

**УДК 551.501**

**М. Ф. Лагутин**

**ЛАЗЕРНАЯ РЕЗОНАНСНАЯ ЛОКАЦИЯ  
В ЭКОЛОГИИ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

**1. Украинская национальная сеть лидарных наблюдений**

**В мировой практике лидарно-резонансные исследования были начаты в 70-х гг. [1]. Ученые Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники (ХТУРЭ) сформулировали и реализовали системный подход по данной проблеме и впервые в СНГ (1975 г.) провели локацию**

космической примеси натрия в районе г. Харькова [2]. Для организации и внедрения наземной мировой сети лидарных наблюдений при решении глобальных проблем антропогенного воздействия космических технологий на экологию околоземной воздушной среды специалисты ХТУРЭ провели научную разработку, создали лазеры оригинальной конструкции и лидары на их основе. Так, начиная с 15-й советской антарктической экспедиции, на антарктической станции Молодежная впервые в мировой практике был опробован лидар для зондирования мезосферного натрия [3]. На Туркменской обсерватории в пос. Вановский был создан и внедрен лидарно-радарный комплекс нового поколения для комплексного изучения притока космической примеси естественного и искусственного происхождения [4]. Систематическое лазерное зондирование стратомезосферы вблизи южных границ СНГ (в горах Копетдага) позволило организовать непрерывные наблюдения воздействий спускаемых аппаратов типа "Прогресс" на мезосферу Земли [5] и явления эруптивной деятельности вулканов. Успехи в создании лазеров высокой спектральной яркости с импульсной мощностью до 10 МВт в полосе 10 пм [6] и диапазоне волн 0,4—0,7 мкм [7] определили возможность создания и внедрения уникального в СНГ лидара, позволившего зарегистрировать отдельные атомы лития на высоте 95 км над поверхностью Земли и разделять их изотопы при контроле техногенного воздействия экспериментов, проводившихся в космосе.

К 1991 г. было завершено формирование национальной сети лидарных станций подспутникового обеспечения Украины для глобального мониторинга, после того как были созданы и внедрены лидары на антарктической станции Мирный, где впервые получены данные о наблюдениях стратосферного аэрозоля для решения проблем "озонной дыры", станции в районе Кавказа [8], где впервые в СНГ на эксимерном лазере оригинальной разработки получено высотное распределение концентрации озона [9]. В процессе годичных циклов исследования термодинамических условий (температуры стратосферы) и приливо-гравитационных волн [10, 12, 13, 14] в этом же регионе проводились комплексные наблюдения натрия пассивным сумеречным методом аппаратурой девятиканального сканирующего электрофотометра [11] на грузинской обсерватории в г. Абастумани. Коллектив ученых ХТУРЭ явился разработчиком лазерно-резонансной методологии и аппаратуры по проекту глобальных лидарных исследований с борта космической станции. Достижения в области создания средств стабилизации, монохроматизации и преобразования (удвоения) частоты излучения перестраиваемых импульсных лазеров обеспечили реальные предпосылки для создания лидаров наземного и космического базирования для зондирования ионов:  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ; нейтралов:  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Cs}$  на высотах 70—300 км над поверхностью

Земли, а также примесей стратотропосферы:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{OH}$  и др. лидарным методом дифференциального поглощения. Разработка аппаратуры, которая ведется в Р с приемным зеркалом диаметром 2,6 м, работающей в режиме счета фотонов на ПЗС-матрице, открывает возможности для решения проблем создания оптико-лазерных адаптивных систем, использующих искусственную “натриево-мезосферную звезду”. Благодаря этим достижениям университет подключается к международным проектам по глобальному изучению мезосферы Земли в районе мезопаузы (на высоте 95 км) в части исследования динамики температуры и физики гравитационных волн в этой области атмосферы лидарной методикой. По украинско-американскому проекту планируется использовать лидарные наблюдения при комплексных ионосферных исследованиях для решения проблем динамики и фотохимии нейтрально-ионизированной компоненты ионосферы.

