

**А.Я. Спасов**

## **РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ, МОРСКОЙ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИНСТИТУТЕ ЭЛЕКТРОНИКИ БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Представлены основные направления работ по дистанционному зондированию атмосферы, океана и подстилающих поверхностей, проводимые в Институте электроники Болгарской Академии наук. Особое внимание уделено лазерному зондированию аэрозольной атмосферы. Намечены перспективы исследований окружающей среды методами и средствами в СВЧ и оптическом диапазонах спектра.

Более десяти лет в Институте электроники Болгарской Академии наук (ИЭ БАН) проводятся исследования по применению дистанционных методов для зондирования окружающей среды. Развиваются широкодиапазонные (в СВЧ и в оптическом диапазонах) активные и пассивные методы с использованием лидаров и радар—радиометров. Исследуются физические процессы в атмосфере, изучаются земная и морская поверхности приборами наземного и самолетного базирования [1].

Развитие методов дистанционного зондирования в Болгарии с самого начала обязано научному сотрудничеству ИЭ БАН с учреждениями Академии наук СССР (Институт оптики атмосферы Сибирского отделения, Физический институт, Институт общей физики, Институт спектроскопии, Институт радиотехники и электроники) и с Институтом радиотехники и электроники АН УССР. Необходимо особо отметить роль академика В.Е. Зуева в нашем сотрудничестве.

Ниже рассмотрены некоторые новые результаты по дистанционному зондированию сред, полученные в ИЭ БАН в последние годы, а также перспективы развития этих исследований. Часть этих результатов опубликована в периодических научных изданиях, другая часть доложена на Втором советско-болгарском семинаре по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды (Москва, 14—16 октября 1987 г.), и в настоящее время материалы находятся в печати.

### **Дистанционные методы исследования атмосферы**

Проводимые в ИЭ БАН исследования представлены следующими основными направлениями [2—10]:

- измерения пространственного распределения аэрозолей и исследование динамики его развития;
- измерения вертикальных профилей температуры и влажности воздуха;
- разработка и применение методов анализа газового состава атмосферы;
- теоретические исследования распространения ИК излучения над различными типами подстилающих поверхностей и в сложных метеорологических условиях, в частности, при наличии сильной атмосферы турбулентности;
- лазерное зондирование атмосферы в ИК и УФ областях спектра, в том числе системой гетеродинного детектирования сигнала на основе  $\text{CO}_2$ -лазера;
- широкодиапазонное зондирование в СВЧ и оптическом диапазонах;
- теоретические исследования и разработка по СВЧ, ИК и оптическим радиометрам.

Важность исследования распределения аэрозолей в планетарном пограничном слое определяется тем, что этот слой атмосферы является непосредственной жизненной средой и играет роль промежуточного, связующего звена в энергетическом балансе системы «земля—атмосфера». Особый интерес представляют исследования загрязнений пограничного слоя индустриальными аэрозолями. Регистрируемые в таких экспериментах сигналы имеют большой динамический диапазон, что накладывает определенные требования на приемную систему лазерного локатора. В [11] рассмотрена фотоприемная система, созданная при модернизации лидара ЛОЗА—2Б, применяемого в практике Комитета по охране окружающей среды НР Болгарии. Совместно с ИОА СО АН СССР исследования проводились в районе г. Разлога [12].

Наличие большого объема информации, собранной в 1978—1984 гг., позволило перейти от построения время-пространственных распределений аэрозольных загрязнений к статистической интерпретации распределений по высоте. На рис. 1 показаны частоты появления положительных высотных градиентов температуры  $\partial T/\partial H$  и коэффициента объемного аэрозольного рассеяния  $\partial \alpha_s/\partial H$ , линейно связанного с массовой концентрацией аэрозолей. Максимумы кривых  $\partial \alpha_s/\partial H$  соответствуют характерным высотам, на которых накапливаются аэрозоли, обусловленные наличием наземных и приподнятых источников, суточными изменениями скорости ветра и температуры в исследуемом районе.

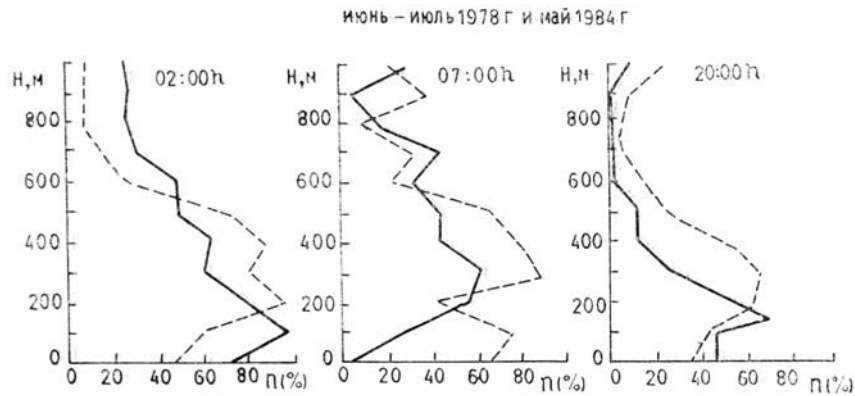


Рис. 1. Высотные зависимости частот появления положительных градиентов температуры  $\partial/\partial T$  (—) и коэффициента объемного аэрозольного рассеяния  $d\alpha_v/dH$  (---), линейно связанного с массовой концентрацией аэрозолей

