

# ПАССИВНОЕ И АКТИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

**Мазуров Г.И. (1), Акселевич В.И. (2), Тарабукин И.А. (1)**  
(1) Главная Геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург  
(2) Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики

Атмосфера крайне неоднородная среда. В ней выделяют не менее пяти основных слоев (рис. 1). Их параметры изменяются в очень широких пределах. (Энциклопедия климатических ресурсов, 2005).

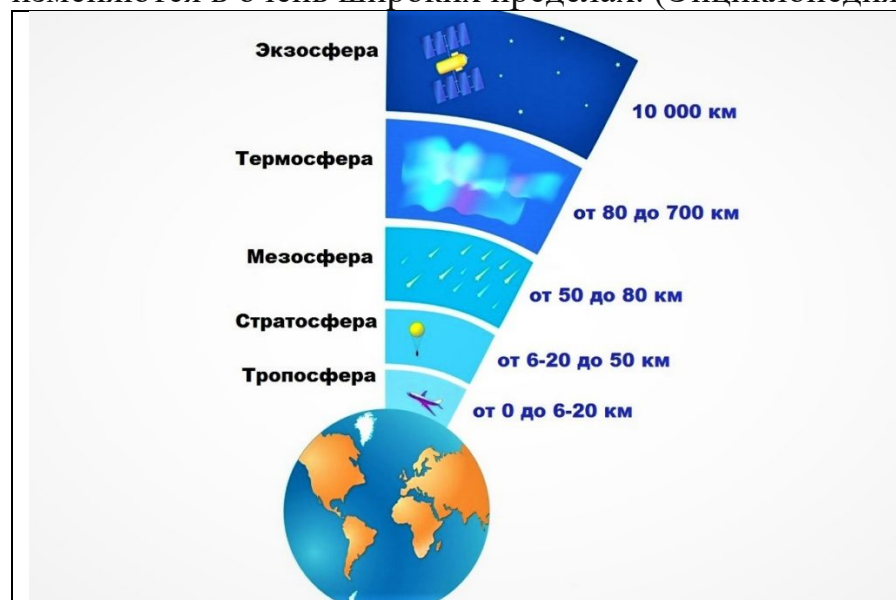


Рис. 1. Предельные толщины пяти слоев атмосферы Экзосфера постепенно переходит в космическое пространство.

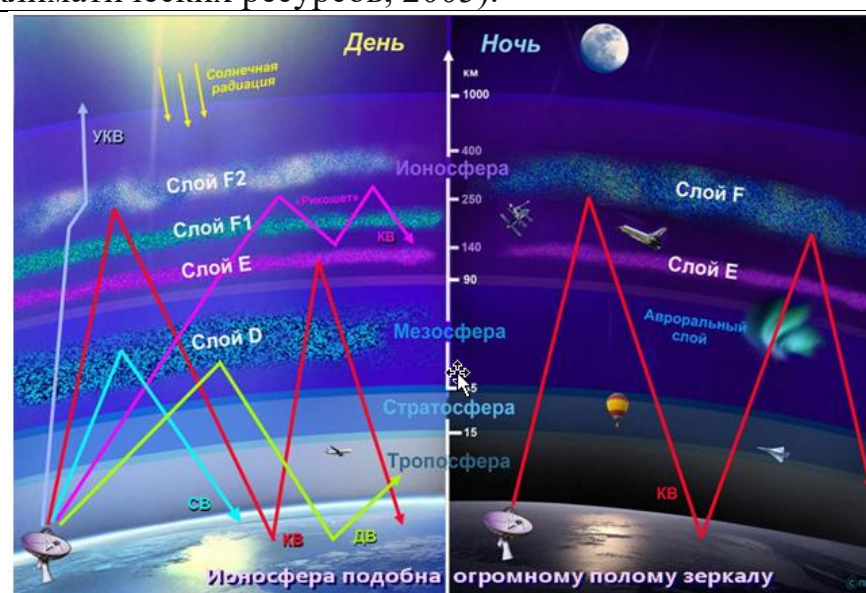


Рис. 2. Ход лучей различных длин волн в слоях атмосферы и ионосферы

Для успешного прогноза погоды важно знать постоянно изменяющиеся параметры различных ее слоев. Они имеют сложное строение. На рис.2 схематично показан ход лучей различных длин волн (УКВ, КВ, СВ и ДВ) в основных слоях атмосферы. В ионосфере выделены 5 слоев D, E и F1 и F2, от которых происходит отражение волн, различной длины. Только УКВ проникает сквозь эти слои, несколько искажаясь в слое F2.