## 2. Результаты разработки перестраиваемых лазеров и лидаров на их основе

Для практического использования лидаров в исследованиях атмосферы успешно решен целый ряд научно-технических проблем разработки передающей и приемной систем лидара. Генератор лидара сочетает в себе ряд противоречивых параметров: большую энергию в импульсе и среднюю мощность, высокую спектральную яркость, стабильность и воспроизводимость длины волны и полосы излучения, длительный ресурс работы для получения информации о физике и динамике примеси. Для решения этих задач была проведена оптимизация конструкции системы накачки перестраиваемого импульсного лазера на красителях, в котором используются стандартные прямолинейные лампы ИСП-5000 в специально исследованных режимах и схемах питания. Разработана и внедрена в сеть лидарных станций многоламповая конструкция лазерной головки на базе двойных эллиптических зеркальных осветителей, развернутых под углом друг к другу и расположенных вдоль оси активного элемента [6]. Параметры основного разрядного контура оптимизированы из условий спектрально-энергетического согласования характеристик светового импульса накачки со спектром конкретного красителя и необходимой формируемой длительности импульса, а также требуемого ресурса работы системы в целом. Предложенные режимы накачки с предионизацией позволили значительно повысить энергетические параметры излучения [16]. Для продления непрерывного ресурса работы излучателя применены оригинальные конструктивные решения элементов лазера, позволившие обеспечить быструю смену любой из десяти ламп без разъюстировки

резонатора, при этом лампы с системой охлаждения и элементами токопровода составляют единый легкоъемный узел. Достигнуты требуемые эффективности резонансного отклика спектрально-энергетических параметров излучения лазера в соответствии с шириной спектральной линии порядка 10 нм исследуемой компоненты [15]. При этом, с использованием лазерного усилителя бегущей волны, был обеспечен уровень флуктуаций длины волны величиной 0,1 от ширины спектра излучения. Требуемая долговременная стабильность характеристик излучения достигнута применением термостабилизации всех элементов резонатора с точностью порядка 0,1 °С. Созданное метрологическое обеспечение настройки на резонансную линию лоцируемой компоненты осуществлялось с помощью разработанной оригинальной аппаратуры контроля на основе оптогальванического эффекта в лампах с полым катодом в импульсном режиме включения [15]. Для повышения точности измерений был разработан компьютерно-телевизионный измерительный комплекс контроля спектра и пространственных характеристик излучения на основе термостабилизированных интерферометров Фабри-Перо, фотодиодных матриц, ПЗС линеек, а также была разработана специальная методика и лазерно-оптическая система совмещения осей приемного и передающего телескопов с точностью 0,1 мрад. Оптические элементы приемной аппаратуры лидара, кроме основных технических характеристик, минимизировались по габаритам, весам и стоимости, так как жестко связанными между собой являются такие параметры лидара, как: угол зрения приемного телескопа, расходимость излучения лазера, спектральная полоса фотоприемника, диаметр главного зеркала и др. [17]. Предельная чувствительность аппаратуры в режиме счета фотонов ограничивалась фоновыми и темновыми фотоэлектронами. Применение специально отработанных малощумящих режимов ФЭУ с охлаждением фотокатода полупроводниковым холодильником до -30 °С позволило снизить уровень темновых шумов до величины порядка 10 имп/с. Существенное уменьшение числа фоновых фотоэлектронов достигнуто за счет использования узкополосных 0,1 нм интерференционных светофильтров. Для предотвращения перегрузки ФЭУ и уменьшения уровня динамических шумов в лидарах с энергией в импульсе величиной, достигающей 10 Дж, использовались затвор-обтюратор и другие оптико-электронные средства защиты. Система аналого-цифровой обработки на основе ПЭВМ IBM PC/AT использует метод программного временного стробирования с последующим накоплением фотоэлектронов в каналах, программно устанавливаемым высотным интервалом зондирования. При автоматизированной обработке сигналов учитывалось, что в условиях накопления сигналов малой интенсивности статистика фотоэлектронов описывается законом распределения Пуассона. При этом, как известно, точность измерения в заданном

интервале времени растет с увеличением времени зондирования, а следовательно, зависит от полной излученной энергии в течение сеанса зондирования. Таким образом, требуемые энергетические параметры могли быть достигнуты только благодаря применению эффективной системы термостабилизации и прокачки генерационной среды, охлаждением ламп, разрядников и накопителей. Применение описанных выше достижений и внедрение наукоемких лазерных технологий определило значительные успехи лазерной резонансной локации в интересах экологии космического пространства.