Определение массовой концентрации аэрозоля по измеренному лидаром объемному коэффициенту аэрозольного рассеяния является первостепенной задачей при контроле за загрязнением воздуха. В [13] представлено решение такой задачи статистическими методами, не требующими модельных представлений о микрофизике зондируемого аэрозоля.

Результаты совместных исследований, проведенных сотрудниками ИОА АН СССР и ИЭ БАН в этом направлении, были обобщены в монографии «Лидарное зондирование промышленных аэрозолей» [3].

Некоторые результаты исследований приземного пограничного слоя представлены в [14, 15]. В работах сравнивались лидарные наблюдения за динамикой аэрозольных слоев с метеорологическими данными. Изучалась связь между видом автокорреляционной функции флуктуации аэрозольной концентрации и числом Ричардсона, характеризующим степень атмосферной турбулентности. Была показана возможность использования лидарных данных для кратковременного метеорологического прогнозирования, в частности, и для определения локальной турбулентности в нижних слоях атмосферы.

Систематические, периодические и случайные изменения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния в окрестности нижней границы слоистых, слоисто-кучевых и волнистых облаков исследовались с помощью трехтрассового лидара в токовом режиме [16, 17]. В частности, были определены характерные размеры аэрозольных неоднородностей; 20–150 м – для слоистых облаков; 380–580 м – для слоисто-кучевых [18]. На основе накопленного экспериментального опыта был создан прибор ЛИНГО-1 – лазерный измеритель нижней границы облаков [19]. На рис. 2 представлены результаты измерений – сигнал обратного аэрозольного рассеяния и соответствующая гистограмма, показывающая наличие облачных слоев при высоте нижней кромки облака около 1600, 2400 и 3000 м соответственно. Измерения высоты нижней границы облаков и пространственных размеров неоднородностей в ее окрестности имеют существенное значение для высот от десятков до нескольких сотен метров. Сочетание этих двух параметров можно использовать при автоматическом распознавании вида облачности при наземных наблюдениях.

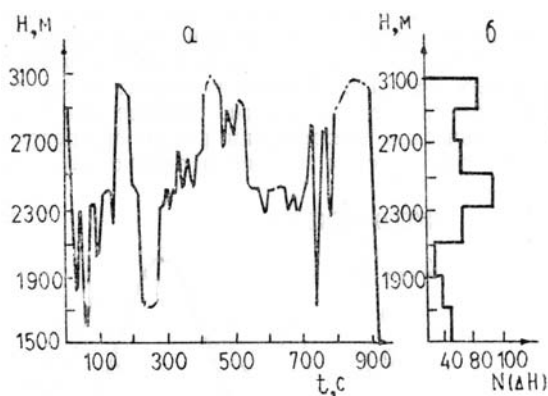


Рис. 2. Высотное распределение сигналов рассеяния облаками (а) и гистограмма, соответствующая этому распределению (б)

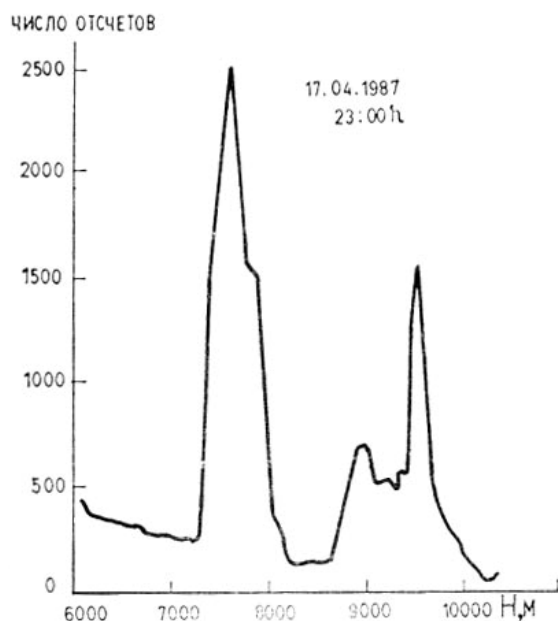


Рис. 3. Сигнал обратного рассеяния от перистых облаков, экспериментально полученный лидаром в режиме счета фотонов

Комплексность подобного рода исследований, требующая проведения значительного числа экспериментов и регистрации большого объема данных, создает необходимость использования автоматизированных систем, работающих под управлением компьютера. В [20, 21] представлены результаты разработки микрокомпьютерной системы для сбора данных лидара, работающего в токовом режиме, и возможность использования в такой системе интерфейса GPIB.