Все способы исследования атмосферы можно подразделить на пассивные и активные. К пассивным способам зондирования атмосферы следует отнести радиометрический и рефрактометрический.

Остальные способы зондирования, кроме оптического, активно влияют на параметры атмосферы, но и сами подвержены нарушению прямолинейности распространения. К таким способам следует отнести: тепловое, лазерное, радиоакустическое, радиолокационное зондирование и т. п.

### Микроволновое зондирование



Рис. 3. Примерный ход лучей при микроволновом зондировании с Метеора-М с высоты 830 км и ширине обзора в 1500 км.

### Аппаратура для рефрактометрического метода

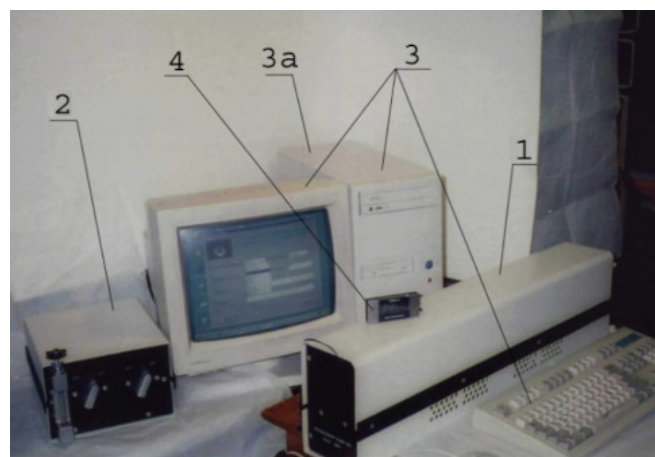


Рис. 4. Представлен пример аппаратуры для рефрактометрического метода.

Лучи искривляются под влиянием неоднородностей атмосферы. Это известно по таким оптическим явлениям, как рефракция, миражи,

различные гало, венцы, иризация облаков, радуга, глории, синева неба, фата-моргана и пр. (Форрестер, 1968).

Искривление оптического луча, ориентированного примерно вертикально, было замечено космонавтами в последней четверти XX века.

Так, космонавт СССР В. Севастьянов 22 июня 1975 года (Климук, 1976) увидел в безоблачную солнечную погоду с высоты 300- 400 км в районе Сочи двухэтажный домик своих родителей.

### Радиозондирование



Рис. 5. Аэрологический регистрационный вычислительный комплекс МАРЛ

### МРЛ-1

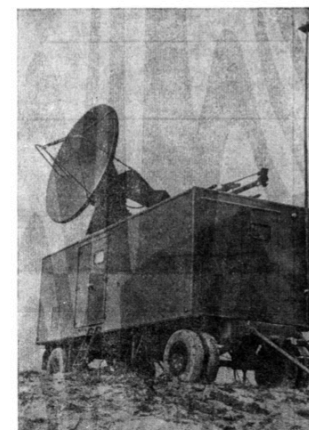


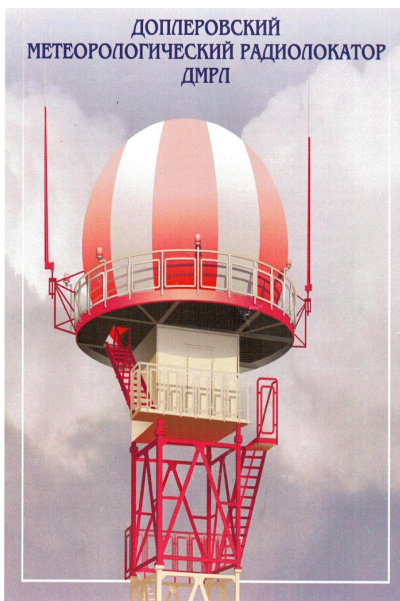
Рис. 6. Метеорологический радиолокатор МРЛ-1

Группа сотрудников под руководством Г.И. Мазурова провела анализ аэросиноптической обстановки и выявила ситуации, когда это возможно, поскольку при средних параметрах (стандартных) атмосфера дает увеличение всего на 10-15 %. Ими оказались подветренные волны, которые могут увеличивать изображение в несколько раз. В целом атмосферу следует рассматривать как самофокусирующую увеличивающую, выпукло-вогнутую газовую линзу различной толщины (над зимним и летним полушариями) с большим количеством неоднородных вкраплений. Большинство из них, такие, как облака, туманы, дымки, смоги, пыльные и песчаные бури, метели и другие аэрозольные примеси, резко ухудшают или полностью ликвидируют

прозрачность линзы-атмосферы (Мазуров и др., 1983). Согласно экспериментальным исследованиям острота зрения человека составляет 1 угловую минуту. Она сохраняется и в космосе.