### 3. Основные научные результаты лидарных исследований

На основе дистанционного зондирования радиолокационным методом ионизированных метеорных следов и теоретических оценок притока внеземного вещества всего комплекса аблирующих метеороидов в атмосфере Земли, с учетом фотохимии испарившегося вещества, создана эмпирическая модель глобального распределения естественного фона натрия космического происхождения. Проведенные экспериментальные наблюдения сезонных вариаций мезосферного натрия в среднеширотных условиях Евразии, Антарктиды и Арктики подтвердили предложенную модель широтного распределения фонового натрия космического происхождения [34]. В рамках реализации национальной программы контроля динамики антропогенного лития на высоте 95 км, обнаруживаемого на фоне вулканического воздействия аэрономических и других экспериментов в космосе, измерены его концентрации в естественных условиях, составляющие единицы атомов в кубическом сантиметре. На рис. 1, а приведена фотография с дисплея системы регистрации контролируемого лития, составляющего концентрацию порядка 10 атомов в кубическом сантиметре на высоте 95 км. На рис. 1, б приведены уникальные лидарные наблюдения аэрозольно-натриевой динамики в районе газопылевого облака, возникающего при торможении спускаемого аппарата типа "Прогресс" [5], что позволило сформулировать критерии для устойчивой регистрации экологического влияния на атмосферу "испарений с его поверхности". Эти результаты определили значительную перспективность метода для диагностирования "атмосферы" вокруг летательных аппаратов в космосе и "следов", образуемых при их торможении в атмосферу Земли. Исследования возможности лидарных наблюдений высотно-временной стратификации концентрации натрия позволили организовать лазерно-резонансный мониторинг спектра вертикальных масштабов акустогравитационных волн, возбуждаемых в атмосфере [14]. Было установлено, что закон распределения зарегистрированных волн и направлений движения их фаз указывает

на различные энергетических источников, возбуждающих эти колебания, в вы-  
соких и среднеширотных условиях.

