

ВЛИЯНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Как известно, на точность радиогеодезических измерений существенное влияние оказывает характер распределения показателя преломления по высоте в приземном слое атмосферы. Очевидно, чем однороднее слой (с точки зрения распределения показателя преломления), в котором распространяются радиоволны в процессе радиодальномерных измерений, тем меньше влияние указанных ошибок.

Для изучения закономерностей в структуре показателя преломления приземного слоя были проведены экспериментальные исследования, представляющие собой ряд серий учащенных зондирований температуры и влажности, выполненных с помощью дистанционного термопсихрометра на полупроводниковых термометрах сопротивления. Прибор поднимали посредством гирлянды привязных шаров, наполненных водородом, до высоты 100 метров. Отсчеты показаний прибора снимали через интервалы в пять метров по мере подъема или спуска датчиков. Начальный отсчет брали на высоте два метра.

На основе этих данных для каждой точки, где проводились метеоизмерения, были вычислены значения показателя преломления. Атмосферное давление при этом измеряли на начальном уровне и проводили к последующим высотам, используя барометрическую ступень.

На рис. 1 в качестве примера показаны три *N*-профиля, построенные на основе зондирований в пасмурную (1) и ясную безоблачную погоду днем (2) и ночью (3). По горизонтальной оси даны величины показателя преломления в *N*-единицах, а по вертикали — высота в метрах. Всего было построено около 90 таких *N*-профилей, характеризующих распределение показателя преломления при различных условиях погоды и времени суток.

Степень неоднородности в распределении показателя преломления по высоте с достаточной полнотой характеризуется двумя критериями неоднородности: градиентами показа-

теля преломления, определяющими общую закономерность изменения показателя преломления в приземном слое, и средними квадратическими отклонениями, характеризующими степень нарушения этой закономерности вследствие влияния факторов случайного порядка.

С целью количественной оценки указанных характеристик неоднородности и их зависимости от условий погоды матери-

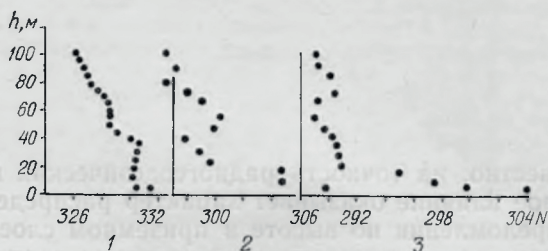


Рис. 1. N -профиля, построенные на основе зондирований в пасмурную и ясную погоду в следующие сроки: 1. 12.30—13.00. 2. 08.05—08.45. 3. 00.00—00.28.

алы зондирований были разбиты на три группы. В первую группу вошли результаты наблюдений, полученные при пасмурной погоде, а во вторую и третью отнесли материалы

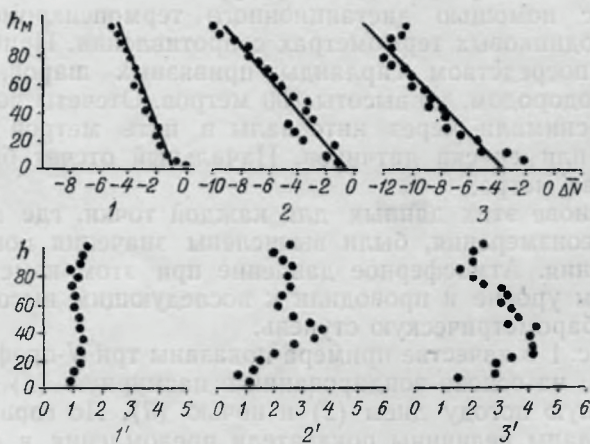


Рис. 2. Зависимость групповых средних от высоты при трех различных условиях стратификации атмосферы.

зондирований, выполненные в условиях ясного, безоблачного неба. При этом данные второй группы относятся к дневным наблюдениям, а третьей — к ночным. С точки зрения характеристики интенсивности термодинамических процессов, про-

текающих в атмосфере, наблюдения первой группы были выполнены в условиях равновесной стратификации (примерная изотермия), второй группы — при сверхравновесной стратификации (при сверхадиабатических градиентах температуры) и в третьей — в условиях устойчивости (инверсия).

Для каждого N -профиля были вычислены разности $\Delta N_i = N_i - N_2$ между значениями показателя преломления на уровне два метра и последующими высотами ($i=5, 10, 15 \dots 100$ м). Затем вычислили групповые средние по каждому высотному интервалу $\overline{\Delta N_i} = \frac{[\Delta N_i]}{n}$, где n — число N -профилей

в группе. Зависимость групповых средних от высоты при трех различных условиях стратификации атмосферы показана в верхней части рис. 2, где уравнения прямой регрессии, устанавливающие эту связь, соответственно по группам имеют вид:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta N_i} &= -0,8 - 0,04 \Delta h_i, \\ \overline{\Delta N_i} &= -1,0 - 0,08 \Delta h_i, \\ \overline{\Delta N_i} &= -3,9 - 0,09 \Delta h_i,\end{aligned}\tag{1}$$

где $\Delta h_i = h_i - h_2$ — разность высот между уровнями, кратными пяти и начальным.

Зависимость, определяемая этими уравнениями, показана на графиках сплошными линиями.

Коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту связи между $\overline{\Delta N_i}$ и $\overline{\Delta N_i}$ в уравнениях (1), оказались соответственно равными $-0,99$; $-0,95$; $-0,94$. Знак минус означает, что показатель преломления с высотой уменьшается.

Уравнения (1) в общем виде могут быть представлены так:

$$\overline{\Delta N_i} = \overline{\Delta N_0} + \Gamma_N \Delta h_i,\tag{2}$$

где Γ_N — градиент показателя преломления, выраженный в N -единицах на метр, а коэффициент $\overline{\Delta N_0}$ обусловлен различием микроклиматических особенностей всевозможных пар точек на высотах i и два метра, а также погрешностями метеоизмерений. Вследствие резкого изменения показателя преломления в слое, непосредственно прилегающем к подстилающей поверхности высотой до 5—10 м, что обычно имеет место в первой половине ночи при ясной погоде, величины коэффициентов $\overline{\Delta N_0}$, особенно в указанном случае, являются весьма существенными.

Приведенные закономерности в изменении показателя преломления являются источниками систематических ошибок

радиодальномерных измерений. С целью выяснения степени влияния источников случайного характера, обусловленных стратификацией показателя преломления, для каждой из трех групп были вычислены по всем высотным интервалам средние квадратические отклонения σ_i , характеризующие степень рассеивания показателя преломления на отдельных N -профилях от общего, монотонного его изменения, по формуле

$$\sigma_i = \sqrt{\Delta N_i^2 - \overline{\Delta N_i^2}}. \quad (3)$$

Определенные таким образом по всем высотным интервалам значения σ_i показаны в нижней части рис. 2. Значения $\overline{\sigma_N}$, осредненные по всему стометровому слою, соответственно по группам составили 1,2; 2,4 и 3,0 N -единиц.

Сопоставляя величины градиентов Γ_N с соответствующими им средними квадратическими отклонениями $\overline{\sigma_N}$, можно отметить, что большим градиентам соответствует более высокая расслоенность структуры показателя преломления в приземном слое. При этом между величинами $\overline{\sigma_N}$ и Γ_N отмечается достаточно устойчивая закономерность: частное от деления значений $\overline{\sigma_N}$ на Γ_N , вычисленных при однотипных условиях стратификации, представляет собой постоянную величину — $\frac{1,2}{0,04} = 30$, $\frac{2,4}{0,08} = 30$, $\frac{3,0}{0,09} = 33$, что дает основание установить эмпирическую зависимость в виде

$$\overline{\sigma_N} \approx C \Gamma_N, \quad (4)$$

где C — постоянное число ≈ 30 и выраженное в метрах.

Выражение (4) позволяет судить о степени расслоенности показателя преломления в приземном слое на основании лишь известных градиентов.

Если среднюю высоту радиолуча вдоль измеряемой радиодальномером линии обозначить через h_{cp} , а среднюю высоту пунктов на концах линии, где измерен показатель преломления, через $h_{1,2}$, то ошибка, обусловленная вертикальными градиентами, будет

$$\Delta g = \Gamma_N \Delta h \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где $\Delta h = h_{cp} - h_{1,2}$ в метрах.

Погрешность, вызванная влиянием случайных неоднородностей, согласно соотношению (4), может быть представлена в виде

$$\delta_\sigma = \Gamma_N C \cdot 10^{-6}. \quad (6)$$

Тогда суммарную ошибку, обусловленную систематическими и случайными факторами неоднородности в вертикальном распределении показателя преломления, запишем в виде

$$m_{\Sigma} = \sqrt{\Delta \epsilon^2 + \delta_{\epsilon}^2} = \Gamma_N 10^{-6} \sqrt{\Delta h^2 + C^2}. \quad (7)$$

Примем $\Delta h = 30$ м, что с некоторым основанием можно считать достаточно характерным для равнинной местности, и найдем погрешность m_{Σ} при радиоизмерениях в ясную и пасмурную погоду, когда градиенты показателя преломления над открытой местностью составляют величины порядка $-0,08 \text{ м}^{-1}$ и $-0,04 \text{ м}^{-1}$. Расчет по формуле (7) дает в первом случае m_{Σ} , равную $\sim 3,8 \cdot 10^{-6}$ и $\sim 1,7 \cdot 10^{-6}$ — во втором.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что при радиодальномерных измерениях в летнее время над открытой местностью с относительно спокойным рельефом погрешности, вызванные неоднородностями в стратификации показателя преломления, составляют величины $\sim 3-4 \cdot 10^{-6}$ при ясной погоде и $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ — при пасмурной. При этом источники ошибок носят как случайный, так и систематический характер. Вследствие систематического влияния ошибок измеренные радиодальномером расстояния имеют тенденцию к занижению.

В результате того, что в слое, прилегающем к подстилающей поверхности высотой 5—10 м, обычно наблюдаются более резкие изменения показателя преломления с высотой по сравнению с градиентами всего слоя, возникают дополнительные погрешности, когда метеоизмерения выполняются на малых высотах, которые однако не превышают $1 \cdot 10^{-6}$ в показателе преломления при неустойчивой и равновесной стратификации и могут достигать $4 \cdot 10^{-6}$ в условиях устойчивости.