

ЗАХІДНЕ ГЕОДЕЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО УТГК
УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО ГЕОДЕЗІЇ ТА КАРТОГРАФІЇ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
УКРГЕОДЕЗКАРТОГРАФІЯ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ГЕОДЕЗІЇ І КАРТОГРАФІЇ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ІНСТИТУТ ЗЙОМКИ МІСТ
ТА ГЕОІНФОРМАТИКИ ім. А.В. ШАХА “УКРГЕОІНФОРМ”
ДЕРЖАВНЕ НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО “КАРТОГРАФІЯ”
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО “ЗАКАРПАТГЕОДЕЗЦЕНТР”
ЗАТ “ІНСТИТУТ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ”
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО “ХЕРСОНГЕОІНФОРМ”
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО “АЗОВІНЖГЕОДЕЗІЯ”
ВАТ “ОДЕСАГАЗ”

СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ НАУКИ ТА ВИРОБНИЦТВА

Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК

Видається з 1996 р.

Головний редактор – доктор технічних наук, професор І.С. Тревого

Присвячується 10-й річниці професійного свята
працівників геології, геодезії і картографії України
та 60-річчю Інституту геодезії
Національного університету
“Львівська політехніка”

Львів

Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”

2005

УДК 528

У цьому випуску збірника публікуються нові результати розвитку теорії та методів дослідження фігури Землі і зовнішнього гравітаційного поля, а також дослідження в галузі використання GPS- і GIS-технологій, в галузі інженерної геодезії, картографії, фотограмметрії та кадастру.

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів геодезичного профілю, працівників геодезичних та картографічних підприємств і відомств.

New results of the development of theory and practice in researches of the figure of Earth and gravity field are published in this issue of the article collection. Researches in the area of use of GPS and GIS, in engineering geodesy, cartography, photogrammetry and cadastre.

This article collection is for scientists, academics, PhD students of geodetic stream, and employees of geodetic companies and authorities.

В этом выпуске сборника опубликованы новые результаты развития теории и методов исследования фигуры Земли и внешнего гравитационного поля, а также исследования в области использования GPS- и GIS-технологий, в области инженерной геодезии, картографии, фотограмметрии и кадастра.

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов геодезического профиля, работников геодезических предприятий и ведомств.

Друкується за рекомендацією
Правління Українського товариства геодезії і картографії
Протокол №11 від 15 грудня 2004 р.

*Занесений ВАК України до переліку фахових видань з технічних наук від 11 жовтня 2000 р. Постанова № 1-03/8.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 8565 від
23.03.2004 р.*

Редакційна колегія:

Тревого І.С., д-р техн. наук (головний редактор), Президент Українського товариства геодезії і картографії, професор Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Савчук С.Г., канд. техн. наук (заст. головного редактора), доцент Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Глотов В.М., канд. техн. наук (відп. секретар), доцент Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Макаренко І.Д., заступник Голови Держкомприродресурсів України (м. Київ);
Бондар А.Л., канд. техн. наук, директор ТзОВ “Геоматичні рішення” (м. Київ);
Сосса Р.І., д-р техн. наук, директор ДНВП “Картографія” (м. Київ);
Дорожинський О.Л., д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Марченко О.М., д-р фіз.-мат. наук, професор Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Островський А.Л., д-р техн. наук, професор Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Перович Л.М., д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів);
Рудий Р.М., д-р техн. наук, професор, декан Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ);
Черняга П.Г., д-р техн. наук, професор, декан Українського національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне);
Юрківський Р., канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри Одеської державної академії будівництва і архітектури (м. Одеса);
Волчко П.І., начальник відділу ДП “Західгеодезкартографія” (м. Львів);
Смірнова О.М., канд. техн. наук, доцент Національного університету “Львівська політехніка” (м. Львів).

