

О. А. МОЗЖУХИН

О ВЫБОРЕ НАИБОЛЕЕ БЛАГОПРИЯТНОГО ПЕРИОДА В ТЕЧЕНИЕ СУТОК ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В резолюции № 4 XIII Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического Союза указывается, что определение показателя преломления представляет в настоящее время исключительно трудную задачу и служит источником серьезных ошибок при электромагнитных измерениях расстояний [4].

Поскольку до сих пор показатель преломления $n_{\text{ср}}$ находят путем метеорологических измерений в двух точках на концах измеряемой линии, то погрешность его определения $\Delta n = n_{\text{ср}} - \bar{n}$ (где $\bar{n}$ — среднее интегральное (или истинное) значение показателя преломления) существенно зависит от характера распределения по высоте (стратификации) основных метеорологических элементов в приземном слое атмосферы. Очевидно, чем однороднее слой (с точки зрения распределения показателя преломления), в котором распространяются радиоволны в процессе радиоизмерений, тем более репрезентативны метеоизмерения на концах линий и, таким образом, меньше величина ошибки Δn .

Известно, что стратификация температуры, влажности, а, следовательно, и показателя преломления, не остается постоянной, а существенно меняется в течение суток. Можно ожидать, что если удастся установить закономерности изменения стратификации показателя преломления во времени, то на основе этого можно сделать определенные выводы о наиболее выгодном времени суток, когда неопределенности, связанные с показателем преломления, минимально сказываются на точности радиодальномерных измерений.

На рис. 1, где по вертикальной оси отложена высота в метрах, а по горизонтальной — время, виден ход изолиний показателя преломления в приземном слое. Для его построения использована одна из выполненных нами учащенных серий детального зондирования температуры и влажности с помощью датчиков, поднимаемых на фиксированную высоту посредством гирлянды привязных шаров, наполненных водородом [3]. Зондирования проводились в мае месяце с 22 до 12 часов при ясной штилевой погоде.

Рассматривая рис. 1 можно отметить, что наиболее резкие изменения показателя преломления с высотой наблюдались в первой половине ночи, примерно, до 3—4 часов, когда падение показателя преломления достигало 15—20 N-единиц на 30—40 м в слое, прилегающем к подстилающей поверхности.

К концу ночи, в предрассветное время, наблюдался период с относительно однородным распределением показателя преломления по высоте. После восхода Солнца, примерно между 7 и 10 часами, стратификация показателя преломления характеризовалась глубокими изменениями во всем приземном слое. Далее, примерно с 11 часов, снова возникает период сравнительно однородного распределения показателя преломления по высоте.

Таким образом, приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что стратификация показателя преломления в течение суток характеризуется двумя периодами с относи-

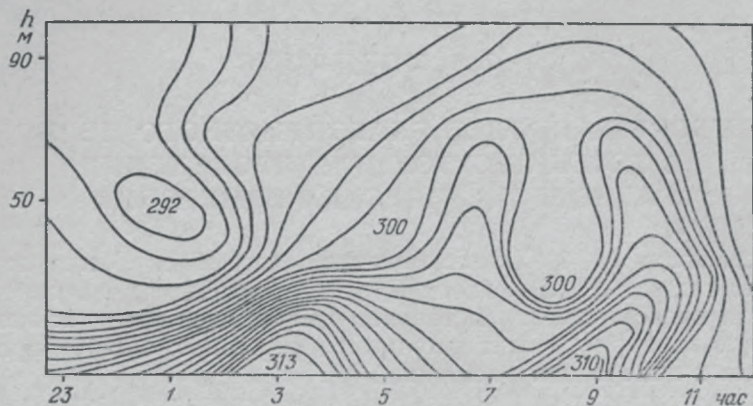


Рис. 1. Ход изолиний показателя преломления с течением времени в приземном слое.

тельно однородным распределением показателя преломления, первый из которых наблюдался в течение 3—4 часов около восхода Солнца и второй — примерно с 11 часов дня. В период между 8 и 10 часами, а также в первой половине ночи отмечались наиболее глубокие изменения показателя преломления по высоте.