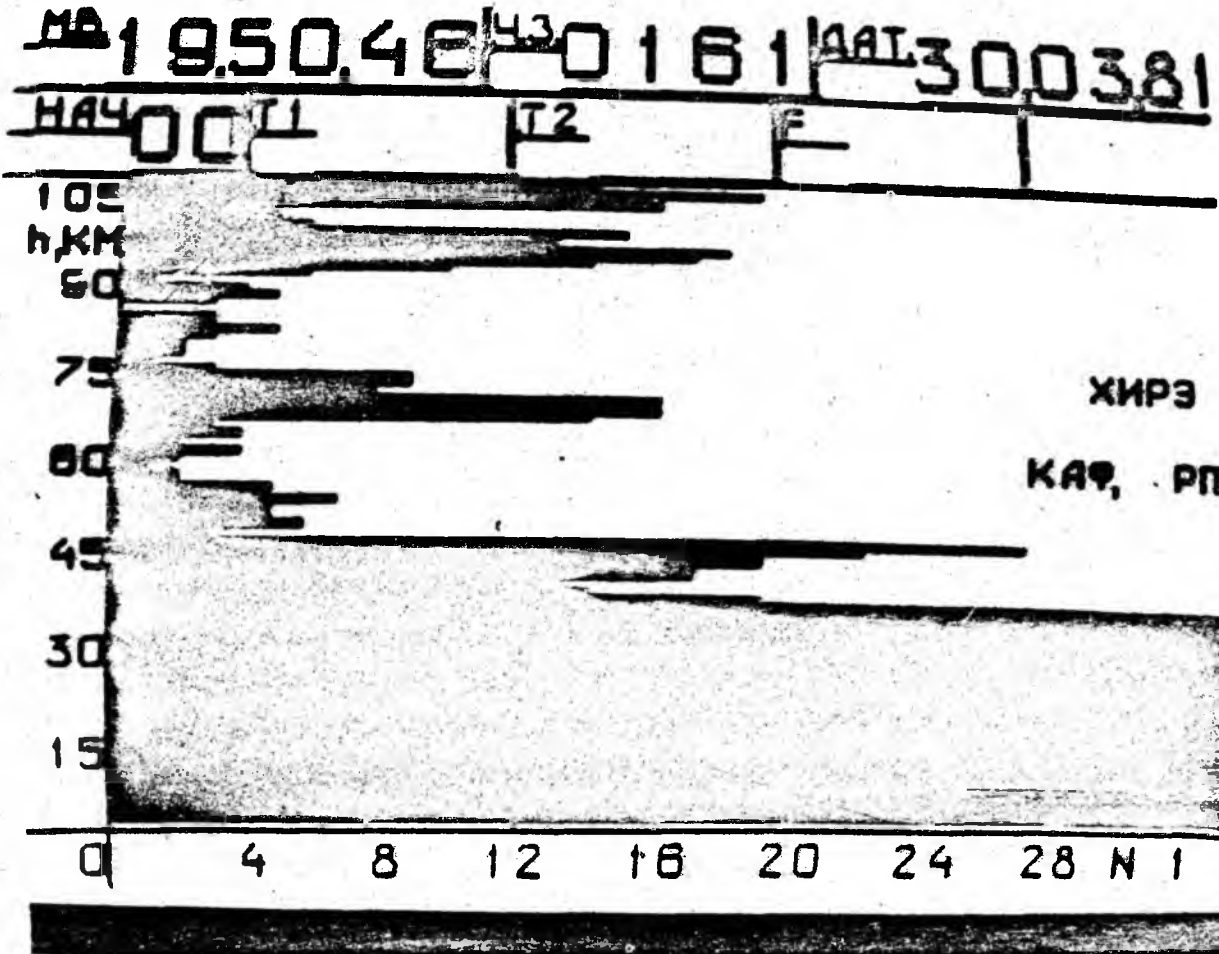
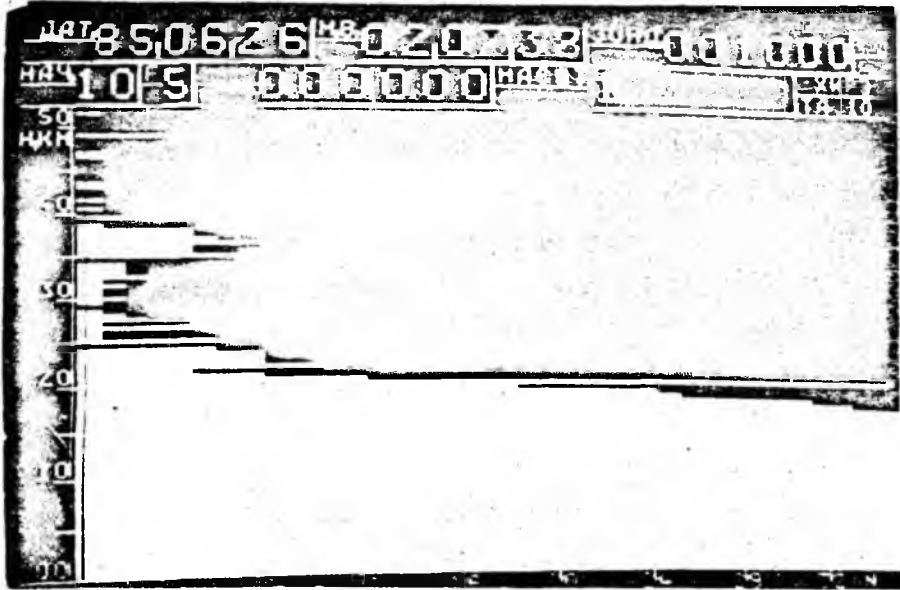


Рис. 1. Вид фоторегистраций: слоя лития на высоте 95 км над поверхностью Земли (а); слоя натрия на высоте 95 км и серебристых облаков на высоте 73 км (б)