Адреса редколегії:

Західне геодезичне товариство,
Інститут геодезії Національного університету
“Львівська політехніка”
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна
тел.: +38 -032- 258-27-60, тел.: +38 -0322-72-19-75
E-mail: ssavchuk@polynet.lviv.ua

© Західне геодезичне товариство, 2005

© Національний університет “Львівська політехніка”, 2005

УДК 528.28:629.783

ПРИЗЕМНЫЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ И ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Н.И. Каблак, В.У. Климик, И.В. Швалагин, У.И. Каблак,
Лаборатория космических исследований Ужгородского национального университета,
Ужгород, Украина

Работа посвящена проблеме повышения точности учета влияния земной атмосферы на результаты дневных дальномерных наблюдений искусственных спутников Земли. На основании полученных данных аэрологического зондирования атмосферы, используя сферически-симметричную и не сферичную модели атмосферы определено значения поправок и их пространственно-временные вариации.

Почти во всех моделях, определяющих поправку Δr в расстояние при радиодальномерных наблюдениях, используется температурный профиль (ход T с высотой) стандартной атмосферы (СА) [1 – 5]. В СА атмосфера разбивается на слои, в пределах которых распределение метеопараметров может быть описано в рамках политропной (градиент температуры постоянный), или изотермической моделей. Распределение базируется на результатах обработки многолетних данных аэрологического зондирования атмосферы (то есть является усредненным). В тропосфере принимается линейное уменьшение температуры с высотой:

$$T(h) = T_0 - \gamma \cdot (h - h_0), \quad (1)$$

где $\gamma = 6,5$ град./км – средний градиент температуры.

Эта зависимость справедлива до высоты тропопаузы h_{I1} . Выше h_{I1} принимается, что температура остается постоянной до высоты h_{I2} , начиная с которой температура снова возрастает. Высоты h_{I1} и h_{I2} изменяются в зависимости от географической широты, сезонных изменений и местных особенностей данного пункта наблюдений. Так, в Ужгороде h_{I1} на протяжении года изменяется в пределах от 8 до 12,5 км.

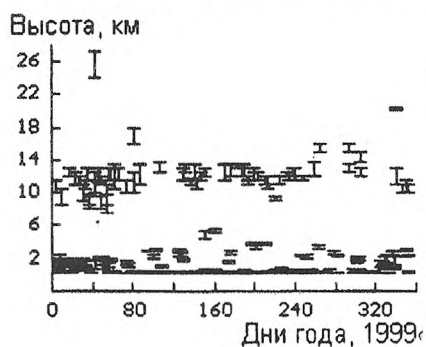


Рис. 1. Мощность слоев инверсии температуры по результатам ночных наблюдений в Ужгороде

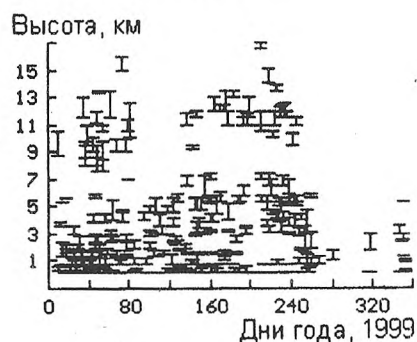


Рис. 2. Мощность слоев инверсии влажности по результатам ночных наблюдений в Ужгороде

Формула (1) хорошо согласуется с реальными данными для дневных условий наблюдения. Но ночью высотный профиль $T(h)$ более сложный.

В ночное время инверсий температуры значительно больше (иногда в два раза), чем днем за счет радиационных инверсий. На рис. 1, 2 приведено размещение и мощность $\Delta h = h_2 - h_1$ слоев инверсий температуры и влажности по данным ночных аэрологических

зондирований атмосфери в пункті Ужгород в 1999 г. На рис. 3, 4 графічно представлено змінення інтенсивностей $\Delta T = T_2 - T_1$, $\Delta e = e_2 - e_1$ і потужності Δh температури T і вологості e по результатах нічних зондирований в Ужгороді в 1999 г.