Лидарная система с приемом в режиме счета фотонов [22–24] позволяет проводить одновременное зондирование тропосферы, включая пограничный слой, и нижней стратосферы до высот примерно 25–30 км. Предусмотрена возможность синхронной работы лидарной системы с шестью СВЧ и ИК радиометрами и с радиолокационной станцией 3-см диапазона СВЧ. Проводились исследования по аэрозольному рассеянию в оптически тонких облачных полях [25], а также регистрировались профили сигналов, обусловленные аэрозольным и молекулярным рассеянием в нижней стратосфере [26]. На рис. 3 показан лидарный сигнал, полученный при зондировании перистых облаков на высотах порядка 7,5 км и выше. Энергетические параметры лидара позволили уверенно зарегистрировать три облачных слоя. Профиль снят с разрешающей способностью по высоте 60 м и временем накопления сигнала 7 с. Статистические характеристики сигналов аэрозольного рассеяния вдоль трассы зондирования в оптически тонких облачных слоях представлены на рис. 4. Показаны высотные профили среднего сигнала рассеяния  $\bar{N}$ , коэффициента вариации  $\Delta N / \bar{N}$  и радиуса временной корреляции  $\tau_c$ . Совместный анализ трех профилей позволяет получить оценку верхней и нижней границы облаков. Как видно из рисунка, в окрестности границ облака наблюдается увеличение коэффициента вариации и радиуса временной корреляции. К настоящему времени уже разработан и создается вариант лидара с регистрацией в режиме счета фотонов на базе только болгарских и советских элементов [27].

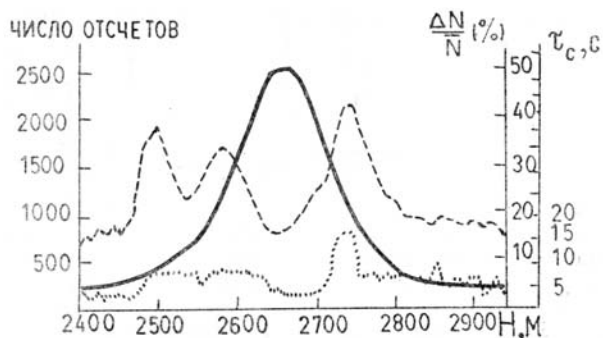


Рис. 4. Статистические характеристики сигнала аэрозольного рассеяния от облака: ———— сигнал рассеяния  $\bar{N}$ ; — — — — коэффициент вариации  $\Delta N / \bar{N}$ ; ..... — радиус временной корреляции  $\tau_c$ .

Разрабатывается лидар с матричным приемником изображений. Это новое направление лазерного зондирования и лидарных систем, позволяющее работать в реальном масштабе времени и при дневных фоновых условиях. Высокая оперативность измерения векторной скорости ветра в таком режиме обусловлена тем, что необходимый объем статистической информации развит в пространстве, а не во времени, и регистрируется с помощью только нескольких импульсов мощного твердотельного лазера. При этом среднее число сигнальных элементарных зарядов в ячейках ПЗС за время экспозиции оказывается значительно большим соответствующего числа фоновых зарядов, что обеспечивает достаточно высокое отношение «сигнал—шум» и в условиях дневного фона. К преимуществам такого лидара можно отнести также слабое влияние временных флуктуационных помех на точность зондирования, высокую временную разрешающую способность, отсутствие сканирования лучом и то, что корреляционная обработка данных измерений является чисто экстремальной. Вопросы лидарного зондирования с приемником типа ПЗС разрабатывались в целом ряде работ [4, 5, 28—33].

Теоретические и экспериментальные исследования по определению вертикальных профилей температуры и влажности воздуха проводятся с помощью СКР лидара в тесном сотрудничестве с ИОА СО АН СССР [34, 35, 36]. В последние годы проведено существенное усовершенствование лидарной методики и установки. Разработана система одновременной регистрации в семи спектральных интервалах четырех линий чисто вращательного СКР азота и кислорода, одной колебательной линии СКР водяного пара и аэрозольного рассеяния на двух длинах волн лазера на парах меди:  $\lambda_1 = 510$  и  $\lambda_2 = 578$  нм. Одновременная регистрация сигналов в четырех участках чисто вращательного СКР позволит осуществить оригинальную, разработанную в Институте идею об измерении температуры на основе многоканального приема сигнала [37]. Создана автоматизированная система лидарных измерений [38]. Система предоставляет возможность непосредственного контроля над процессом накопления данных, что удобно при длительной регистрации сигналов СКР—лидара. Измерялись [39] профили обратного аэрозольного рассеяния, соответствующая обработка которых позволяла получить профили коэффициента экстинкции атмосферы. Имевшее место соответствие между данными о метеорологической обстановке в момент записи сигналов и видом профиля коэффициента экстинкции дало основание предполагать, что последний правильно отражает распределение атмосферного аэрозоля. В эксперименте измерялись также профили атмосферной температуры.