Система наблюдения волновых процессов на трех станциях ХТУРЭ (в районе Ашгабата, Туапсе и Харькова) обеспечила возможность “пеленгации” наземных и верхнеатмосферных источников энергетического воздействия на мезосферу. Обнаруженная ранее уникальная особенность высокоширотной “пичковой” аномалии концентрации натрия обязана, вероятно, “сгонке” ионов натрия в слой шириной 100 м от высыпающегося на полюсе космического вещества. Как было нами установлено, эти явления в средних широтах имеют другую природу и вызваны, возможно, испарением щелочных металлов от горизонтально входящих в атмосферу метеороидов. Предложенный автором метод локации нейтралов и ионов кальция, особенно в эпоху действия крупных ежегодных метеорных потоков, создает возможность использования этих естественных “трассеров” для изучения ионосферы без запуска в космос геофизических ракет, запускаемых обычно для постановки искусственных облаков веществ, что снимает проблему экологического риска, который имеет место при инъекции в атмосферу примесей антропогенного характера. Опыт оптической локации атмосферной плотности, и особенно температуры в тропостратосфере с использованием молекулярного рассеяния, позволил организовать наблюдение над Украиной зимних стратосферных потеплений, обязанных воздействию динамики стратосферного озона над Европой. Для комплексного решения этой проблемы был создан УФ лидар и впервые в СНГ получено высотное распределение озона на волне эксимерного  $XeCl_2$  лазера оригинальной разработки [9]. Озонлидарная и УФС фотометрия аномалий солнечного излучения позволили стимулировать внедрение мониторинга кризисных ситуаций при гелиотерапии, особенно детей в курортно-оздоровительных условиях Восточного Причерноморья в рамках международной программы “Экология Черного моря” и обязательств Украины по международным проектам по озону и озоноразрушительным веществам, а также по проблемам глобальных изменений климата и трансграничных переносов выбросов в Европейском регионе.

Область М-зоны, которая занимает 80—120 км (мезосфера и нижняя термосфера), исследовалась нами комплексным методом [18], при этом наиболее оригинальные результаты были получены совместно с Институтом экспериментальной метеорологии России при изучении статистики пульсационных скоростей [21], отражающей хаосдинамический характер турбулентных движений в ней. Результаты экспериментальных работ по радиометеорным импульсным [19, 21] и непрерывным методам [20] показали, что в этой зоне атмосферы существует инерционная подобласть всех масштабов турбулентных движений, подчиняющихся закону Колмогорова-Обухова; были установлены большие значения чисел Рейнольдса в этой среде и показано, что “интенсивность” турбулентного состояния контролируется солнечным

излучением [22]. Принципиальной задачей исследования был поиск механизмов энергообеспечения турбулентности, одним из которых оказались волны приливного и особенно акустогравитационного характера [23].

Наиболее существенные сведения о них получены при лидарных наблюдениях в Антарктиде [24], в районе Копетдага [25] и над Кавказским регионом [26]. Установлено, что их источники могут быть выше М-зоны, как, например, в области высыпания энергичных частиц в атмосферу южнополярного региона, так и в собственно тропостратосфере. На рис. 2 представлена типичная зависимость вертикальных  $\lambda_z$  масштабов этих волн для зимы 1989—1990 гг. от их периодов  $T_B$ , которые аппроксимируются зависимостью вида  $\lambda_z = CT_B^P$  ( $C=0,2$  и  $0,3$  зимой и летом соответственно;  $P=0,7$  и  $0,6$  соответственно). Таким образом было экспериментально подтверждено, что М-зона является диссипативной структурой, в которой энергия затухающих в ней волновых процессов имеет среднюю вертикальную скорость  $C = 1$  м/с и в этой зоне превращается в тепловую.

