

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ — ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Достижения, проблемы и задачи по определению и учету атмосферной рефракции при астрономических наблюдениях освещены во многих работах советских и зарубежных ученых [1, 5, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 19 и др.]. Цель нашей работы — подытожить исследования астрономической рефракции и ее аномалий в близгоризонтной зоне, выполненные в полевых условиях с помощью геодезических и астрономических теодолитов применительно к задачам геодезической (полевой астрономии) и спутниковой геодезии. К таким исследованиям следует отнести прежде всего наблюдения Н. А. Василенко, проводимые с помощью астрономического теодолита УВ 2"/2" в Голосеево, отдельные и совместные наблюдения авторов оптическими теодолитами ОТ-02 в юго-западном районе УССР, в Заполярье, в Западном секторе Советской Арктики и в Средней Азии. Не менее заслуживают внимания исследования астрономической рефракции, проводимые ростовскими геодезистами в южных и юго-восточных районах с помощью оптических теодолитов ОТ-02 и УВКТ, а также наблюдения астрономо-геодезистов Львовского политехнического института теодолитами УВ 2"/2" и ОТ-02 в западных и южных районах нашей страны.

Объектами наблюдений в большинстве случаев являлись Солнце и яркие звезды, реже — планеты, в том числе Луна. Основной метод определения астрономической рефракции — измерение зенитных расстояний по часовому углу светила как на фиксированных, так и произвольных высотах. Фиксация времени при наблюдениях оптическими теодолитами проводилась по методу «глаз—ухо» [6, 7] и «глаз—клавиша» [3, 8], а при наблюдениях астрономическими теодолитами УВ 2"/2" с помощью контактного микрометра [9, 14]. В [14] предпринята попытка определения астрономической рефракции по измерению зенитного расстояния и азимута светила. Один из авторов предложил способ определения астрономической рефракции по наблюдениям двух светил в общем вертикале. Этим способом выполнен ряд наблюдений, подтвердивших хорошую точность инструментального определения рефракции.

Практически в любом методе программа наблюдений сводится к следующему: прием сигналов точного времени, определение места зенита теодолита, серия наблюдений светила, состоящая из  $n$ -кратного фиксирования момента прохождения его через горизонтальную нить или несколько нитей в поле зрения трубы с отсчетами вертикального круга, соответствующего положению трубы в момент прохождения светила естественно с учетом уровня при вертикальном круге. Таких серий может выполняться несколько.

Затем через час-два (поскольку нет единого наставления или согласования, разные исследователи по-своему строят программу наблюдений) производится повторное определение места зенита и прием сигналов времени и т. д. Кроме того, как правило, инструментальные измерения рефракции сопровождаются метеорологическими измерениями температуры, давления и влажности воздуха с целью получения табличной рефракции, а затем и ее аномалий. Причем и здесь нет оптимального варианта как в количестве измерений, так и в частоте.

Что касается точности инструментального определения рефракции, то по данным исследований [2, 3, 6, 8, 9] средняя квадратическая ошибка определения угла рефракции теодолитами ОТ-02 или УВ 2''/2'' составляет при высотах 10° около 2...3'', а в горизонте 8...10''.

На основании выполненных исследований инструментального определения рефракции и ее аномалий установлено:

1. С увеличением зенитных расстояний возрастают аномалии рефракции, достигающие при  $z=88...89^\circ$  нескольких десятков угловых секунд, а в горизонте — минут, в экстремальных (аномальных) условиях — десятков минут.

2. По результатам наблюдений аномалии рефракции в зимнее время года больше, чем в летнее [2].

3. Ряд исследователей [2, 12 и др.] утверждают, что существуют наклоны слоев равной плотности в глобальном масштабе с востока на запад. Это подтвердили и результаты наших наблюдений летом 1984 г. в районе г. Балхаш Казахской ССР: как по наблюдениям Солнца, так и ярких звезд в восточной стороне аномалии рефракции получались положительные; при наблюдениях в западной части — отрицательные, или с переменным знаком. Аналогичную картину мы отметили в летний период 1980 г. в арктическом районе: по результатам измерений зенитных расстояний Солнца в утренние часы получены преимущественно положительные аномалии рефракции, а вечером — отрицательные. Правда, в данном случае утренний сектор наблюдений располагался над морской поверхностью, а вечерний — на протяжении ближайших 50...80 км над сушей.