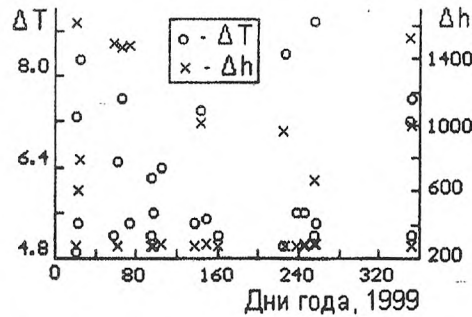


Рис. 3. Изменение интенсивности ΔT и мощности Δh температуры в 1999 г. по результатам ночных зондирований в Ужгороде

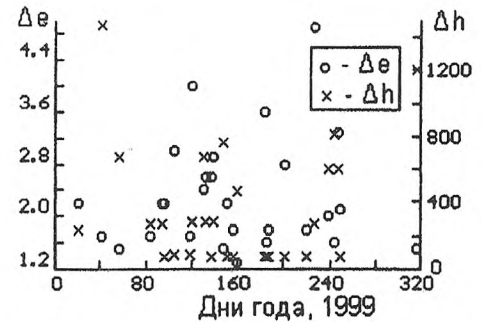


Рис. 4. Изменение интенсивности Δe и мощности Δh влажности в 1999 г. по результатам ночных зондирований в Ужгороде

Інверсії температури в більшості випадків приводять до відповідним інверсіям парціального тиску водяної пари. Но розміщення і потужність інверсій T і e не завжди співпадають.

Аналіз аерологічних даних в різних пунктах показав, що в шарах атмосфери до висоти 3 км інверсії температури спостерігаються в 73–97 % зондирований атмосфери. Особливо потужні інверсії спостерігаються ніччю в зимній період, в основному за рахунок радіаційних інверсій. В 1999 році з 235 нічних зондирований в Ужгороді в 173 випадках (74 %) мала місце інверсія температури. Інверсії в шарі 8–18 км (верхній шар) мають місце в 20–40 % зондирований, коли спостерігалася інверсія. В Ужгороді в 1999 г. приблизно в 40 % загального кількості даних з інверсіями спостерігалися інверсії в верхньому шарі (рис. 1).

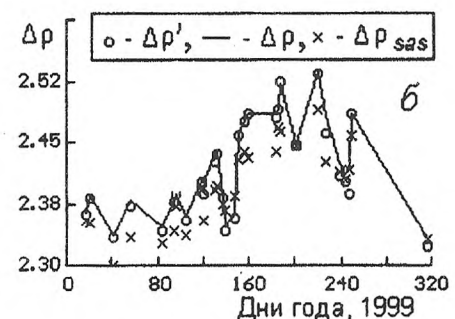
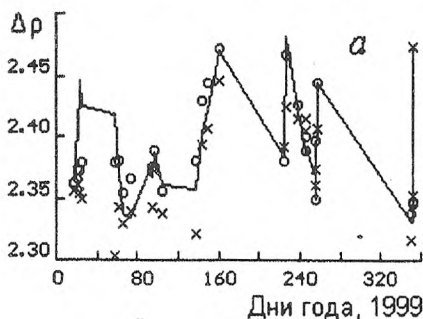


Рис. 5. Изменение поправки $\Delta \rho$ (в метрах) по результатам ночных зондирований атмосферы в Ужгороде в 1999 г. (линия); \circ – эти же поправки с исключенными инверсиями температуры (а) или влажности (б); \times – поправки, вычисленные по формуле Саастамойнена

Предсказать существование инверсий на определенной высоте h лишь за данными измерений на поверхности земли невозможно. Следует представлять T нелинейной зависимостью, которая лучше согласуется с реальными значениями T и учитывает инверсии в приземном слое.

