

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ

Высокой точности геодезических измерений можно достичь при тщательном учете влияния рефракции на угловые измерения и неравномерности распределения показателя воздуха при определениях дальности. Решение этой задачи требует детального знания метеорологических характеристик приземного слоя воздуха в районе работ. Поэтому при проведении геодезических измерений во многих случаях необходимо использовать имеющиеся метеорологические данные и параллельно организовать метеорологические наблюдения.

Следует отметить, что за последние десятилетия геодезисты внесли немалый вклад в метеорологическую изученность приземного слоя воздуха в разных районах земного шара. Однако такие исследования проводятся зачастую бессистемно, без единых методик и надежных приборов. Целесообразно, на наш взгляд, скоординировать усилия геодезистов и метеорологов, что будет, несомненно, способствовать не только разрешению проблемы повышения точности геодезических измерений, но и в не меньшей степени более полной изученности физики приземного слоя.

Поскольку при геодезических измерениях требуется знание показателя преломления воздуха вдоль пути распространения электромагнитного луча, то поиск решения этой проблемы идет в двух направлениях.

1. Изыскание методик представления пространственного распределения метеорологических величин в приземном слое воздуха по измерениям в отдельных точках (как правило, в начальном и конечном пунктах) в зависимости от времени работ, рельефа местности и подстилающей поверхности вдоль измеряемой линии.

2. Определение среднеинтегральных значений температуры \bar{t} , влажности \bar{e} или непосредственно показателя преломления

воздуха \bar{N} на пути распространения электромагнитного луча, что возможно при решении обратных задач рефракции геодезическими методами, использовании специально разрабатываемых приборов-рефрактометров.

Первое направление основано на методах непосредственных измерений метеорологических величин и их вертикальных градиентов вблизи подстилающей поверхности. Обратные задачи рефракции базируются на одновременных измерениях зенитных расстояний из начального и конечного пунктов линии или даже односторонних измерениях при наличии точного превышения между этими пунктами. Применение рефрактометров в условиях развитой турбулентности атмосферы пока малоэффективно.

Цель нашей работы — исследование влияния атмосферы на геодезические измерения в различных физико-географических районах, а также изыскание выгоднейших условий производства этих измерений.

Исходным материалом для данной статьи послужили экспериментальные геодезические и метеорологические наблюдения, выполненные в летний период 1978—1981 гг. на четырех участках Новой Земли. Физико-географические характеристики района работ и некоторые результаты анализа материалов наблюдений приведены в [1, 3, 4].

Программа исследований предусматривала определение двумя бригадами зенитных расстояний как взаимных одновременных, так и односторонних на пункты геодезической сети, удаленные в среднем на 10...12 км. Параллельно на пунктах наблюдений выполнялись измерения температуры и влажности воздуха аспирационными психрометрами в нижнем шестиметровом слое, давления воздуха, скорости и направления ветра на высоте геодезического прибора. По результатам метеорологических измерений вычислены вертикальные градиенты температуры γ_t и влажности воздуха γ_e на каждом пункте, а из взаимных геодезических наблюдений получены среднеинтегральные градиенты $\bar{\gamma}_t$ и $\bar{\gamma}_e$. Ниже приведены усредненные вертикальные градиенты из десяти суточных наблюдений, выполненных на Карском побережье Южного острова:

Часы	1	3	5	7	9	13	17	19	21	23
γ_t , К/м	-0,09	-0,12	-0,07	-0,01	0,03	0,18	0,06	0,09	-0,09	-0,14
γ_e , гПа/м	0,0	-0,03	0,05	0,0	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02
$\bar{\gamma}_t \cdot 10^{-1}$, К/м	-0,04	-0,05	-0,01	0,0	0,07	0,06	0,03	0,06	0,01	0,0
$\bar{\gamma}_e \cdot 10^{-1}$, гПа/м	-0,02	-0,02	0,0	0,0	0,03	0,03	0,01	0,03	0,0	0,0

По результатам метеорологических измерений прослеживается переход от инверсионной стратификации воздуха к нормальной, и наоборот. Изменение знака градиентов температуры и влажности воздуха в период наблюдений происходит утром около 7...8 ч, а вечером в 19...20 и 23...24 ч соответственно (время среднее местное). При этом отрицательные значения γ_e в ночной период очень малы по абсолютной величине, т. е. практически отсутствует инверсия влажности в данном слое воздуха.

Величины $\bar{\gamma}_t$ и $\bar{\gamma}_e$, полученные из геодезических наблюдений, относятся к средней высоте оптического луча, равной 60 м, что, естественно, обуславливает уменьшение примерно на порядок их значения по сравнению с метеорологическими данными у поверхности земли. Однако характер их суточного хода практически одинаков.