4. По данным экспериментальных инструментальных исследований рефракции, а также по расчетным значениям, полученным на основании зондирования атмосферы, установлено увеличение астрономической рефракции и ее аномалий вследствие инверсии температуры в нижних слоях воздуха [3, 11, 13 и др.]. Особенно большими они оказались для районов Центральной Антарктиды [4]. Это объясняется наличием там сверхмощных и интенсивных инверсий температуры в приземном и пограничном слоях атмосферы, а также частым появлением приподнятых инверсий.

5. Ряд авторов [2, 9, 12 и др.] установили зависимость аномалий рефракции от температуры, измеренной у инструмента. Очевидно здесь существует не прямая, а косвенная зависимость. С изменением температуры на уровне наблюдателя изменяется стра-

тификация приземного слоя, которая и формирует преимущественно характер самой рефракции и ее аномалий.

6. По результатам наших наблюдений в различных физико-географических районах СССР, а также по данным других исследователей обнаруживается следующий фактор: с увеличением зенитных расстояний при  $z > 80^\circ$  аномалии рефракции возрастают, затем в зоне примерно  $85 \dots 87^\circ$  они убывают по абсолютной величине до минимума или претерпевают изменение знака и далее до горизонта резко возрастают. Описание данного явления встречается в литературе, однако интерпретация не дается. На наш взгляд, зенитная зона  $85 \dots 87^\circ$  на расстоянии ближайших  $5 \dots 10$  км от инструмента является как бы разделяющей, рассекающей пограничный слой, отделяя сверху свободную атмосферу, снизу — приземный слой воздуха. Луч, проходящий в этой зоне, как бы уравнивается. А при наклонах, близких к горизонту, все указанное расстояние луч проходит в приземном слое воздуха, стратификация которого, как известно, претерпевает наибольшие изменения: при инверсии — это наиболее устойчивый слой, при сверхдиабатическом распределении температуры — наиболее турбулентный. Аналогичная, но более четкая картина получена для аномалий рефракции в полярных районах. Там аномалии определялись относительно рефракции по данным аэрологического зондирования и рефракции по Пулковским таблицам. По данным зондирования составлено для различных полярных станций по 13 зимних и летних моделей: для десяти станций Антарктиды, для трех Арктики. Во всех без исключения случаях при  $z$  от  $70^\circ$  до  $85^\circ$  аномалии рефракции отрицательны и возрастают по абсолютной величине, достигая при  $z = 85^\circ$  летом  $-0,3 \dots -0,5''$ , а зимой  $-1 \dots -3''$ . Затем при  $z = 87^\circ$  аномалии становятся положительными и при  $z = 89^\circ$  достигают от  $+2$  до  $+55''$  летом и от  $+20$  до  $215''$  зимой.

Несмотря на обилие информации об экспериментальных определениях астрономической рефракции, необходимо отметить следующие существенные недостатки, присущие большинству исследований.

1. Отсутствие единой методики астрономического определения рефракции, что затрудняет сопоставление экспериментальных рядов, полученных различными авторами.

2. Неоднозначность решения вопроса о репрезентативности метеорологических данных в пункте наблюдений (пространственное расположение метеодатчиков и частота их опроса).

3. Практически отсутствуют фундаментальные исследования точности методов инструментального определения рефракции как в лабораторных, так и полевых исследованиях.

4. Бессистемность экспериментальных исследований рефракции, т. е. построение программы наблюдений без учета особенностей изучаемого явления.

5. Отсутствие единых требований к выбору, исследованию и юстировке теодолитов, предназначенных для инструментального определения рефракции.

6. Недостаточность исследований влияния погрешностей фиксации времени при определении рефракции, в частности, недооценка влияния лично-инструментальной разности. Последнее усугубляется применением в полевой астрономии морально устаревшего и разнотипного оборудования для фиксации времени (маркопечатающих хронографов, импульсных приставок, хронорегистраторов и т. д.).

7. Разнотипность и нестандартность метеорологических приборов, применяемых для описания метеорологической обстановки в моменты наблюдений светил.

