понадобятся нам при обработке результатов экспериментальных исследований.

Результаты угловых наблюдений были уравнены на станции. Уравнивание производилось только внутри отдельного приема измерений в предположении, что за время выполнения отдельного приема (20 мин) характер рефракционных влияний не претерпевал сколько-либо существенных изменений. По температурным и балансомерным измерениям выяснилось, что и при наличии полярного дня имеют место изменения направления вертикальных, а следовательно и горизонтальных, градиентов температуры на обратные, а также переход радиационного баланса через нуль в периоды утренней и вечерней видимости.

Как видим (рис. 1), при полярном дне время перехода через нуль радиационного баланса приходится между двумя—тремя часами и 17—18 часами. В это же время (теоретически) должен наблюдаться переход через нуль и вертикального градиента температуры  $\gamma$ .

Однако по данным настоящих измерений переход через нуль  $\gamma$  в вечернюю видимость опережает переход баланса более чем на два часа. Это объясняется в данном случае систематическими ошибками измерения температуры психрометрами.

Поэтому в дальнейшем психрометрические измерения во внимание не принимаются, а по времени перехода радиационного баланса через нуль измеренные и уравненные в пределах одного приема на станции

углы были разделены на три группы: в первую были отнесены приемы, выполненные при положительном радиационном балансе (падение температуры с высотой); во вторую группу — приемы, выполненные при балансе, приближенно равном нулю (небольшие вертикальные градиенты температуры), и в третью группу — приемы, выполненные при отрицательном радиационном балансе (инверсия температуры).

Таблица 1

Средние значения измеренных углов в группах

Угол	I группа			II группа			III группа		
	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>
Пункт I									
1,2	83°11'28,"39	23	±0,"34	83°11'29,"13	10	±0,"64	29,"04	10	±0,"50
1,3	70 16 59, 64	19	±0, 31	59, 13	7	±0, 33	59, 94	9	±0, 32
1,4	130 23 21, 97	17	±0, 36	22, 39	8	±0, 48	23, 37	6	±0, 90
2,3	287 05 30, 98	25	±0, 29	31, 65	8	±0, 53	32, 42	8	±0, 66
2,4	47 11 53, 82	21	±0, 35	54, 27	7	±0, 51	54, 98	9	±0, 46
3,4	160 06 22, 15	20	±0, 40	21, 95	9	±0, 48	22, 39	7	±0, 33
Пункт II									
1,2	44 55 22, 19	12	±0, 34	22, 96	17	±0, 31	22, 66	9	±0, 57
1,3	152 46 28, 88	12	±0, 45	29, 40	15	±0, 41	29, 89	10	±0, 52
1,4	229 43 17, 66	16	±0, 32	18, 06	15	±0, 45	16, 48	6	±0, 48
2,3	107 51 04, 92	6	±0, 38	06, 71	15	±0, 44	08, 06	14	±0, 45
2,4	184 47 54, 67	9	±0, 55	54, 50	16	±0, 42	53, 78	12	±0, 39
3,4	76 56 48, 68	12	±0, 47	47, 66	14	±0, 30	48, 08	8	±0, 54

Таблица 2

Средние значения уравненных углов в группах (в пределах одного приема)

Угол	I группа			II группа			III группа		
	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>	Средн. значение угла	<i>n</i>	<i>M</i>
Пункт I									
1,2	83°11'28,"59	21	±0,"24	29,"09	10	±0,"55	28,"58	6	±0,"28
1,3	170 16 59, 56	17	±0, 32	59, 39	7	±0, 41	59, 98	7	±0, 55
1,4	230 23 22, 52	16	±0, 34	22, 83	8	±0, 47	22, 66	5	±0, 76
2,3	87 05 30, 73	22	±0, 24	31, 56	8	±0, 47	32, 47	6	±0, 56
2,4	147 11 53, 86	20	±0, 28	54, 09	8	±0, 49	54, 41	7	±0, 44
3,4	60 06 22, 51	19	±0, 30	22, 73	8	±0, 47	22, 60	4	±0, 46
Пункт II									
1,2	44 55 22, 76	10	±0, 31	22, 87	16	±0, 34	22, 54	12	±0, 39
1,3	152 46 29, 10	9	±0, 31	29, 39	15	±0, 30	29, 63	9	±0, 56
1,4	229 43 17, 71	13	±0, 40	17, 55	14	±0, 35	16, 62	7	±0, 32
2,3	107 51 05, 46	5	±0, 44	06, 61	15	±0, 29	07, 10	14	±0, 29
2,4	134 47 54, 87	7	±0, 57	54, 68	16	±0, 32	54, 48	10	±0, 40
3,4	76 64 48, 41	10	±0, 41	47, 70	13	±0, 28	47, 76	10	±0, 45