На рис. 2 показан суточный ход разностей между значениями показателя преломления на высотах 15,2; 46,7; 106,7 м и на высоте 1,1 м от земли в условиях ясной и пасмурной погоды. В нижней части рисунка показан ход показателя преломления на нижнем уровне при той и другой погоде.

Для построения графиков использованы данные осредненных, ежечасных наблюдений температуры и влажности на указанных уровнях с помощью специальной градиентной установки [5]. При этом осреднение было выполнено по 19 ясным и 4 пасмурным суткам июня месяца.

Данные рис. 2 подтверждают, что в течение суток имеют место два периода, когда градиенты показателя преломления минимальны — утром, примерно с 4 до 7 часов и днем с 11 до 17—18 часов. Максимальные градиенты наблюдаются между 8 и 10 часами и, примерно, с 19 до 2 часов ночи.

Как видно, выводы, основанные на материалах, представленных на обоих рисунках, хорошо согласуются между собой.

Из рис. 2 следует, что между суточным ходом разностей (градиентов) показателя преломления в приземном слое и суточным ходом показателя преломления, измеряемом вблизи от подстилающей поверхности, имеется четкая связь: экстремальные значения градиентов совпадают с соответствующими максимумами и минимумами в суточном ходе показателя преломления. Поскольку изменения показателя пре-

ломления определяются в первую очередь суточным ходом абсолютной влажности, то отмеченные минимумы в вертикальной структуре показателя преломления совпадают с минимумами содержания водяного пара в воздухе в течение суток. В этой связи отметим, что, как известно [2], «в летний период в приземном слое воздуха над сушей суточный ход абсолютной влажности воздуха имеет два минимума: основной около 3—5 часов и вторичный — около полудня, вызываемый повышением интенсивности турбулентного обмена, и два максимума: первый около 9—10 часов и второй, нередко бо́льший по абсолютной величине, в 21—22 часа».

Таким образом, указанные периоды, когда структура показателя преломления в приземном слое наиболее однородна, а содержание водяного пара в воздухе достигает своего минимума, следует рассматривать как наиболее выгодные для проведения высокоточных радиогеодезических измерений.

С целью экспериментальной проверки полученных выводов ниже приводятся результаты обработки радиодальномерных измерений, выполненных с привлечением методов дисперсионного анализа [1].

В таблице 1 приведены абсолютные значения ошибок $|\delta|$, выраженные в относительной мере — миллионных долях измеряемого расстояния и вычисленные по результатам внутренней сходимости на основе радиодальномерных измерений семи линий, средняя длина которых составляла около 20 км. Каждая линия измерялась шестью приемами между 10 и 15 часами в течение семи последовательных дней в июне месяце.

Приведенные в таблице ошибки $|\delta|$ разделены по временному признаку на две группы. При этом в первую группу вошли ошибки, относящиеся к трем первым приемам, а во вторую — к трем другим приемам. Поскольку, как было отмечено, в период с 10 до 12 часов

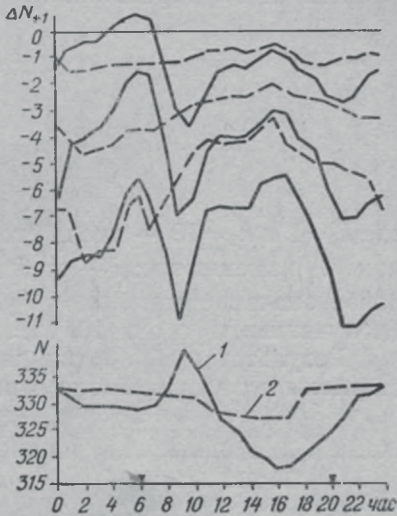


Рис. 2. Суточный ход разностей показателя преломления ΔN и показателя преломления N при ясной (1) и пасмурной (2) погоде летом. Индексами обозначено время восхода и захода Солнца.

Таблица 1

Сроки приемов Линии	10 час.	11 час.	12 час.	13 час.	14 час.	15 час.
1	5,8	1,6	0,3	1,1	3,0	2,2
2	0,1	0,3	0,2	1,2	0,2	0,1
3	1,5	0,8	0,2	1,7	0,0	0,7
4	1,6	1,0	1,6	0,8	2,0	0,7
5	1,6	0,3	0,1	0,6	0,4	0,5
6	2,0	0,4	0,9	0,1	0,5	0,4
7	1,6	0,9	0,3	0,3	0,2	0,8

структура показателя преломления в приземном слое существенно меняется, а между 13—15 часами остается примерно одинаковой, то следует ожидать, что фактор времени найдет отражение на величинах ошибок первой группы и не отразится на ошибках второй группы.

