

## ПАРАМЕТРЫ СЛОИСТЫХ МЕТЕООБРАЗОВАНИЙ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ

В. А. Кабанов

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины  
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
E-mail: [kabanov@ire.kharkov.ua](mailto:kabanov@ire.kharkov.ua)

Приведены сведения о тропосферных слоях с закритичными вертикальными градиентами коэффициента преломления над Черным морем. Эти данные получены в течение нескольких лет при зондировании атмосферы рефрактометром с борта самолета или вертолета и относятся к диапазону высот 2–1500 м над уровнем моря. Ил. 6. Библиогр.: 1 назв.

**Ключевые слова:** коэффициент преломления, индекс рефракции, тропосферный слой, рефракция, рефрактометр.

С приподнятыми тропосферными образованиями, «слоями», связаны наиболее сильные аномалии условий распространения радиоволн. Слои систематически возникают в атмосфере и могут являться причиной сверхдальнего «волноводного» распространения УКВ.

Следует отметить, что роль тропосферных слоев при исследовании распространения радиоволн обычно недооценивается. Это связано с тем, что статистика слоев в основном базируется на результатах радиозондовых измерений, которые дают искаженное представление о вертикальном профиле коэффициента преломления. Из-за инерционности датчиков (в первую очередь, влажности) радиозонд сглаживает резкие изменения коэффициента преломления, что приводит к уменьшению измеренного вертикального градиента и увеличению толщины слоя. Как следствие, уменьшается и общее число слоев, отмеченных при радиозондировании.

В статье приведены сведения о слоях, полученные при зондировании атмосферы рефрактометром с борта самолета или вертолета над Черным морем. При анализе высотных зависимостей коэффициента преломления учитывались только устойчивые тропосферные слои с горизонтальными размерами в десятки и сотни километров и вертикальным градиентом внутри слоя не ниже критического. Систематические измерения были ограничены высотой 1,5 км над уровнем моря, поэтому и приведенные данные относятся к указанному диапазону высот. Результаты этих измерений частично были представлены в работе [1].

На рис. 1 приведен пример реального высотного профиля индекса рефракции  $N(h)$ . Индекс рефракции  $N = (n - 1) \cdot 10^6$ , где  $n$  – коэффициент преломления атмосферы. Профиль содержит закритичный слой с обозначениями определяемых в процессе обработки параметров:  $\Delta h$  (толщина слоя) и  $\Delta N$  ( $N$ -дефицит в слое). Определялась также средняя высота слоя над поверхностью воды. Пунктирные линии на графике соответствуют

наклону профиля при стандартной и критической рефракциях.

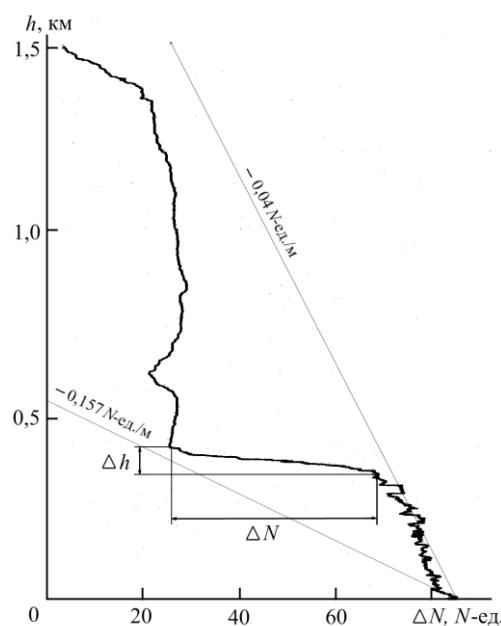


Рис. 1. Пример высотного профиля  $N$  при наличии приподнятого слоя

Как показали измерения, в пределах первых 1,5 км над морской поверхностью одновременно может существовать один, изредка два устойчивых слоя. Слои второго яруса обычно располагаются выше указанного диапазона. Слои бывают как горизонтальными, так и наклонными, причем их высота может довольно быстро изменяться (например, 50–100 м за 10 мин). Если эти изменения происходят на различных участках не синхронно, то меняется наклон слоя.

Слои чаще образуются летом и осенью. Гистограмма на рис. 2 показывает количество опытов, зафиксировавших закритичный слой в процентах к общему числу измерений в данный сезон. Максимальное количество слоев было отмечено в июне 1976 г. (82 %).