Методика исследования атмосферы на основе СКР была реализована и на высокоэнергетичном лидаре Университетского колледжа Уэльса (Великобритания) во время стажировки сотрудника института электроники. Были измерены профили концентрации водяного пара и температуры до высокой тропосферы и тропопаузы [40, 41].

Диагностика окружающей среды с целью обнаружения загрязняющих ее веществ и измерения их концентраций — направление, в котором ИЭ БАН активно сотрудничает с институтами АН СССР: ИОА, ФИ, ИОФ. В совместной экспедиции, проводившейся осенью 1985 года в Софии, с использованием лазерных газоанализаторов на полупроводниковых и  $\text{CO}_2$ —лазерах исследовались пространственные и временные изменения концентраций  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$ , а также влажность воздуха. На рис. 5 показаны изменения концентрации окиси углерода, полученные в Софии и в районе Витоши. На рис. 6 показаны временные флуктуации концентрации окиси углерода, наблюдавшиеся около автомагистрали и обусловленные транспортным потоком, а также изменением направления и скорости ветра. Временная разделительная способность газоанализатора составляла 1 с.

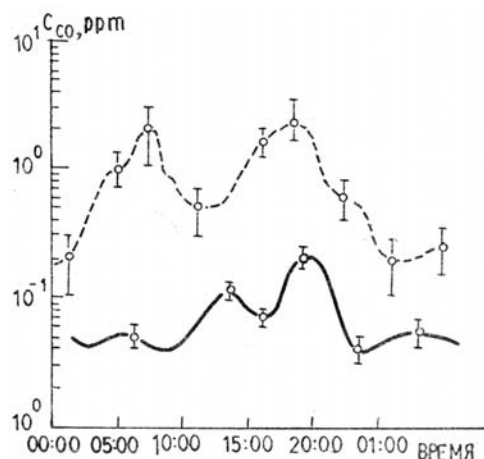


Рис. 5. Средние суточные вариации концентрации  $\text{CO}$  в г. София (---) и в районе горы Витоши (—)

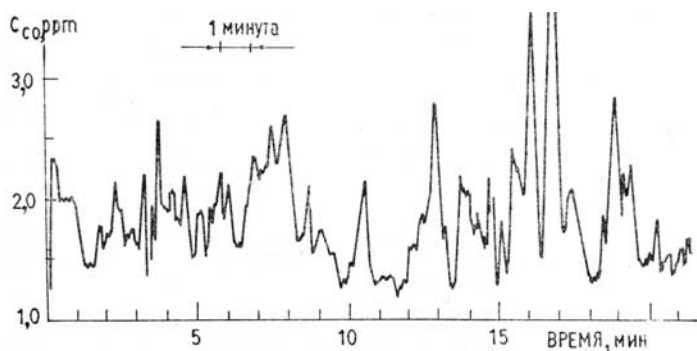


Рис. 6. Вариации концентрации  $\text{CO}$  вблизи автомагистрали

В 1987 году группа сотрудников Института участвовала в комплексном исследовании промышленной зоны г. Панагюрище и горного массива Родоп, организованном Болгарским Государственным Комитетом по охране окружающей среды.

Методы дистанционного зондирования обычно развиваются самостоятельно, независимо друг от друга, что позволяет исследовать отдельные стороны процессов. В то же время перспективность сочетания различных методов бесспорна. В связи с этим начались исследования атмосферных процессов при одновременном использовании СВЧ и оптических методов зондирования. В 1984 году совместно с ИРЭ АН СССР были проведены первые такие эксперименты [8, 42]. Использовался лидар на длине волны 510 нм с приемником в режиме счета фотонов и СВЧ-радиометры модуляционного типа на 0,8 и 1,35 см. Точность совмещения электрических осей антенн радиометров с лучом лидара составляла около 2°. Ширины диаграмм направленности лидара и радиометров значительно различаются, мелкомасштабные флуктуации процессов, регистрируемые лидаром, не проявляются в радиометрических каналах и для сопоставления радиометрических данных с лидарными, последние подвергались дополнительной обработке. Показано, что совместные лидарные и СВЧ-измерения позволяют получить новые данные об атмосферных параметрах. Экспериментально была подтверждена связь между лидарным откликом нижней атмосферы и интенсивностью ее радиоизлучения вблизи вращательной линии поглощения водяного пара. Полученные результаты свидетельствуют о возможности определения фазового состава облаков, типа аэрозоля, установления связей между аэрозольной, водной и влажностной составляющими атмосферы, получения оценок высотных распределений метеопараметров.