В настоящее время экспериментальные исследования астрономической рефракции призваны решать следующие задачи:

непосредственное изучение физики рефракционных явлений в атмосфере;

проверка моделей атмосферы (в том числе таблиц рефракции) и методов учета астрономической рефракции, основанных на этих моделях;

получение надежной информации для решения обратных задач рефракции.

На основании изложенного с целью успешного и корректного развития экспериментальных исследований рефракции необходимо разработать единый комплекс требований и рекомендаций по применению астрономических методов экспериментального определения рефракции, учитывающих все перечисленные недостатки.

1. *Беляев Н. А.* К вопросу определения астрономической рефракции // *Астрономический журнал*. 1956. Т. 32. Вып. 6. С. 555—562.
2. *Василенко Н. А.* Определение астрономической рефракции у горизонта в различные периоды года // *Астрометрия и астрофизика*. 1972. Вып. 17. С. 96—107.
3. *Заблоцкий Ф. Д., Киричук В. В.* Экспериментальные исследования астрономической рефракции на больших зенитных расстояниях в Заполярье // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1976. Вып. 23. С. 28—35.
4. *Заблоцкий Ф. Д., Кулиш Л. А.* Влияние инверсии температуры на величину астрономической рефракции в Центральной Антарктиде // *Тез. докл. Всесоюзного совещания по рефракции электромагнитных волн в атмосфере*. Томск, 07.09.1983. Томск, 1983. С. 76—78.
5. *Зверев М. С.* К вопросу о вычислении рефракционных аномалий по данным аэрологических наблюдений // *Астрономический журнал*. 1946. Т. 23. Вып. 2. С. 97—110.
6. *Киричук В. В.* Об аномалиях астрономической рефракции вблизи горизонта // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1971. Вып. 3. С. 67—71.
7. *Киричук В. В.* К вопросу влияния личной ошибки на определение времени по наблюдениям Солнца // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1971. Вып. 14. С. 21—28.
8. *Киричук В. В., Олейник Н. М.* Опыт определения асимметрии астрономической рефракции вблизи горизонта // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1977. Вып. 26. С. 32—39.
9. *Коваленко В. А., Маслич Д. И., Русин М. И., Сидоров И. С.* Определение аномалий астрономической рефракции на больших зенитных расстояниях в прибрежном районе // *Вращение и приливные деформации Земли*. 1984. Вып. 16. С. 47—53.
10. *Колчинский И. Г.* Рефракция света в земной атмосфере. К., 1967.
11. *Колчинский И. Г.* Влияние инверсии температуры на астрономическую рефракцию // *Астрометрия и астрофизика*. 1974. Вып. 21. С. 30—37.
12. *Коржинская С. В., Тютюрев Г. С., Конторов А. Ф., Шарковский Н. А.* Рефракция при наблюдениях земного предмета и звезд // *Астрономические исследования*. К., 1981. С. 103—107.
13. *Нефедьева А. И.* Аномалии рефракции // *Современные проблемы позиционной астрометрии*. М., 1975. С. 110—116.
14. *Редичкин Н. Н.* Исследование измерительных способов определений углов астрономической рефракции // *Рефракция оптических волн в атмосфере*. Томск, 1982. С. 155—167.
15. *Сергиенко В. И.*

О методике определения рефракции в астрометрии // Тез. докл. Всесоюзного научно-практического совещания по проблемам совершенствования аппаратурных средств и таблиц для определения рефракции электромагнитных волн в земной атмосфере. Иркутск, 11—13.09.1984. Иркутск. 1984. С. 21. 16. *Teleki G.* Современное состояние вопроса по изучению астрономической рефракции // Новые идеи в астрометрии. Л., 1978. С. 100—102. 17. *Тютчев И. С.* Аномалии рефракции // Астрономия и геодезия. Томск, 1979. С. 3—23. 18. *Шамаев В. Г.* Проблемы исследования рефракции в астрометрии // Итоги науки и техники. Сер. астрономия. 1983. Т. 23. С. 61—101. 19. *Teleki G., Saastamoinen J.* Problems of threedimensional refraction in astrometry // Sun. and Planet. Syst. 6th. Eur. Reg. Meet. Astron. Dubrovnik. Oct. 19—23. 1981. Dordrecht e. a. 1982. P. 455—462.

Статья поступила в редколлегию 18.03.86