В результате были получены табл. 1 и 2, где, кроме средних в отдельной группе значений углов, вычисленных по непосредственно измеренным (табл. 1) и по уравненным на станции углам (табл. 2), дается

количество углов  $n_i$ , из которого выводились средние значения и средние квадратические ошибки  $M_i$  окончательных результатов, вычисленные по сходимости углов в группах. Угловые измерения, выполненные на двух пунктах, не образуют никакой фигуры с известной наперед ваданной суммой углов. Поэтому, чтобы убедиться, насколько обременены средние значения углов в группах ошибками рефракционного характера и действительно ли эти ошибки в углах I и III групп имеют противоположные знаки, а в углах II группы незначительны, мы поступили следующим образом. По каждому направлению по карте (точнее — выкопировкам из карты) были вычислены величины  $\Sigma$ .

На рис. 2 величины  $\Sigma$  выписаны по отдельным направлениям, выходящим из пунктов I и II. На этих же рисунках условными кривыми и касательными показано, в какую сторону будут искривляться световые кривые и как будут искажаться рефракцией углы при инверсии температуры (отрицательном радиационном балансе), т. е. углы III группы.

Легко уяснить, что при положительном балансе (падение температуры с высотой) для углов I группы знаки ошибок за рефракцию будут обратные. Заметим, что для направления II-3, идущего вдоль берега губы, т. е. вдоль совершенно разнородных подстилающих поверхностей, или в условиях, когда формулы (1) и (2) работают плохо,  $\Sigma$  вычислена весьма приближенно. Не принимая во внимание разнородные подстилающие поверхности, мы полагали, что поверхности равных температур и здесь следуют за рельефом местности и что берег на всем протяжении луча имеет наклон в сторону губы величиной  $20'$ .

Для более надежного определения знака рефракционной ошибки по этому направлению в двух точках, разнесенных примерно на 1 км, велись температурные измерения, причем одна точка находилась вблизи пункта II, а вторая удалена от берега примерно по перпендикулярному к губе направлению. Эти измерения позволяли определять горизонтальный температурный градиент. Оказалось, что знак этого градиента изменяется в те же периоды, что и знак радиационного баланса. Поэтому измеренные углы, содержащие направления II-3, также были разделены на три группы, как и прочие углы.

Направление II-4 пересекало губу почти перпендикулярно к ее простиранию и не могло искажаться ( $\Sigma=0$ ).

Таблица 3

Ожидаемые искажения неуравненных углов

Угол	Значение углов			Угол	Значение углов		
	Преувеличенные	Преуменьшенные	Неискаженные		Преувеличенные	Преуменьшенные	Неискаженные
П у н к т I				П у н к т II			
1,2	28,"39	29,"04	29,"13	1,2	22,"66	22,"19	22,"96
1,3	59, 94	59, 64	59, 13	1,3	29, 89	28, 88	29, 40
1,4	23, 37	21, 97	22, 39	1,4	16, 48	17, 66	18, 06
2,3	32, 42	30, 98	31, 65	2,3	08, 06	04, 92	06, 71
2,4	54, 98	53, 82	54, 27	2,4	53, 78	54, 67	54, 50
3,4	22, 15	22, 39	21, 95	3,4	48, 68	48, 08	47, 66
A	221, 25	217, 84	218, 52	B	179, 55	176, 40	179, 29
				A+B	400, 80	394, 24	397, 81

Ожидаемые искажения уравненных углов

Угол	Значения углов			Угол	Значения углов		
	Преувеличенные	Преуменьшенные	Неискаженные		Преувеличенные	Преуменьшенные	Искаженные
П у н к т I				П у н к т II			
1,2	28,"59	28,"58	29,"09	1,2	22,"54	22,"76	22,"87
1,3	59, 98	59, 56	59, 39	1,3	29, 63	29, 10	29, 36
1,4	22, 66	22, 52	22, 83	1,4	16, 62	17, 71	17, 55
2,3	32, 47	30, 73	31, 56	2,3	07, 10	05, 46	06, 61
2,4	54, 41	53, 86	54, 09	2,4	54, 48	54, 87	54, 68
3,4	22, 51	22, 60	22, 73	3,4	48, 41	47, 76	47, 70
A	220, 62	217, 85	219,69	B	178, 78	177, 66	178, 77
				A+B	399, 40	395, 51	398, 46