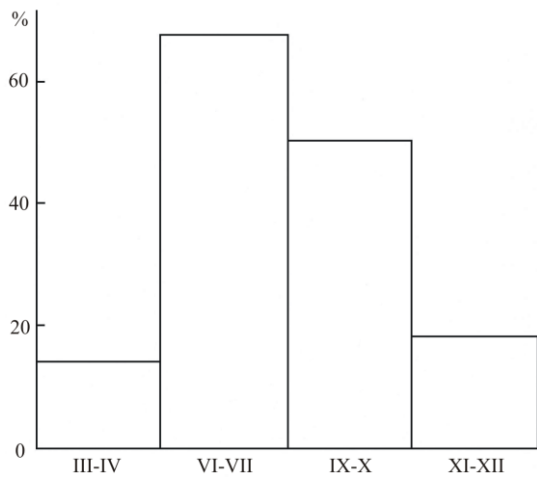


Рис. 2. Относительное количество  $N$ -профилей со слоями в разные сезоны

На рис. 3, а показано относительное распределение слоев по высотам за весь период измерений. Гистограмма показывает, что около 50 % всех зарегистрированных слоев расположено в диапазоне высот 200...500 м над уровнем моря. При этом высотные распределения для летнего рис. 3, б и осеннего рис. 3, в сезонов существенно различны. Для зимнего и весеннего сезонов гистограммы не приведены ввиду малого количества слоев, наблюдавшихся в это время.

В летние месяцы (рис. 3, б) слои располагаются вблизи поверхности воды, образуя на распределении максимум в диапазоне 200–300 м, а на высоте порядка 1,5 км и выше могут появляться слои второго яруса. Хотя осенний сезон мало уступает летнему в количестве образующихся слоев (рис. 3, в), для него характерно их отсутствие вблизи поверхности воды и более равномерное размещение в остальном диапазоне высот. Подобная картина повторялась в течение трех лет измерений, что иллюстрирует график, изображенный на рис. 4, на котором показана средняя высота слоев, а также отмечен диапазон высот, в котором они наблюдались. На графике хорошо просматривается тенденция к снижению высоты слоев и их компактное расположение вблизи поверхности воды в летние месяцы. Для июня 1977 г. отдельно указана высота расположения слоев второго яруса.

По высотным зависимостям  $N(h)$  для каждого зарегистрированного слоя определялись такие параметры, как: толщина слоя  $\Delta h = h_b - h_n$ , где  $h_b$  и  $h_n$  – верхняя и нижняя границы слоя; изменения  $N$  от нижней до верхней границы  $\Delta N = N_n - N_b$  ( $N$ -дефицит); средний градиент в слое  $g_N = -\Delta N/\Delta h$ . Гистограммы распределений статистических рядов этих параметров представлены на рис. 5.

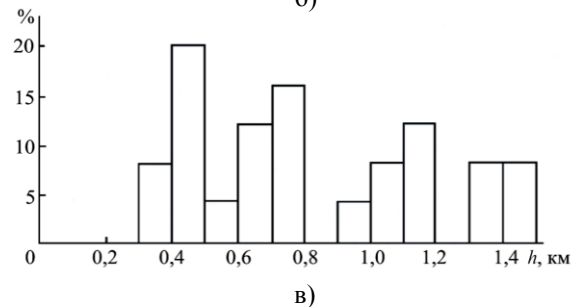
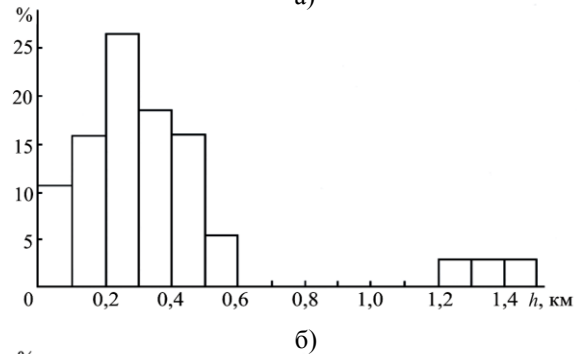
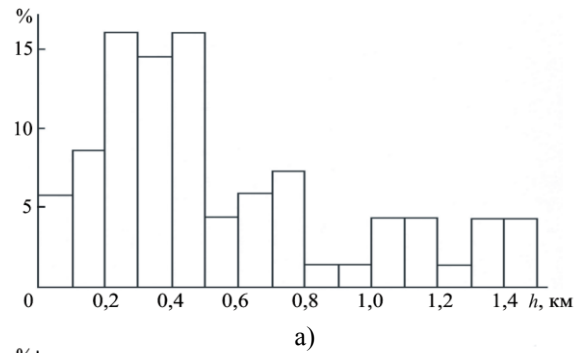