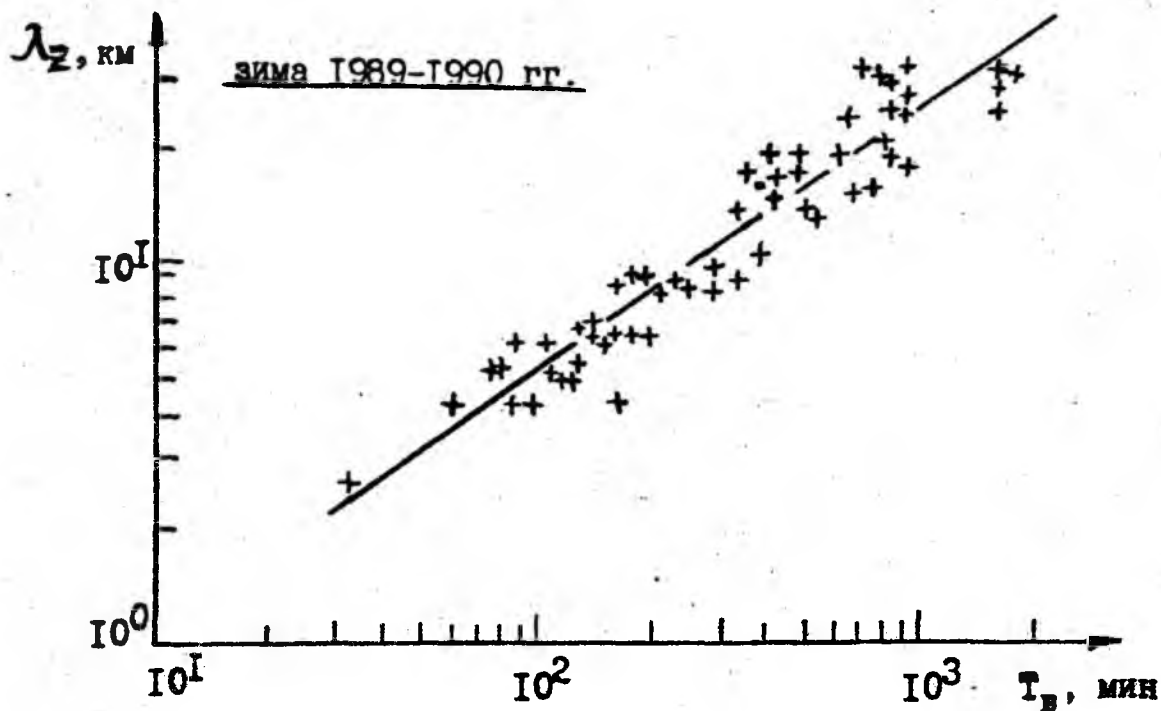


Рис. 2. Зависимость зарегистрированных масштабов волн для зимы 1989—1990 г. над Туапсе

Были проведены теоретические исследования динамики антропогенной нейтральной примеси при искусственном воздействии на мезосферу. На основе оригинальных результатов наблюдений и представления о роли метеорологического источника в формировании слоя мезосферного натрия построена глобальная модель широтно-сезонного хода с учетом особых

термодинамических условий [29], влияющих на его фотолитию, при этом использованы экспериментальные лидарные наблюдения на собственной сети станций в Антарктиде [31], Туркмении [30, 35], на Кавказе [10] и в Харькове [32].

Было установлено, что средняя высота максимума слоя в Антарктиде на 2—3 км ниже для Туапсе в 1989 г., чем на ст. Молодежная в 1979 г., сезонный ход аналогичен и наблюдается лишь со сдвигом на полгода, так как измерения проводились в различных полушариях.

Многолетние лидарные наблюдения в районе наилучших астроклиматических условий (в горах Конетдага) показали, что избыточного аэрозольного рассеяния космической пыли в мезосфере не было отмечено [34]. Аномальное рассеяние мезосферы [5, 36] интерпретировано как эффекты влияния опытов по воздействию пылевого и аэрокосмических экспериментов на севере от станции наблюдения; наиболее оригинальные данные аэрозольной избыточности отмечены в период прохождения спускаемого аппарата типа “Прогресс” в этом районе (см. рис. 1, б). В связи с тем, что система работала в режиме резонансного зондирования, это могли быть также сигналы от испарявшегося с поверхности космического аппарата натрия. Впервые в СНГ была зарегистрирована запыленность стратосферы в период прохождения аэрозольных “облаков” над Ашхабадом, обязанных эруптивной деятельностью вулкана Эл-Чинчон [37].

По программе изучения проблемы “озонной дыры” над Антарктидой совместно с Институтом Арктики и Антарктики России силами ХТУРЭ была создана лидарная станция и организованы исследования динамики аэрозольного рассеяния на антарктической станции Мирный [38].

Непрерывные ряды зимне-весенних наблюдений аэрозольного рассеяния показали, что в период уменьшения концентрации озона (наблюдаемой) сумеречным методом отмечены возрастания избыточной “запыленности атмосферы” на высотах 10—25 км, что соответствует одному из возможных механизмов, которые могут повлиять на концентрацию озона в Антарктиде.