Лучи методов активного зондирования атмосферы не только подвержены искривлению под влиянием различных неоднородностей, но и сами могут изменять состояние отдельных слоев. Понятно, что тепловые излучения могут изменять их термический режим. Лазерное и радиолокационное зондирование могут изменять химический состав, электрическую напряженность, электронный и ионный состав отдельных слоев атмосферы.

В системе Росгидромета используется отечественный метеорологический температурный профилемер МТР-5, определяющий распределение температуры воздуха в пограничном слое атмосферы до высоты 1000 м. Данные поступают в персональный компьютер в виде графиков временной изменчивости профиля за прошедшие сутки и фактического распределения температуры по высотам каждые 5 минут и с интервалом в 50 м, что позволяет отслеживать процесс возникновения, эволюции и разрушения температурной инверсии и изотермии в пограничном слое атмосферы.



## Радиоакустическое зондирование

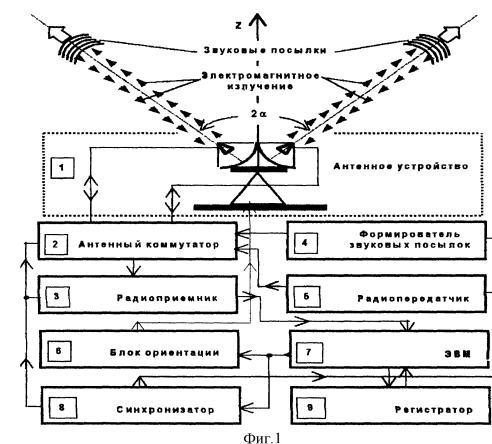


Рис. 7. Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С.

Рис. 8. Схема радиоакустического зондирования.

Различают следующие методы радиолокации: импульсный, частотный, фазовый и частотно-импульсный. В метеорологических радиолокационных станциях (МРЛ), предназначенных для радиолокации облаков и явлений, связанных с



облаками, используют импульсный метод радиолокации. Передатчик РЛС генерирует, а антенна излучает электромагнитные колебания сверхвысокой частоты (СВЧ) в виде периодически повторяющихся кратковременных сигналов или зондирующих импульсов. В промежутки времени между зондирующими импульсами происходит прием отраженных сигналов антенной РЛС, затем их усиление и преобразование приемным устройством.

В России в настоящий момент происходит модернизация радиолокационной сети и переоснащение её новыми поляризационными радиолокаторами С-диапазона – ДМРЛ-С. Для классификации гидrometeopов по измерениям ДМРЛ-С применяют алгоритм нечеткой логики, разработанный для радиолокаторов, работающих на длинах волн С диапазона (Dolan etc, 2013). Входными данными алгоритма являются радиолокационная метеорологическая отражаемость в горизонтальной поляризации  $Z_h$ , дифференциальная отражаемость  $Z_{dr}$ , удельный фазовый сдвиг  $K_{dp}$ , коэффициент кросскорреляции  $\rho_{HV}$  и окружающая температура воздуха  $T$ , полученная по данным высотного радиозонда. На выходе алгоритм каждому радиолокационному объему присваивает один из десяти классов гидrometeopов: морось, дождь, ледяные кристаллы, сухой снег, тающий снег, вертикальные ледяные кристаллы, крупа с низкой плотностью, крупа с высокой плотностью, град, большие капли ( $> 5$  мм) / тающий град.

### Содар или ветровой профайлер



Рис. 9. Аппаратура для акустического зондирования.