Ниже приведены вертикальные градиенты температуры γ_t , полученные из метеорологических наблюдений, и среднеинтегральные значения $\bar{\gamma}_t$, выведенные из взаимных измерений зенитных расстояний на протяжении трех дней в сентябре 1979 г. на Карском побережье Северного острова:

Часы	5	7	9	11	13	15	17	19	21
γ_t , К/м	0,02	0,05	0,08	0,11	0,11	0,09	0,08	0,06	0,04
$\bar{\gamma}_t \cdot 10^{-1}$, К/м	0,07	0,07	0,08	0,12	0,13	0,13	0,08	0,08	0,04

Температура воздуха в среднем была близка к 0 °С. Влажность воздуха из-за сложных погодных условий не удалось надежно определить. Вертикальные температурные градиенты, как видим, небольшие по величине; заметно прослеживается их суточный ход, причем время перехода через 0 близко к граничным срокам наблюдений. Соотношение величин γ_t и $\bar{\gamma}_t$ примерно такое же, как и показанное выше (средняя высота оптического луча над поверхностью земли около 100 м).

Взаимные геодезические и метеорологические измерения на участке Баренцевого побережья проводились вследствие организационных условий эпизодически в течение трех суток. На основании сравнительно небольшого числа полученных результатов следует, что суточный ход температуры и влажности воздуха и их вертикальных градиентов γ и $\bar{\gamma}$ слабо выражен, что объясняется расположением пунктов на горных вершинах на высоте до 1000 м над уровнем моря.

На четвертом участке, расположенном в нижней части Южного острова, ни в один сезон не было возможности провести двусторонние измерения углов наклона. Поэтому геодезические и метеорологические наблюдения проводились только на одном пункте и, естественно, среднеинтегральные характеристики метеорологических величин для этого участка не приводятся. На рис. 1 показан суточный ход усредненных за каждый сезон значений γ_t , выведенных из градиентных измерений на четвертом участке.

Как видно, переход температурного градиента через 0 сужается по оси времени с переходом от лета к осени (периоды наблюдений указаны на рис. 1). Некоторая противоречивость результатов наблюдений в июле и августе вполне закономерна. Несмотря на то что интенсивность солнечной радиации в августе меньше, чем в июле, подстилающая поверхность максимально прогревается в первой половине августа. Это является определяющим в формировании характера вертикального градиента температуры γ_t вблизи подстилающей поверхности. На рис. 2 представлен суточный ход усредненных значений гради-

ента влажности γ_e , полученный из наблюдений в 1980 г. на четвертом участке. Следует подчеркнуть ярко выраженный ход γ_e , повторяющий по характеру суточный ход соответствующего температурного градиента γ_t .

Как известно, в периоды спокойных изображений (ПСИ), соответствующие равновесной стратификации воздуха, значение рефракции приближается к нормальному для данных физи-

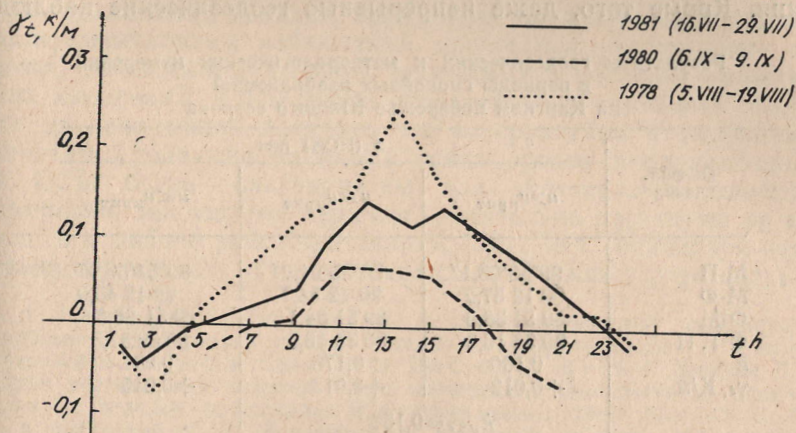


Рис. 1. Суточный ход усредненных значений γ_t .

— 1981 г. (16. VII — 29. VII)
 - - - 1980 г. (06. IX — 09. IX)
 1978 г. (05. VIII — 19. VIII).

ко-географических условий независимо от высоты оптического луча.

Согласно [6, 7, 8 и др.], ПСИ определяются в основном двумя факторами: однородным стационарным температурным

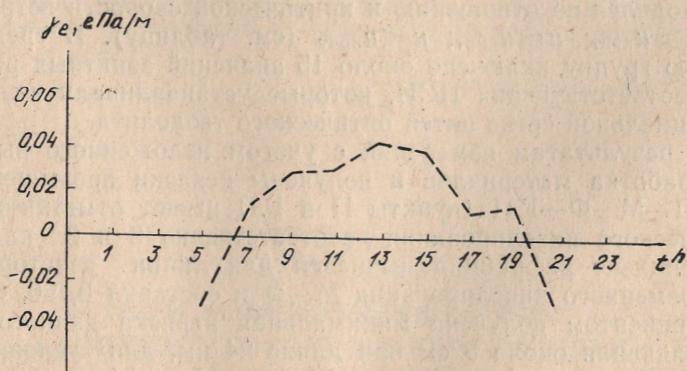


Рис. 2. Суточный ход усредненных значений γ_e .