### Исследование земной и морской поверхности СВЧ дистанционными методами

В последние годы дистанционное зондирование земли с летательных аппаратов с успехом применяется для нужд сельского хозяйства. С помощью СВЧ-радиометрической аппаратуры проводятся исследования влагозапасов почв. В 1987 году в НРБ совместно с ИРЭ АН СССР была проведена советско-болгарская самолетная экспедиция по дистанционному определению влажности почв [9]. Измерения проводились с помощью трехканального СВЧ-радиометра-влагомера (длины волн 2,25; 18 и 30 см) с борта самолета Ан-2М. Данные радиометрических измерений записывались с помощью компьютерной системы, разработанной в Институте электроники БАН на базе болгарского персонального компьютера «Правец-82» [10]. Микрокомпьютерная система использовалась для сбора, записи и обработки информации, получаемой от радиометров в различных частотных диапазонах. Результаты проведенных экспериментов показали эффективность разработанной компьютерной системы для регистрации радиометрических сигналов и подтвердили целесообразность ее более широкого использования для целей дистанционного зондирования.

Из полученных на основании радиометрических измерений оценок влажности и априорной информации о водно-физических свойствах почв находились профили влажности и интегральное содержание свободной влаги в метровом слое почвы. Результаты дистанционного зондирования на больших площадях и при разнообразии почв и растительного покрова сравнивались с квазисинхронными наземными измерениями. Анализ показал, что погрешности СВЧ радиометрического метода определения влажности не превышают  $0,05 \text{ г/см}^3$  при биомассе растительности менее 200 ц/га и  $0,08 \text{ г/см}^3$  при биомассе около 400 ц/га. Таким образом, доказано, что СВЧ радиометрический метод позволяет получать надежную информацию о влагосодержании почвы.

В Институте электроники создана мобильная лаборатория для дистанционного зондирования морской и земной поверхностей [43]. Лаборатория размещена в автобусе и укомплектована регистрирующей аппаратурой с компьютером, навигационным радаром 3-см диапазона с остронаправленной антенной и антенной с переключаемой поляризацией, приставками с внутренней когерентностью, значительно расширяющими возможности радиолокатора, доплеровский локатором сантиметрового диапазона. Лаборатория позволяет проводить широкий круг радиолокационных и радиометрических исследований.

Когерентное дистанционное зондирование в 3-см диапазоне — одно из разрабатываемых в ИЭ БАН направлений [44]. Исследование морской поверхности когерентными РЛС позволяет получить дополнительную информацию о сильно нелинейных волновых процессах (например, разрушение морских волн), установить различие в процессах отражения от морской поверхности для электромагнитных волн с горизонтальной и вертикальной поляризацией, определить характеристики доплеровских сигналов при отражении от целей, находящихся на морской поверхности.

Исследования доплеровских спектров отраженных сигналов в различных поляризациях (рис. 7 и 8) показали, что для горизонтальной поляризации зондирующего сигнала наблюдаются в 1,5–2 раза большие значения средних доплеровских частот и меньшие уровни отраженного сигнала по сравнению с вертикальной поляризацией. Для скользящих углов падения основной вклад в формирование доплеровского сигнала при вертикальной поляризации дает горизонтальная компонента орбитальной скорости. При горизонтальной поляризации необходимо найти дополнительные факторы, которые могли бы привести к увеличению доплеровской частоты, например, преобладающее отражение от гребней морских волн или от разрушающихся волн [45]. На рис. 9 показаны энергетические спектры морской поверхности, полученные с помощью доплеровской РЛС и контактного волнографа. Хорошее совпадение представленных спектров дает основание ожидать, что развитие метода измерения

спектров морского волнения на основе доплеровской РЛС позволит в дальнейшем использовать его как альтернативу контактному волнографу.