Для оценки влияния инверсии T и e (и, следовательно, инверсии N) на атмосферную поправку в расстояние $\Delta \rho$ по аерологическим данным на даты, когда имели место мощные инверсии e и T , мы вычислили поправки $\Delta \rho$, а также по этим же данным –

поправки $\Delta\rho'$ с исключенными инверсиями и поправки $\Delta\rho_{sas}$, найденные по наземным параметрам по формуле Саастамойнена.

Результаты этих вычислений представлены графически на рис. 5: значения поправок $\Delta\rho$ (линия) в ночи, когда наблюдалась инверсия температуры, и в эти же ночи значения $\Delta\rho_{sas}$ (крестики), а также $\Delta\rho'$ – поправки с исключенными инверсиями (кружечки) температуры (рис. 5, а) или влажности (рис. 5, б). На рис. 5 видно, что в большинстве случаев $\Delta\rho$ больше $\Delta\rho'$.

По данным зондирований атмосферы в Ужгороде в 1999 г. средний вклад в атмосферную поправку инверсии температуры: от 29мм до 64мм. Вклад в атмосферную поправку инверсии влажности значительно меньше: от 3мм до 15мм.

С увеличением интенсивности инверсии T и e увеличивается вклад $\Delta\rho - \Delta\rho'$ инверсии в поправку. По результатам наблюдений в Ужгороде в 1999 г. получены линии регрессии корреляционных зависимостей $\Delta\rho - \Delta\rho'$ (м) от интенсивностей ΔT и Δe инверсии (рис. 6 и 7) и соответствующие коэффициенты регрессии ρ :

$$\Delta\rho - \Delta\rho' = 0.00566 \cdot \Delta T - 0.01712; \quad \rho = 0.24;$$

$$\Delta\rho - \Delta\rho' = 0.00503 \cdot \Delta e - 0.00642; \quad \rho = 0.53.$$

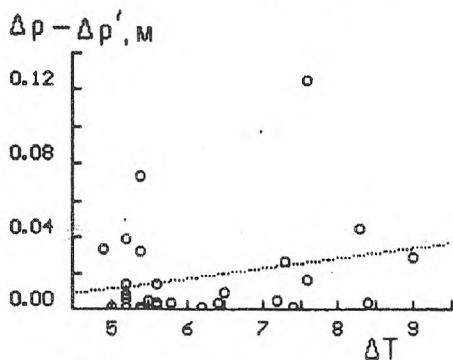


Рис. 6. Корреляционная зависимость вклада в поправку инверсии температуры от интенсивности инверсии ΔT

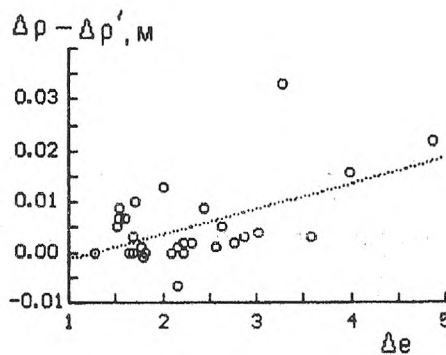


Рис. 7. Корреляционная зависимость вклада в поправку инверсии влажности от интенсивности инверсии Δe

Источником существенных ошибок при определении поправки $\Delta\rho$ по наземным измерениям и на основе аэрологических метеопараметров атмосферы является использование сферически-симметрической модели атмосферы.

Горизонтальные градиенты показателя преломления в оптическом диапазоне исследовал Гарднер [1, 3]. Он показал, что горизонтальные градиенты на зенитном расстоянии $z = 80^\circ$ дают среднеквадратическую ошибку 3см. Модель Гарднера была развита в работах Геринга [3] и Мак Милана [3]. Геринг сделал вывод, что вклад азимутальной асимметрии в поправку не превышает 10 см на $z = 85^\circ$, но в отдельных случаях может быть намного больше. По Мак Милану – дневные средние градиенты составляют 5см задержки на $z = 83^\circ$.