Таким образом, мы заранее предвидели, как искажается тот или иной угол в разных группах. Именно на основании теоретических предположений в табл. 3 и 4 разнесены значения углов соответственно из табл. 1 и 2. Выясним, как разносились углы при составлении этих таблиц: в графу «неискаженные углы» относились углы II группы. В графу «преувеличенные» отнесены значения углов из I или II группы, в соответствии с рис. 2. Например, на пункте II угол 1—2 должен быть при инверсии преувеличен, тогда этот угол ( $44^{\circ}55'22''$  66, табл. 1) записывается в графу «преувеличенные» в табл. 3. Ясно, что теперь этот же угол из I группы должен быть занесен в графу «преуменьшенный». При такой разноске углов мы не обращали внимания, на самом ли деле преувеличен или преуменьшен тот или иной угол. Поскольку, кроме рефракционных ошибок, углы обременены и рядом других ошибок измерений, нельзя ожидать полного «согласия» в отдельных углах. Однако именно такая закономерность должна проявиться в массе измерений. Действительно, суммируя секунды углов по вертикальным столбцам, мы получим (см., например, табл. 3) в графе «преувеличенные» —  $400''$ .80; в графе «преуменьшенные» —  $394''$ .24; в графе «неискаженные» —  $397''$ .81.

Таким образом, теоретические расчеты и фактические результаты совпадают, причем не только в суммах по всем наблюдениям, но и в суммах секунд углов на отдельных пунктах. Несколько сглаживаются рефракционные искажения уравненных углов, однако и здесь наблюдается та же самая закономерность. Чтобы еще раз убедиться, что обнаруженная закономерность в суммах секунд углов действительно вызвана боковой рефракцией, а также чтобы экспериментально проверить эффективность вышеизложенного метода вычисления поправок за рефракцию, решено было вычислить поправки (всего 36 поправок) в средние значения углов в группах. Поправки можно было вычислить, так как все пункты триангуляций имели отметки из геометрического нивелирования II, III класса и, как уже указывалось, кроме горизонтальных углов, измерялись и зенитные расстояния. К сожалению, приемы измерения зенитных расстояний значительно отстояли по времени от приемов измерения углов. Нельзя ожидать высокой точности определения поправок, и тем не менее такая проверка метода весьма «жесткая».