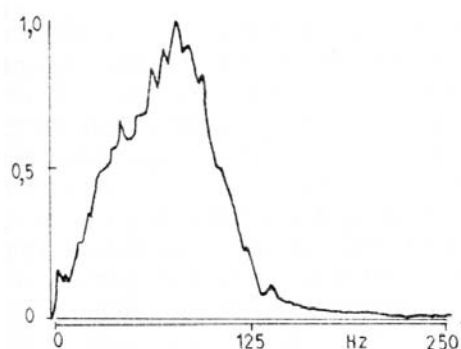


Рис. 7. Доплеровский спектр радиолокационного отражения от морской поверхности в 3-см диапазоне при горизонтальной поляризации

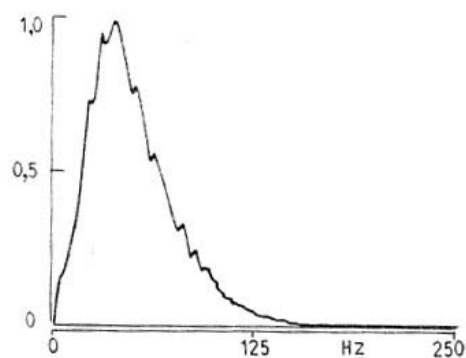


Рис. 8. Доплеровский спектр радиолокационного отражения от морской поверхности в 3-см диапазоне при вертикальной поляризации

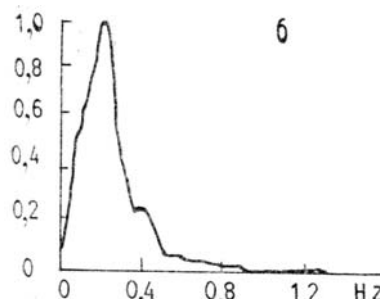
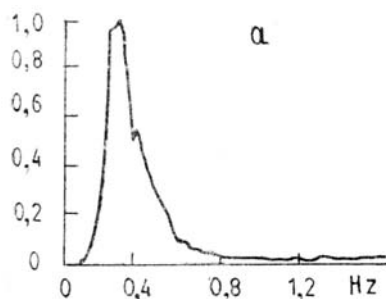


Рис. 9. Низкочастотные спектры морской поверхности, полученные с использованием контактного волнографа (а) и доплеровского радиолокатора непрерывного действия (б)

Работы будут продолжаться в следующих направлениях: внедрение в сельское хозяйство методов определения влажности почв и исследование влияния растительности, исследование засоленности почв и водоемов, загрязнения водоемов, а также изучение снежного и ледового покровов.

Для обработки данных разработаны программы для спектрального и корреляционного анализа на основе быстрого преобразования Фурье и метода максимальной энтропии. Второй из этих методов особенно полезен для анализа коротких временных последовательностей. В качестве примера методом авторегрессионного спектрального анализа было исследовано поведение доплеровского спектра горизонтально поляризованных электромагнитных волн при отражении от морской поверхности при наличии на ней быстропротекающих процессов (разрушение гребней морских волн). На рис. 10 показаны авторегрессионные спектры в моменты появления и разрушения гребня морской волны. При разрушении волны наблюдается смещение центральной доплеровской частоты в сторону более высоких частот. Начаты совместно с ИОФ АН СССР работы по изучению морской поверхности в оптическом диапазоне, в том числе с использованием лидаров.

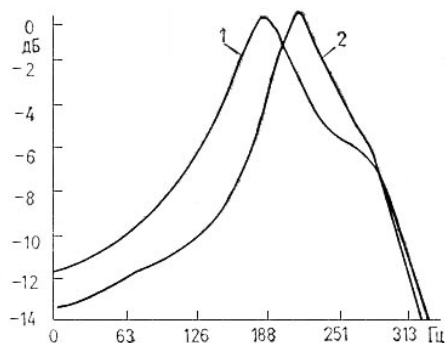


Рис. 10. Авторегрессионные спектры радиолокационного сигнала, отраженного от гребня морской волны в момент его появления (1) и разрушения (2)

Были проведены также некоторые эксперименты по исследованию доплеровских спектров радиолокационных сигналов, отраженных от земной поверхности.

Дальнейшее развитие дистанционных методов исследования окружающей среды невозможно без изучения рассеяния электромагнитных волн от шероховатых поверхностей, распространения электромагнитных волн в низких приповерхностных волноводах, теплового излучения различных сред 46–50. Исследованы пространственные зависимости интенсивных радиолокационных отражений от морской поверхности (спайков) для горизонтальной и круговой поляризации, которые к настоящему времени еще недостаточно хорошо изучены.

В работах [48, 49] проводились численные эксперименты по изучению статистики «блестящих точек» морского волнения. Было получено распределение «блестящих точек» при двухпозиционном рассеянии от шероховатой поверхности для различных положений источника и приемника относительно поверхности моря. Показано, что для малых по сравнению с расстоянием между ними высот источника и приемника над поверхностью моря рассеяние электромагнитных волн не может быть адекватно описано как рассеяние в зоне Фраунгофера.

Задача о формировании ближнего флуктуационного поля и теплового излучения неоднородностей неизотермической средой, занимающей полупространство  $z \geq 0$ , при произвольном законе изменения диэлектрической проницаемости и температуры по глубине (область  $z < 0$  занята воздухом) решалась в работе [50]. Было найдено точное выражение для интенсивности излучения в воздушной среде.