Все эти работы имеют некоторые недостатки, в частности, малое количество дат и пунктов, малый диапазон базовых расстояний между опорными пунктами. Для полного анализа необходимо исследовать горизонтальные градиенты на основе большого количества данных, для разных климатических условий, и особенно, в разных масштабах: от 20–40 км., до 600–800 км, поскольку на больших зенитных расстояниях (85° – 89°) радиоволна проходит в атмосфере расстояние более 800 км.

Чтобы оценить отклонение реальной атмосферы от сферически-симметрической модели следует выбрать пункты $B(\varphi, \lambda)$ и $C(\varphi, \lambda)$, расположенные в направлении распространения (зенитное расстояние z) электромагнитной волны (луча) из опорного пункта $A(\varphi, \lambda)$. Можно определить высоту H_1 электромагнитной волны над пунктом B и высоту H_2 над пунктом C . Если имеются результаты синхронных аэрологических зондирований атмосферы в этих трех пунктах, то найдем разницы индексов рефракции: $\Delta'N_{AB} = N_A' - N_B'$ на высоте H_1 для пунктов A, B и $\Delta''N_{AC} = N_A'' - N_C''$ на высоте H_2 для A, C , т.е. разницы индексов рефракции сферически-симметрической модели и реальной атмосферы в опорном пункте на данном азимуте A и зенитном расстоянии z в некоторой точке, определяемой расстоянием $r_1 = AB$ ($r_2 = AC$) или высотой H_1 (H_2).

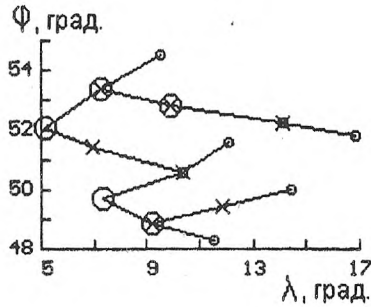


Рис. 8. Географические координаты опорных (о-А) и исследуемых (х-В, о-С) пунктов

Если значения Δ' и Δ'' зависят от азимута, то атмосфера Земли отличается от сферически-симметрической модели.

Из 35 пунктов, расположенных в 16 странах Европы мы выбрали 7 троек пунктов (пункт A – опорный, пункты B и C – исследуемые), удовлетворяющих условиям: (1) линия ABC мало отличается от прямой; (2) векторы AC имеют разные азимуты $A \approx \arctan \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}$; (3) расстояние r_1 , а также r_2 , для всех троек пунктов A, B, C приблизительно равны. Эти 7 троек пунктов и соответствующие линии ABC приведены на рис. 8 в системе географических координат φ, λ . Опорные пункты (A) обозначены большими кружечками, пункты B – крестиками, C – малыми кружечками.

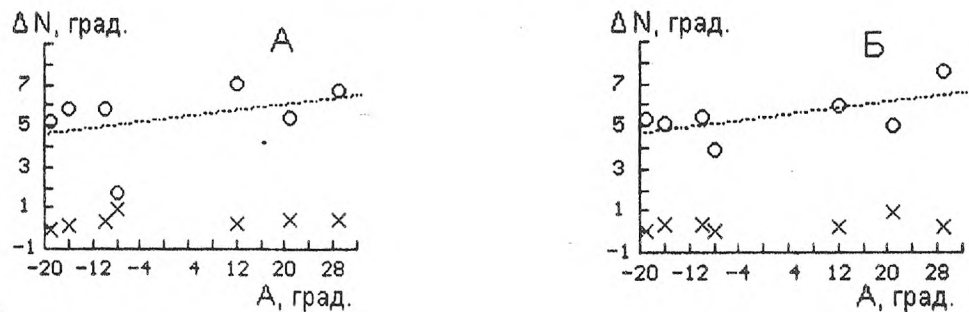


Рис. 9. Разницы ΔN индексов рефракции сферически-симметрической модели и реальной атмосферы на разных азимутах A (зенитное расстояние $z = 88^\circ$) на высоте 6 км в пунктах B (о) и 26 км в C (х) в ночное время (А) и днем (Б).