#### 4. Проект лидарных исследований примесей верхней атмосферы с борта космических аппаратов (КА) типа “Прогресс-Мир” и “Сич”

Осуществляя лидарный экологический контроль за околоземным пространством, можно с определенной точностью говорить о процессах, происходящих как в определенной области атмосферы Земли, так и на планете в целом. Это может быть достигнуто благодаря специфическим возможностям бортового лидара при наличии подспутникового обеспечения и априорных сведений об ожидаемых и предельно допустимой концентрации

зондируемых нейтральных щелочных примесей и их ионов как естественно-го, так и искусственного (антропогенного) происхождения. Как было показано, источник ионов естественного происхождения обязан в основном [1] притоку твердого вещества, поступающего из космоса в атмосферу Земли, а также за счет инжекции в ионосферу и магнитосферу щелочных металлов, распространение которых в верхней атмосфере зависит от механизма их переноса в термосфере Земли.

Детальное рассмотрение вопроса распределения ионов в верхних слоях атмосферы позволило сделать вывод о том, что за счет источников метеорных ионов, постоянно присутствующих на высоте 90 км над поверхностью Земли, при наличии горизонтальных преобладающих ветров, за счет акустогравитационных и тепловых приливов, происходит перенос ионов в вертикальном направлении с учетом совместного действия электрического и магнитного поля Земли. В результате распределение ионов в верхней атмосфере может отличаться от распределения концентрации их породивших нейтральных частиц. Если направление ветра меняется с высотой, то меняется и направление переноса ионов. Поэтому ионы могут "сгоняться" в тонкие слои. В некоторых случаях может образоваться спорадический слой  $E_c$ , а за счет процессов рекомбинации могут возникнуть спорадические слои нейтральных примесей, как это было зарегистрировано нами при локации натрия 15 августа 1989 г. Концентрация натрия, наблюдавшаяся в слоях меньше 1 км, составляла порядка  $10^4$  (1/см куб.), время жизни которых составляло примерно 100 с, и имела скорости вертикального перемещения примерно 10 м/с.

Известно, что на высотах более 200 км число столкновений ионов уменьшается, а механизм переноса меняется и в основном он обязан эффекту Педерсена. На этих высотах ионы внеземного происхождения были обнаружены с помощью масс-спектрометра на геофизических ракетах, а также методом фотометрии на спутниках.

Достижения последних лет в создании (в том числе и в ХТУРЭ) перестраиваемых узкополосных с полосой 0,001 нм лазеров, обладающих большей спектральной яркостью излучения, позволили сформулировать программу спутникового изучения большого числа примесных составляющих верхней атмосферы. При этом открываются возможности контроля динамики искусственно создаваемых ионизированных областей, исследования их диффузии, переноса под воздействием электродинамических эффектов. Также актуальны исследования эффектов активных воздействий ионов плазмы, ионных пучков, нейтрального газа, проводимых со спутников. Известны некоторые программы по исследованию возможности лидарных наблюдений Mg, Na, K с борта космического аппарата типа "Шаттл" и "Мир". Однако

их реализация ограничена из-за ряда конструкторско-технологических сложностей, энергоограниченности и особенно низкого КПД жидкостных лазеров первого поколения. Более совершенными по массогабаритам, энергоресурсам и другим параметрам являются перестраиваемые лазеры на основе сапфир-титана, в том числе в перспективных проектах при зондировании с борта украинского КА типа "Сич".

Основными достоинствами лазеров на этом кристалле, определяющими возможности его использования в системах дистанционного зондирования из космоса, являются: значительная мощность и энергия лазерного импульса, высокие пространственные и временные характеристики излучения, которые позволяют использовать его без применения коллимирующих систем. Отличительной способностью лазера на основе сапфир-титан являются более высокий общий КПД лазера, достигающий 5 %, и улучшенные термодинамические характеристики, что позволяет применять высокоэффективную ламповую накачку без использования АИГ лазера на второй гармонике в качестве монохроматической накачки.