Проводятся также теоретические и экспериментальные работы по дистанционному исследованию сложных объектов. Созданы теоретические модели некоторых радиолокационных целей, позволяющие с достаточной точностью оценивать ряд параметров радиолокационного сигнала — спектр, сечение рассеяния и др. [51]. Изучаются некоторые вопросы нелинейного взаимодействия волн [52].

Многие из приведенных экспериментальных результатов получены на полигоне Института океанологии БАН в Шкорпиловци (30 км от Варны), где Институтом электроники оборудована лаборатория для радиофизических исследований моря, придонного слоя и прибрежной зоны. Предстоит дальнейшее расширение этой лаборатории и оборудование ее лидарными средствами.

На научно-исследовательском судне «Академик» предусмотрено создание комплексной лаборатории для дистанционного исследования моря, морского шельфа, биоресурсов моря и океана, придонного слоя. Лаборатория будет оборудована аппаратными средствами в СВЧ, ИК и оптическом диапазонах, в том числе и лидарными установками.

Одной из важных предстоящих задач Института является создание в окрестности г. Софии экспериментальной базы для комплексного мониторинга окружающей среды. Предусматривается ее оборудование как локальными, так и дистанционными средствами. При этом, как и теперь, будут максимально использованы возможности международного научного сотрудничества между БАН и АН СССР.

Проводимые в Институте электроники Болгарской Академии наук работы по созданию широкодиапазонных методов и средств дистанционного зондирования атмосферы, земной и морской поверхности направлены на решение первостепенных научных и хозяйственных проблем в таких областях, как изучение и контроль окружающей среды, долгосрочное и краткосрочное метеорологическое прогнозирование, комплексные исследования земной и морской поверхности. Важность решаемых проблем определяет необходимость дальнейшего всестороннего развития данной тематики.

1. Спасов А. Я. Развитие радиофизических методов и средств для исследования окружающей среды в Институте электроники Болгарской Академии наук. — В сб.: Радиофизические методы исследования окружающей среды. Харьков, 1987.
2. Матвиенко Г. Г., Задде Г. О., Фердинандов Э. С. и др. Корреляционные методы лазерно-локационных измерений скорости ветра — Новосибирск: Наука, 1985. — 224 с.
3. Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. — Новосибирск: Наука, 1986. — 188 с.
4. Фердинандов Э. С. Лазерно метеосондиране на атмосферного аерозолно поле. Докторская диссертация. — ИЭ БАН, София, 1987.
5. Стойкова Е. В. Точностен анализ на корелационно-екстремални системи с пространствени реализации. Кандидатская диссертация, ИЭ БАН, София, 1987.
6. Цанев В. И. Върху използването на лидарите за изследване аерозолното замъряване на атмосферата в градски и индустриални условия. Кандидатская-диссертация, ИЭ БАН, София, 1987.
7. Фердинандов Э. С., Момеров Н. Н., Сапарев С. С., Гърдев Л. Л. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. Москва, 1987. В печати.
8. Стоянов Д. В., Михалев М. А., Фердинандов Э. С. и др. — Изв. АН СССР. ФАО, 1987, т. 23, с. 121–128.
9. Либерман Б. М., Маречек С. В., Мильнин А. А. и др. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
10. Неделчев Н. М., Костов К. Г., Вичев Б. И. Там же. В печати.
11. Апостолов К. В., Стойков В. С., Цанев В. И. Там же. В печати.
12. Tsanev V. I., Apostolov K. V., Krustev T. V. et al. — Bulg. J. Phys., 1986, v. 13, N 6, p. 551–561.
13. Цанев В. И., Вындев Д. Л. — Оптика атмосферы, 1988, т. 1, № 2, с. 32.
14. Колев И., Йорданова Л., Полянов Вл., Първанов О. Там же, с. 73.