### Лидарное зондирование

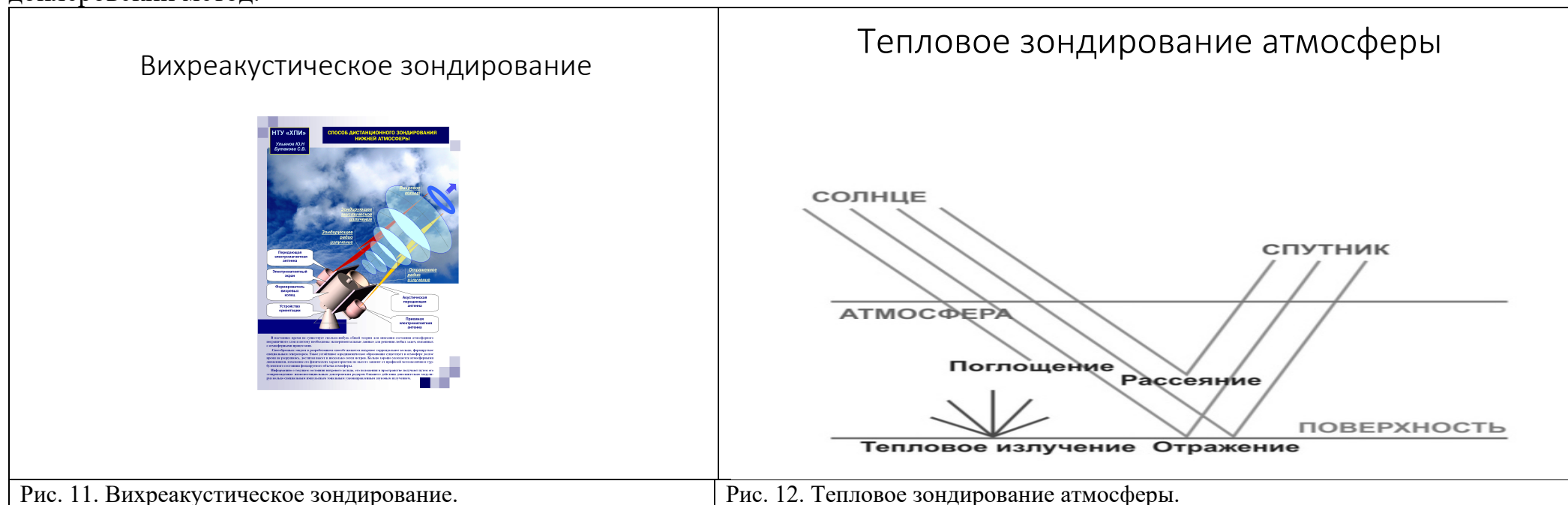


Рис. 10. Лидарное зондирование.

Кроме того, ДМРЛ-С позволяет получить информацию о количестве осадков за 1, 3, 6, 12, 24 часа и на основании данных о радиальной скорости метеообъектов на различных высотах дает возможность идентифицировать центральные области и периферии циклонических образований, барические ложбины, зоны дивергенции и конвергенции воздушного потока, поворот ветра с высотой и, как следствие, адвекцию тепла и холода.

На рис. 9. Показан содар, реализующий идею акустического зондирования атмосферы. Оно использует звуковое излучение и основано на способности акустических волн рассеиваться на неоднородностях показателя преломления, образованных атмосферной турбулентностью.

В основу лидарных измерений ветра первоначально был положен времяпролетный метод - как упрощенная модификация корреляционно-спектральных методов, у которых информация о скорости получается из анализа пространственно-временных корреляционных функций или спектральных плотностей. Второй разновидностью методов лидарного зондирования является доплеровский метод.



Измерение температуры с помощью лидара осуществляется различными способами. Среди них существуют способы определения температуры по спектру молекулярного рассеяния, по резонансному рассеянию на атмосферном натрии, по дифференциальному поглощению лазерного излучения и, наконец, по использованию спонтанного комбинационного рассеяния молекул азота или кислорода. Лидары, определяющие высотный профиль температуры, с помощью способа

молекулярного или рэлеевского рассеяния в основном действуют в диапазоне высот от 30 до 100 км с разрешением 1 км по вертикали. Это в первую очередь NaYAG-лазеры. СКР-лидары используют метод спонтанного комбинационного или рамановского рассеяния.

Вихреакустическое зондирование (рис. 11.) позволяет проводить измерения ветра, а также температурной стратификации в нижнем 300-500-метровом слое атмосферы но увеличение высоты слоя требует существенных затрат.

Радиотепловое излучение осуществляется с помощью радиометра, т.е. высокочувствительного радиоприемника микроволнового диапазона, имеющего остронаправленную антенну и оконечное устройство. При приеме радиотепловых излучений приходится иметь дело с сигналами, мощность которых значительно ниже мощности собственных шумов приемника. Поэтому оптимальной процедурой приема и обработки шумоподобных радиотепловых сигналов является их накопление по мощности, что означает возведение в квадрат напряжения антенны и последующее накопление.