полем и (или) затуханием турбулентных движений. Однородность температурного поля можно установить по измерениям вертикальных температурных градиентов или радиационного

баланса. Затухание турбулентных движений определяется по степени интенсивности колебаний изображений визирной цели [2, 7].

Однако определение ПСИ как метеорологическим, так и геодезическим методами требует непрерывных наблюдений, к тому же результаты метеорологических измерений, проводимых в одном или двух пунктах, не показательны для луча визирования. Кроме того, даже непрерывные геодезические наблюде-

Результаты геодезических и метеорологических измерений в периоды спокойных изображений на Карском побережье Южного острова

Обозначения	z (ПСИ) при		
	$u > u_{\text{крит}}$	$u \approx u_{\text{крит}}$	$u < u_{\text{крит}}$
М-П	90°55'05,1"	90°55'04,0"	90°54'56,9"
М-Ф	90 12 57,2	90 12 54,7	90 12 46,0
Ф-М	89 51 38,5	89 51 34,1	89 51 26,8
Ф-Г. П	90 33 16,6	90 33 15,6	90 32 57,5
k	0,160	0,176	0,284
$\gamma_t, \text{К/м}$	+0,012	+0,012	+0,045
	$k_{\text{мет}} = 0,158$		

ния могут определять лишь момент наступления или разрушения равновесной стратификации. Продолжительность ее обуславливается в основном характеристиками ветра [5].

Для исследований мы использовали результаты экспериментальных наблюдений, выполненных на Карском побережье Южного острова. В зависимости от скорости ветра u измеренные зенитные расстояния разделены на три группы. Подбор их производился по отношению к критической скорости ветра $u_{\text{крит}}$ [8]: $u > u_{\text{крит}}$; $u \approx u_{\text{крит}}$; $u < u_{\text{крит}}$ (см. таблицу). В среднем в каждую группу включено около 15 значений зенитных расстояний, соответствующих ПСИ, которые устанавливали визуально по специальной сетке нитей оптического теодолита.

По результатам измерений с учетом изложенного выполнена обработка материалов и получены невязки превышений в ходе П—М—Ф—Г.П (пункты П и Г.П имеют отметки из геодезического нивелирования соответственно 3 и 2 классов). Коэффициент рефракции вычислен для линии двустороннего одновременного нивелирования М—Ф и составил 0,160. С этим коэффициентом получена минимальная невязка данного хода, составляющая около 5 см при длине 24 км, для условий $u > u_{\text{крит}}$. При других условиях ($u \leq u_{\text{крит}}$) коэффициенты рефракции увеличиваются, что указывает на инверсионную структуру воздуха.

Данные метеорологических измерений (вертикальные температурные градиенты γ_t) качественно подтверждают результаты геодезических наблюдений.

Таким образом, в данном районе равновесная стратификация в приземном слое (изотермия) наступает в периоды спокойных изображений и ее продолжительность определяется условием $u > u_{\text{крит}}$. При $u \approx u_{\text{крит}}$ наблюдается небольшая инверсия, хотя отдельные результаты характеризуют ее состояние, как близкое к изотермии. Для условий $u < u_{\text{крит}}$ характерна устойчивая стратификация воздуха.

В заключение отметим следующее. Выполненный комплекс экспериментальных наблюдений представил необходимые сведения, позволяющие уточнить программу и методику геодезических измерений, в том числе определить выгоднейшие условия для их проведения. Заметим, что по сравнению с умеренными широтами полярные районы с точки зрения продолжительности ПСИ более благоприятны для астрономо-геодезических измерений, так как эти периоды значительно растянуты по времени и в районе работ составляли 1,5...2 ч (благодаря существенному наклону суточной параллели Солнца к горизонту).

1. *Власенко С. Г., Заблоцкий Ф. Д.* Учет вертикальной рефракции по колебаниям изображений визирных целей в полярном районе // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1984. Вып. 40. С. 16—19. 2. *Джуман Б. М.* Теория вертикальной рефракции при нейтральной температурной стратификации // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1988. Вып. 47. С. 86—91. 3. *Заблоцкий Ф. Д., Киричук В. В.* Исследование вертикальной рефракции летом в высоких широтах // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1980. Вып. 32. С. 33—36. 4. *Заблоцкий Ф. Д.* О характере вертикальной рефракции в летний период в Арктике // *Всесоюз. совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1983*. С. 73—75. 5. *Матвеев Л. Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., 1984. 6. *Маслич Д. И.* Суточный ход вертикальной рефракции и периоды спокойных изображений // *Рефракция оптических волн в атмосфере*. Томск, 1982. С. 44—62. 7. *Островский А. Л.* Современные достижения и задачи рефрактометрии при геодезических измерениях // *Всесоюз. совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1983*. С. 24—36. 8. *Хижак Л. С.* Связь между колебаниями изображений и ошибками углов рефракционного происхождения // *Геодезия, картография и аэрофотосъемка*. 1964. Вып. 1. С. 13—21.