Средние расстояния от опорных пунктов: $AB = 300 \pm 80$ км, $AC = 625 \pm 100$ км. Азимуты изменяются в пределах: $-19^\circ \leq A \leq 29^\circ$. Исследуем высоты $H_B = 6$ км и $H_C = 26$ км. Соответствующие точки находятся над пунктами B и C на луче, выходящем из пункта A с зенитным расстоянием 88° . Небольшие расхождения высот H_B и H_C для

разных троек пунктов при определении ΔN_{AB} и ΔN_{AC} устранялись интерполированием. Результаты вычислений разностей рефракции ΔN на высоте 6 км и 26 км (фактически разностей индексов рефракции луча из А, $z = 88^\circ$, в пунктах В и С сферически-симметрической модели и реальной атмосферы) приведены на рис. 9.

В данном промежутке азимутов ($-20^\circ, 30^\circ$) на высоте 6 км ($r_1 = 300$ км) заметно некоторое увеличение ΔN пропорционально значению A , но корреляция слабая. Для уверенного определения зависимости от A нужно большее количество пунктов. Приводим уравнения регрессии (рис. 9) и соответствующие коэффициенты регрессии для ночного времени и днем:

$$\Delta N_n = 0.03650 \cdot A + 5.357, \quad \rho = 0.40; \quad \Delta N_d = 0.03635 \cdot A + 5.409, \quad \rho = 0.61.$$

Усредненные по азимуту значения разниц:	r	день	ночь	среднее
6км		5,40±1,63	5,46±1,05	5,43±1,37
26км		0,35±0,30	0,30±0,27	0,33±0,29

Результаты для ночи и дня мало отличаются. И так как значения A не слишком отличаются от нуля, можно попытаться сделать общий вывод об изменении ΔN при увеличении расстояния r от опорного пункта на восток в направлении $z = 88^\circ$. Но для этого есть только три точки ($r; \Delta N$): (0; 0), (300; 5.4), (625; 0.3). Поэтому следует провести такие же исследования для пунктов с расстояниями r 150–300 км и 400–450 км.

Литература

1. Mironov N., Shvalagin I., Kablak N.. Validation of the IERS standard tropospheric model . Varshava, 18–19 Sept. 1995.– P.161–164.
2. Миронов М.Т., Каблак Н.І. Вплив атмосфери на вимірювання відстаней при денних лазерних спостереженнях ШСЗ. // Кинематика и физика небесных тел. – 1998. – Т. 14, № 1. – С. 77–81.
3. Mendes, V.B Modeling the neutral-atmosphere propagation delay in radiometric space techniques. Ph.D. dissertation (in preparation), Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, 1998.
4. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика. – К.: Наук. думка, 1996. – 376 с.
5. Каблак Н.І., Клімик В.У. та інші. Вплив атмосфери на віддалемірні спостереження штучних супутників Землі. // Наук. вісн. Ужгородськ. ун-ту. Сер: Фізика. – 1999. – Вип. 5. – С. 18–21.

Приземні шари атмосфери та точність спостережень штучних супутників Землі

М.І. Каблак, В.У. Климик, І.В. Швалагин, У.І. Каблак

У роботі розглянуто проблему підвищення точності врахування впливу земної атмосфери на результати денних дальновимірних спостережень штучних супутників Землі. Беручи за основу отримані дані аерологічного зондування атмосфери, використовуючи сферично-симетричну, а не сферичну її модель, визначені значення поправок та їх просторово-часові варіації.

Nearearthy layers of Atmosphere and exactness of supervisions of artificial satellites of Earth

M. Kablak, V. Klymyk, I. Shvalagin, U. Kablak

The paper studies the problem of accuracy increasing in allowing for Earth's atmosphere influences on results of daily distance ranging observation of the Earth artificial satellites. Determined atmosphere delays and spatial-timely variations for radiosounding data using spherical-symmetrical and unspherical models of atmosphere.