Для доказательства этого положения по той и другой группе ошибок $|\delta|$ были вычислены независимые эмпирические дисперсии μ^2 и m_δ^2 , первая из которых обусловлена фактором времени, а вторая зависит от варьирования неучтенных факторов, по формулам

$$\mu^2 = \frac{[r(|\bar{\delta}|_i - |\bar{\delta}|)^2]}{k_1} \quad (1)$$

$$m_\delta^2 = \frac{[(|\bar{\delta}|_{ij} - |\bar{\delta}|_i)^2]}{k_2}$$

где $k_1=2$ и $k_2=18$ — числа степеней свободы, r — число линий. Индексы при $|\delta|$ изменяются: i — от 1 до 3, а j — от 1 до 7. $|\bar{\delta}|$ — среднее групповое значение ошибки. $|\bar{\delta}|_i$ — средние величины ошибок по сериям (полученным в сроки 10, 11... 15 часов).

Результаты обработки данных таблицы 1 по формулам (1) представлены в таблице 2, где в нижней строке показаны величины отношений дисперсий, обусловленные фактором группировки.

	10—12 час.	13—15 час.
μ^2	4,4	0,0
m_δ^2	1,0	0,7
μ^2/m_δ^2	4,4	0,0

Из рассмотрения таблицы 2 вытекает, что влияние фактора времени в первой группе измерений является существенным, тогда как во второй время заметной роли не играет.

Аналогичным образом обработаны, выраженные в миллиметрах, величины вероятнейших ошибок $|\delta|$, вычисленные по результатам радиоизмерений 4 линий длиной около 4—5 км, расположенных в горной местности с разностью отметок конечных пунктов около 1000 м (таблицы 3 и 4). Измерения линий проводились в ясную, тихую погоду в течение двух дней в июне месяце.

Как видно из таблицы 4, при радиоизмерениях в дневное время фактор времени не проявляет себя, однако в вечернее время его влияние находит свое отражение, что и следовало ожидать, принимая во

Таблица 3

Приемы	Пункт Ю. Портал		Пункт С. Портал	
	пункт Обрыв	пункт Дальний	пункт Скальный	пункт Оксек
	12—14 час.	16—17 час.	16—18 час.	19—20 час. 30 мин.
1	18	2	0	33
2	46	28	7	3
3	6	9	0	24
4	9	23	5	3
5	22	9	13	20
6	9	21	4	1
7	12	25	16	1
8	9	7	15	38

внимание характер измерения суточного хода градиентов показателя преломления на рис. 2.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что летом в течение суток, преимущественно при ясной безоблачной погоде, имеют место два периода, когда влияние среды на точность радиогеодезических измерений сказывается в наименьшей мере, и соответственно два периода, при которых это влияние достигает своего максимума.

К благоприятным периодам относится время: утром с 3—4 до 7 часов и днем с 11 до 17—18 часов.

Таблица 4

	Пункт Ю. Портал	Пункт С. Портал
	12—17 час.	17—20 час. 30 мин.
μ^2	3,3	256
m^2_δ	132	196
μ^2/m^2_δ	0,0	1,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Г. Видуев, Д. Н. Кавунец. Дисперсионный анализ в геодезических исследованиях. Киев, 1959.
2. Курс метеорологии, под ред. П. Н. Тверского. Гидрометеониздат, Л., 1953.
3. О. А. М о з ж у х и н. Влияние стратификации показателя преломления воздуха на точность радиогеодезических измерений. Межведомственный научно-технический сборник «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 1, Львов, 1964.
4. Резолюции XIII Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза (МГГС), состоявшейся в Беркли (США) в 1963 г. Геодезия и картография, № 5, 1964.
5. Best, Knighting, Peldow, Stormonth. Temperature and Humidity Gradients in the First 100 m over South East England. Met. Off. Geoph. Memoirs; № 89, 1952.

Работа поступила
2 июля 1964 г.