Рис. 3. Распределение слоев по высотам за весь период измерений (а), летний (б) и осенний (в) сезоны

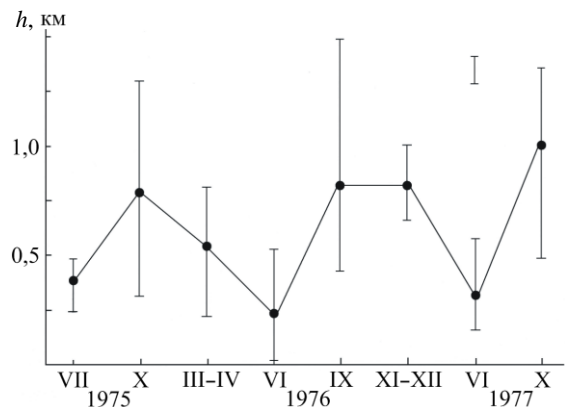


Рис. 4. Высота расположения слоев в разные сезоны

В среднем толщина слоя составляет около 85 м и колеблется в пределах 10...250 м, при этом в 76 % наблюдений слои имели толщину от 20 до 100 м (рис. 5, а).

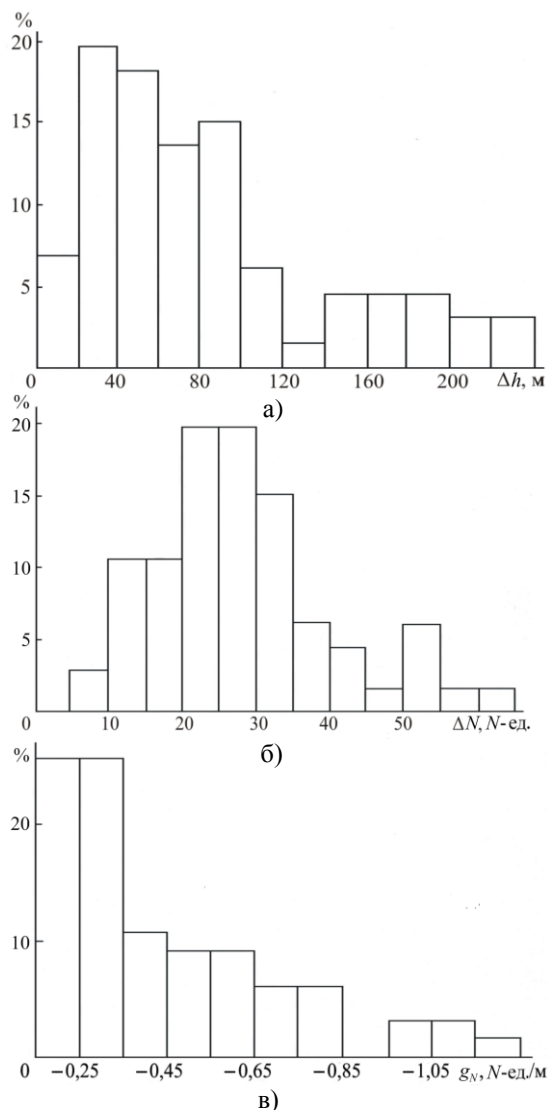


Рис. 5. Гистограммы распределения  $\Delta h$  (а),  $\Delta N$  (б) и  $g_N$  (в) в слоях

Относительно стабильным оказался  $N$ -дефицит в слое (рис. 5, б). Для 75 % случаев  $\Delta N$  находилось в пределах  $10 \div 35 N$ -ед., а в 40 % случаев  $20 \div 30 N$ -ед. при среднем значении за весь период измерений  $28,6 N$ -ед. и максимальном  $62 N$ -ед.

В связи с тем, что при обработке результатов измерений в расчет принимались лишь слои с градиентом не ниже критического, то и распределение  $g_N$  начинается со значения  $-0,157 N$ -ед./м (рис. 5, в). При этом 50 % случаев приходится на интервал  $-0,157 \div -0,35 N$ -ед./м, среднее значение равно  $-0,45 N$ -ед./м, а максимальный зарегистрированный за весь период измерений градиент в слое равен  $-1,23 N$ -ед./м.