15. Колев И., Първанов О., Полянов Вл., Панева Я. Там же, с. 100.
16. Kolev I.N., Parvanov O.P., Kaprielov B.K., Iliev I.K. — Comptes rendus de l'Academic bulgare des Sciences, 1986, v. 39, № 1, p. 43–46.
17. Kolev I.N., Parvanov O.P., Kaprielov B.K., Iliev I.K. — XIII ILRC, Toronto, Canada. 1986, p. 233–236.
18. Kolev I.N., Parvanov O.P., Kaprielov B.K., Iliev I.K. — Comptes rendus de l'Academic bulgare des Sciences, 1986, v. 39, N 8, p. 41–44.
19. Колев П.Н., Първанов О., Каприелов Б., Набоко В. Лидарно измерване височината на долната граница на облачности. — III Нац. конф. «Оптика-87», Варна, 1987, с. 366–369.
20. Маринов С.М., Набоков Н., Каприелов Б.К. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
21. Маринов С.М., Първанов О.П., Полянов В.Г. Там же, в печати.
22. Kolarov G.V., Stoyanov D.V. — XII Int. Svmp. on Photon Detectors. Bulgaria, Varna, 1986, p. 314.
23. Стоянов Д.В., Коларов Г.В., Мицев Ц.А. и др. Лидарна система с лазер на медни пари и приемник в РБФ за сондиране на тропосферата и стратосферата. — III Нац. конф. «Оптика-87», Варна, 1987, с. 401–404.
24. Стоянов Д.В., Дончев А.К., Коларов Г.В., Мицев Ц.А. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
25. Мицев Ц.А., Стоянов Д.В., Коларов Г.В. и др. Статистически характеристики на лидарни сигнали от тънки облаци. — III Нац. конф. «Оптика-87» Варна, 1987, с. 381–385.
26. Коларов Г.В., Стоянов Д.В., Мицев Ц.А., Агаина Ц.Г. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
27. Митев В.А. — В сб.: Доклада от българо-съветски семинар «Лазерни методи и средства за измерване и контрол на параметрите на околната среда» София, 1985, с. 134–136.
28. Фердинандов Е.С., Митев В.А., Кирков К.П. — Авт. свидетелство, per. № 52467, 1982.
29. Митев В.А., Стойкова Е.В., Мицев Ц.А., Фердинандов Э.С. — В сб.: Доклада от българо-съветски семинар «Лазерни методи и средства за измерване и контрол на параметрите на околната среда». София, 1985, с. 123–129.
30. Стойкова Е.В. Там же, с. 180–185.
31. Стойкова Е.В. Там же, с. 186–190.
32. Стойкова Е.В., Митев В.А., Фердинандов Э.С. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
33. Стойкова Е.В. Там же. В печати.
34. Arshinov Yu.F., Bobrovnikov S.M., Zuev V.E., Milev V.M. — Appl. Optics, 1983, v. 22, p. 2984.
35. Митев В.М., Симеонов В.В., Иванов Л.М. и др. — В сб.: Доклады от българо-съветски семинар «Лазерни методи и средства за измерване и контрол на параметрите на околната среда». София, 1985, с. 130–132.
36. Mitev V.M., Simeonov V.B., Ivanov L.M. et al. — XVII European Congress on Molecular Spectroscopy. Madrid, Spain, 1985, p. 4.
37. Mitev V.M., Nitsolov S.L. — Buig. J. Phys., 1983, v. 10, p. 86.
38. Томов Пл., Георгиев П.Г. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
39. Митев В., Григоров И., Симеонов В., Томов П. Там же. В печати.
40. Thomas L., Vaghn G., Wareing D., Mitev V. — To be published.
41. Thomas L., Vaghn G., Wareing D., Mitev V. — To be published.
42. Стоянов Д.В., Хаймов С.Ж., Коларов Г.В. и др. — В сб.: Доклады от българо-съветски семинар «Лазерни методи и средства за измерване и контрол на параметрите на околната среда». София, 1985, с. 208–219.
43. Младенов Л., Хаймов С., Атанасов В. и др. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
44. Савченко А., Младенов Л. Там же. В печати.
45. Савченко А. — Изв. вузов. Радиофизика, в печати.
46. Сиркова И.Д. — Болгарский физический журнал, 1987, т. 14, № 3.
47. Попов А.П., Михалев М.А., Сиркова И.Д. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
48. Michalev M.A., Yordanov O.I., Nachev I.S. — Proc. of the URSI Int. Svmp. on Electromagnetic Theory. Budapest, 1986, p. 340.
49. Йорданов О.И., Йорданова К.И. — Болгарский физический журнал. 1986, т. 13, № 6, с. 517–523.
50. Гениев Ж.Д. — В сб.: Второй советско-болгарский семинар по дистанционным методам исследования и контроля окружающей среды. В печати.
51. Стефанов Б., Еников Р. — Болгарский физический журнал. 1985, т. 13, № 4, с. 375–381.
52. Spasov A.Y., Georgiev P.G. — Proc. of the Eur. Conf. CTD. Praha. 1985.

Институт електроніки  
Болгарської Академії наук,  
Софія

Поступила в редакцію  
30 ноября 1987 г.

**A. Ya. Spasov. Remote Sensing Techniques for Sounding Atmosphere, Water and Earth's Surface Being Developed at the Institute of Electronics of Bulgarian Academy of Sciences.**

Considered are major studies on the remote sounding of atmosphere, ocean, and underlying surface as carried out at the Institute of Electronics of Bulgarian Academy of Sciences. Special emphasis is laid on laser sounding of atmospheric aerosol. Prospects for monitoring the environment by different methods and instrumentation operative in microwave and optical spectral regions are outlined.