## Вычисление поправок за боковую рефракцию в направления и углы

№ на- прав- лений	Группы углов	$\delta''_z$	T	B	$\gamma$	Поправка за рефракцию		Угол	S <sub>1,2</sub> M
						в направ- ления	в угол		
Пункт I									
1	I	25,9	295,8	754,8	-0,0064	-0,04			
	II	64,9	297,0	754,3	+0,0360	+0,24			
	III	150,0	293,8	754,8	+0,1252	+0,86			9932
2	I	22,2	295,8	754,2	-0,0074	-0,09	-0,05	1-2	
	II	63,4	297,0	753,7	+0,0426	-0,51	+0,27		8915
	III	94,2	293,8	754,2	+0,0780	+0,93	+0,07		
1	I	22,0	296,5	754,6	-0,0106	-0,07			
	II	47,7	296,7	754,2	+0,0175	+0,12			9932
	III	99,3	294,8	754,9	+0,0721	+0,49			
3	I	24,2	296,5	754,0	-0,0106	+0,09	+0,16	1-3	11218
	II	64,8	296,7	753,6	+0,0284	-0,24	-0,36		
	III	91,5	294,8	754,3	+0,0531	-0,45	-0,94		
1	I	13,6	295,5	754,7	-0,0193	-0,13			
	II	66,3	296,0	754,7	+0,0376	+0,28			
	III	113,9	295,6	754,5	+0,0887	+0,61			9932
4	I	26,6	295,5	753,7	-0,0118	+0,06	+0,19	1-4	12841
	II	51,6	296,0	753,6	-0,0088	-0,04	-0,32		
	III	86,5	295,6	753,5	+0,0376	-0,18	-0,79		
2	I	13,6	296,7	753,8	-0,0180	-0,21			
	II	42,3	297,0	754,0	+0,0238	+0,28			8915
	III	66,9	293,4	755,1	+0,0448	+0,53			
3	I	21,8	296,7	753,8	-0,0137	+0,12	+0,33	2-3	11218
	II	48,5	297,0	751,8	+0,0113	-0,10	-0,38		
	III	92,1	293,4	755,0	+0,0522	-0,53	-1,06		
2	I	16,6	296,4	754,1	-0,0138	-0,16			
	II	44,1	297,3	753,5	+0,0189	+0,22			
	III	68,5	295,8	754,3	+0,0483	+0,57			8915
4	I	24,5	296,4	753,7	-0,0137	+0,06	+0,22	2-4	12841
	II	55,6	297,3	753,0	+0,0125	-0,06	-0,28		
	III	87,0	295,8	753,8	+0,0387	-0,18	-0,75		
3	I	28,4	296,3	754,2	-0,0073	+0,06			11218
	II	71,6	295,5	754,3	+0,0346	-0,29			
	III	92,0	294,7	753,9	+0,0521	-0,44			
4	I	30,5	296,3	753,8	-0,0083	+0,04	-0,02	3-4	12841
	II	63,3	298,5	752,0	+0,0195	-0,09	+0,20		
	III	86,6	294,7	753,6	+0,0371	-0,17	+0,27		
Пункт II									
1	I	36,8	288,4	758,0	-0,0048	-0,04			12535
	II	70,7	287,9	757,5	+0,0225	+0,17			
	III	99,7	286,7	757,8	+0,0461	+0,35			
2	I	55,6	288,4	758,0	+0,0226	+0,01	+0,05	1-2	9932
	II	69,8	287,9	757,2	+0,0366	+0,01	-0,16		
	III	87,0	286,7	757,7	+0,0541	+0,02	-0,33		
1	I	41,3	286,7	758,6	-0,0011	-0,01			12535
	II	76,4	288,1	757,5	+0,0276	+0,21			
	III	107,2	287,4	757,7	+0,0525	+0,39			
3	I	18,5	286,7	758,7	-0,0222	+0,21	+0,22	1-3	15946
	II	41,1	288,1	758,1	-0,0077	+0,07	-0,14		
	III	44,2	287,4	757,9	-0,0061	+0,06	-0,33		
1	I	35,3	288,9	758,2	-0,0058	-0,04			12535
	II	65,9	288,2	757,7	+0,0185	+0,12			
	III	103,7	287,4	757,8	+0,0484	+0,31			
4	I					0	+0,04	1-4	
	II					0	-0,12		
	III					0	-0,31		
2	II	70,2	288,7	759,0	+0,0319	+0,01			9932
	III	68,1	288,0	756,6	+0,0347	+0,02			
	III	92,1	287,2	756,7	+0,0516	+0,03			
3	I	6,0	288,4	758,0	-0,0301	+0,29	+0,28	2-3	15946



№ на- прав- лений	Группы углов	$\delta''_z$	$T$	$B$	$\gamma$	Поправка за рефракцию		Угол	$S_i, м$
						в направ- лении	в угол		
2	II	28,3	288,0	758,0	-0,0160	+0,15	+0,13	9932	
	III	37,3	287,2	758,1	-0,0110	+0,11	+0,08		
	I	66,2	288,2	759,5	+0,0326	-0,01			
4	II	69,6	287,8	757,2	+0,0366	-0,02		2-4	
	III	87,8	287,4	757,5	+0,0549	-0,02			
	I					0	+0,01		
3	II					0	+0,02	15946	
	III					0	+0,02		
	I	19,6	289,2	757,6	-0,0290	+0,22			
4	II	35,6	288,0	757,4	-0,0119	+0,11		3-4	
	III	36,2	287,5	756,0	-0,0109	+0,10			
	I					0	-0,22		
	II					0	-0,11		
	III					0	-0,11		

Чтобы по измеренным зенитным расстояниям можно было хотя бы приближенно судить о вертикальных градиентах температуры в моменты измерения того или иного горизонтального угла, из измерений зенитных расстояний выбиралась та пара зенитных расстояний (до и после измерения угла), полусумма средних моментов измерения которых наиболее совпадала со средним моментом измерения угла. При вычислениях за среднюю температуру  $T$  принималась температура, измеренная на высоте теодолита, а за среднее давление  $B$  полусумма давлений в двух конечных точках луча, причем давление измерялось только на высоте теодолита, а на высоте визирных целей вычислялось по известной разности высот пунктов и барометрической ступени высот (табл. 5).