Активное дистанционное зондирование приводит и к побочным эффектам, например, возможности нагрева различных слоев ионосферы, что является активным воздействием.

Энергетические лучи отражаются на Землю от ионосферы, как электромагнитные волны чрезвычайно малой частоты (инфранизкие). К настоящему времени опубликован набор экспериментальных фактов, позволяющих сделать оценки энергетической способности нагревных стендов (HAARP и Сура) (см. рис 13 и 14) к созданию погодно-климатических эффектов.

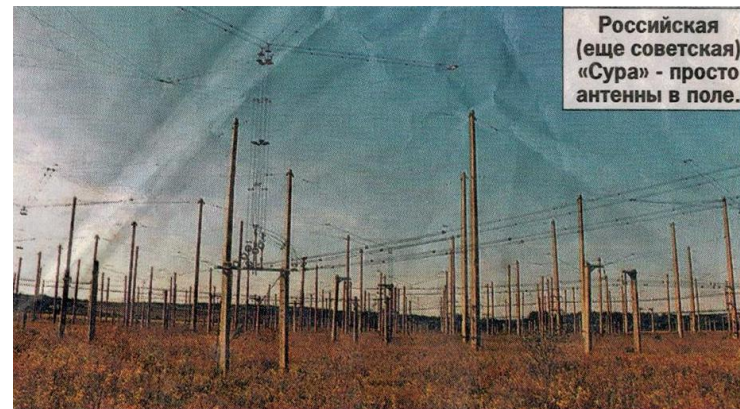


Рис. 13. Антенная площадка HAARP на Аляске.

Рис. 14. Внешний вид ионосферного стенда «Сура»

Имеются количественные данные об интенсивности генерации микроволнового излучения из ионосферы при работе нагревного стенда Сура при реализованной эффективной мощности в 180 МВт (Лаверов и др., 2008). Эффект на приемной антенне от радиоволн с частотой 600 МГц составлял около 3 градусов. Этот эффект (Grach etc, 2002) целиком относится к ридберговскому механизму возбуждения.

Американская станция имеет 180 фазированных антенн, а отечественная только 144. Площадь занимают соответственно 13 и 9 га, т.е. наша на 4 га меньше. НААРР имеет мощность 3600 кВт, а «Сура» 250. Мощность «Суры» меньше, и она работает в средних широтах, а не в полярных, где эффект воздействия меньше, в том числе и на все спутники. Кроме того, у американцев есть стенды в Гренландии и Норвегии (Тромсе).

В состав комплекса входят не только антенны, но и радар некогерентного излучения с антенной, диаметром в 20 м, лазерные локаторы, магнитометры. Весь комплекс питает мощная газовая электростанция. А у нас «СУРА» выглядит обыденно: водоканал, котельная, линия ЛЭП, подходящая к трансформаторной будке. Соответственно, и эффект от воздействия на ионосферу будет совершенно различным. Получается есть к чему стремиться и на что ориентироваться.

**Ключевые слова:** атмосфера, зондирование, линза, лучи

### **Литература**

Климук П.И., Севастьянов В.И. Наблюдения из космоса с борта «Союза-18», М., Наука, 1976. – 230 с.

Мазуров Г.И., Базарский О.В., Жуков В.И. Атмосфера-линза. // «Авиация и космонавтика». - № 1. -1983, - С. 43.

Форрестер Ф. Тысяча и один вопрос о погоде. – Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – 383 с.

Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Под ред. Н. В. Кобышевой, К. Ш. Хайруллина. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 319 с

Dolan B., Rutledge S.A., Lim S., Chandrasekar V., Thurai M.A. Probust C-band hydrometeor identification algorithm and application to a long-term polarimetric radar dataset // J. Appl. Meteorol. Climatol. – 2013. – Vol. 52. – P. 2162–2186.

Лаверов Н.П., Зецер Ю.И. Активные эксперименты в ионосфере с использованием энергии радиоволн ВЧ диапазона. В кн. "Изменение окружающей среды и климата. Том VII Динамика и математическое моделирование геофизических и гидрометеорологических процессов" (Отв. ред. А.А. Макоско). 2008. - С. 11-30.

Grach S.M., Fridman V.M., Lifshits L.M., Podstrigach T.S., Sergeev E.N., Snegirev O. UHF electromagnetic emission stimulated by HF pumping of the ionosphere // Annales sophysicae. 2002. V. 20, N 10. - P. 1687-1691.