Образование закритичных слоев даже с большими значениями  $\Delta N$ , как правило, не связано с ростом  $N$ -дефицита во всем полуторакилометровом слое, а происходит за счет перераспределения коэффициента преломления по высоте.

Так, при усреднении высотных зависимостей индекса рефракции за год изменение  $N$  от морской поверхности до высоты 1,5 км составило  $62,4 N$ -ед. и  $59,4 N$ -ед. при наличии и отсутствии слоев соответственно. При этом следует учесть, что профили со слоями преимущественно относятся к летнему и осеннему сезонам, когда выше и средний градиент в пограничном слое атмосферы. Поэтому слоям с большими отрицательными градиентами, как правило, сопутствуют высотные интервалы с пониженной и даже субрефракцией, которые обычно располагаются выше закритичного слоя.

Могут представлять интерес результаты зондирования облачности, которую принято рассматривать как крупную неоднородность коэффициента преломления. Однако в процессе измерений неоднократно наблюдалась картина, изображенная на рис. 6, когда прохождение сплошной плотной облачности, сопровождавшееся выделением воды на иллюминаторах самолета, практически не сказывалось на высотном распределении  $N$ . В то же время в визуально чистой атмосфере выше облаков видны крупные неоднородности коэффициента преломления. Таким образом, наличие облачности еще не является обязательным признаком аномальности высотного профиля коэффициента преломления.

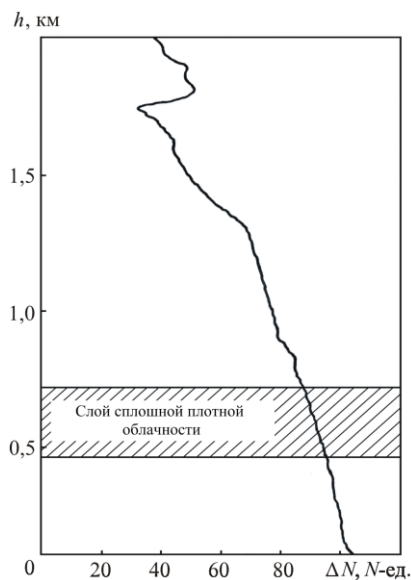


Рис. 6. Пример профиля  $N(h)$  при наличии слоя облачности

**Выводы.** Тропосферные слои большой протяженности с вертикальным градиентом  $N$  в пределах слоя выше критического чаще всего наблюдаются летом (около 70 % опытов) и осенью (50 %). При этом летом они располагаются ближе к поверхности воды. В пределах первых полутора километров над морской поверхностью одновременно может существовать один, изредка два устойчивых слоя.

Образование слоев, как правило, не связано с ростом  $N$ -дефицита во всем полутораклометровом слое, а происходит за счет перераспределения коэффициента преломления по высоте.

Наличие облачности не является обязательным признаком аномальности высотного профиля коэффициента преломления.

*Кабанов В. А., Тургенев И. С.* Рефрактометрические исследования слоистых метеобразований над морем // Радиотехника. Харьков. ун-т. – 1980. – Вып. 55. – С. 99–100.

#### PARAMETERS OF THE STRATIFIED METEOROLOGICAL FORMATIONS ABOVE THE BLACK SEA

V. A. Kabanov

The information on tropospheric layers with supercritical vertical gradients of refraction coefficient above the Black Sea

has been given. This data has been obtained thanks to atmosphere sounding from an aircraft or helicopter by means of refractometer at an altitude ranging from 2 to 1500 meters.

**Key words:** refraction factor, refraction index, tropospheric layer, refraction, refractometer.

#### ПАРАМЕТРИ ШАРУВАТИХ МЕТЕОУТВОРЕНЬ НАД ЧОРНИМ МОРЕМ

В. О. Кабанов

Наведено відомості про тропосферні шари із закритими вертикальними градієнтами коефіцієнта заломлення над Чорним морем. Ці дані отримані при зондуванні атмосфери рефрактометром з борту літака або вертольота й стосуються діапазону висот 2–1500 м над рівнем моря.

**Ключові слова:** коефіцієнт заломлення, індекс рефракції, тропосферний шар, рефракція, рефрактометр.

*Рукопись поступила 19 декабря 2008 г.*