Таблица 6

Значения углов, исправленных поправками за рефракцию  $\delta$ 

Угол	Преувеличенные	$\delta$	Исправленные	Преуменьшенные	$\delta$	Исправленные	Неискаженные	$\delta$	Исправленные
Пункт I									
1-2	28",39	-0,05	28,34	29,04	+0,07	29,11	29,13	+0,27	29,40
1-3	59,94	-0,94	59,00	59,64	+0,16	59,80	59,13	-0,36	58,77
1-4	23,37	-0,79	22,58	21,97	+0,19	22,16	22,39	-0,32	22,07
2-3	32,42	-1,06	31,36	30,98	+0,33	31,31	31,65	-0,38	31,27
2-4	54,98	-0,75	54,23	53,82	+0,22	54,04	54,27	-0,28	53,99
3-4	22,15	-0,02	22,13	22,49	+0,27	22,66	21,95	+0,20	22,15
Пункт II									
1-2	22,66	-0,33	22,33	22,19	+0,05	22,24	22,96	-0,16	22,80
1-3	29,89	-0,33	29,56	28,88	+0,22	29,10	29,40	-0,14	29,26
1-4	16,48	-0,31	16,17	17,66	+0,04	17,70	18,06	-0,12	17,94
2-3	08,06	+0,08	08,14	04,92	+0,28	05,20	06,71	+0,13	06,84
2-1	53,78	+0,02	53,80	54,67	+0,01	54,68	54,50	+0,02	54,52
3-4	48,68	-0,22	48,46	48,08	-0,10	47,98	47,66	-0,11	47,55
Сумма		-4,70	396,10		+1,74	395,98		-1,25	396,56

Заметим, что по формуле (1) при определении знака поправок в направлении принимается во внимание только  $\Sigma$ . Знак  $\gamma$  хотя и приведен в таблице, но по нем судили только о характере вертикальной стра-

тификации температуры воздуха. Остается ввести поправки в углы и проверить, действительно ли после этого нарушается закономерность, обнаруженная ранее в суммах секунд углов. В табл. 6 приведены углы, исправленные поправками за рефракцию. Оказалось, что действительно преувеличенные углы получили отрицательные поправки, преуменьшенные — положительные, а неискаженные углы — как положительные, так и отрицательные поправки, причем сумма поправок в неискаженных углах минимальна.

После введения поправок суммы секунд преувеличенных, преуменьшенных и неискаженных углов составляют  $396''{,}10$ ;  $395''{,}98$ ;  $396''{,}56$ .

Таким образом, полностью исчезла наблюдавшаяся ранее закономерность, а суммы секунд углов теперь колеблются в таких пределах, которые вполне объясняются возможным накоплением случайных ошибок в сумме из 12 углов. В самом деле, если средняя величина квадратических ошибок угла в той или иной группе составляет

$$M_{\text{ср}} = \pm 0''{,}45, \text{ то ошибка в сумме углов } M_{\text{суммы}} = \pm 0''{,}4\sqrt{12} \cong 1''{,}5.$$

### ВЫВОДЫ

1. В условиях Заполярья, как и на средних широтах, рефракционные искажения горизонтальных углов в течение утренней и вечерней видимости меняют знак. Поэтому и за Полярным кругом, при наличии полярного дня, применение симметричной программы измерения горизонтальных углов приведет к значительному ослаблению рефракционных влияний. Под симметричной программой измерения горизонтальных углов понимается такая программа, в которой половина всех приемов измерения того или иного горизонтального угла на данном пункте выполнена при нормальном распределении температуры воздуха с высотой, т. е. при положительном радиационном балансе, а половина приемов — при температурных инверсиях, т. е. при отрицательном радиационном балансе.

2. Выполненная проверка метода определения поправок за рефракцию по зенитным расстояниям, измеряемым во время ведения угловых или азимутальных наблюдений, показала хорошую эффективность этого метода. В настоящее время есть все основания утверждать, что в случае достаточно однородной подстилающей поверхности и плавного рельефа этот метод определения поправок за рефракцию может существенно освободить углы или азимуты от ошибок рефракционного происхождения. Однако трудоемкость определения поправок за рефракцию вынуждает прибегать к этому методу только в случае азимутальных определений на пунктах Лапласа; при измерении горизонтальных углов в триангуляции или полигонометрии для ослабления рефракционных влияний достаточно применять симметричные программы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Островский А. Л. Геодезичный метод визначення поправок за рефракцію в азимуті на пунктах Лапласа. Доп. АН УРСР, № 3, 1967.

Работа поступила

28 апреля 1968 г.