В результате теоретических и экспериментальных исследований создан опытный образец лазера на кристалле диаметром 8 мм и длиной 80 мм при ламповой накачке, который обладал энергией 1,0 Дж, частотой следования импульсов 1 Гц в полосе 1—10 пм, с перестройкой в диапазоне 0,7—0,9 нм. Задающий генератор и усилитель накачивались лампами типа ИНП в плотной упаковке. В резонаторе применялись интерференционно-поляризационные фильтры, а вторую или третью гармоники излучения лазера получали, применяя нелинейные кристаллы с эффективностью преобразования порядка 30 %.

Существенное расширение возможностей реализации проекта связано с применением ФЭУ с фотокатодом из арсенида галлия и квантовым выходом порядка 20 %, что снижает требования к размеру приемного телескопа на порядок, это позволило на этапе НИОКР применить телескоп диаметром 0,4 м, такой, как планируется применять по проекту "Алиса".

Полученные нами численные оценки возможностей резонансного бортового лидара позволяют планировать их применение на модуле типа "Природа" и "Сич". При глобальных наблюдениях примесей ионов железа и магния в верхней атмосфере можно получить распределения с возможностями и точностями, представленными в табл. 1, где  $N(Z)$  — число зарегистрированных фотоэлектронов на удалении  $Z$  от спутника, и отмечены погрешности измерений. Эти результаты получены для энергии 0,2 Дж в импульсе на длинах волн 263 и 280 нм. Расчеты производились при зондировании в зенит и надир на различную глубину с высоты 300 км при толщине зондируемого слоя 2 км, с учетом реальной концентрации в этом слое.

В случае, когда разрешающая способность по горизонтали оказалась менее 8 км, то есть меньше расстояния пролета КА за период следования зондирующего импульса, возможно увеличение разрешающей способности по высоте до 500 м, так как реальная длительность импульса при ламповой накачке составляет порядка 3 мкс.

Применению бортовых лидарных экспериментов для таких оригинальных экспериментов будут предшествовать проекты бортовой дальнометрии, которые на первом этапе посвящены изучению верхней кромки облаков [28], как простейшей задаче в метеорологических исследованиях. Одной из таких и др. проблем зондирования занимается созданный в Харькове международный Институт глобального экологического мониторинга.

*Таблица 1*

**Результаты численного зондирования магния  
с борта космического аппарата**

Z, км	180	150	50	40	25	20	10	50	1501
N(Z)	955	1,0	8	271	972	424	935	16	0,11
погр. %	3	95	34	6	3	5	3	46	3651

**В ы в о д ы:** 1. Специалистами ХТУРЭ освоено и внедрено метод лазерного резонансного зондирования, позволяющий получать результаты зондирования на уровне лучших мировых достижений. Достигнутый высокий уровень лазерных технологий определил возможность внедрения их в интересах геофизики, метеорологии, медицины и в других областях народного хозяйства Украины.

2. Радиофизический комплекс дистанционного зондирования околоземного космического пространства, развернутый в Харьковском регионе, и сеть станций представляют собой национальное достояние, скоординированное использование которого надолго обеспечит приоритетные позиции ученых Украины в указанных областях исследований.

3. На базе уникальных технических средств, используя приемное зеркало диаметром 2,6 м и ПЗС-матричную регистрацию сигналов в режиме

счета фотонов, без дополнительных капитальных затрат, возможно в кратчайшие сроки организовать мониторинг околоземного воздушного пространства в интересах успешного выполнения международных обязательств Украины по защите озонового слоя, контроля трансграничного переноса техногенных выбросов и решения проблем глобального изменения климата.

**Л и т е р а т у р а:** 1. *Лагутин М. Ф.* К вопросу о происхождении атомов металлов в нижней ионосфере Земли // *Астр. вести.*—1974.—Т. 8.—№ 3.—С. 151—168. 2. *Lagutin M. F.* The interpretation of laser observation of sodium layer on the base of meteors influx dynamics // *Abstr. of 7-th ILRC, Manjo Park.*— 1975.— P. 35—36. 3. Лазерное зондирование верхней атмосферы на антарктической станции Молодежная / *М. Ф. Лагутин и др.* // *Докл. АН СССР.* — 1981.— Т. 258.— № 2.— С. 168. 4. *Lagutin M. F. et all.* Lidar investigation of M-sone // *Handbook for MAP.*— 1987.—V. 25.— P. 405—409. 5. Лидарные наблюдения аномального рассеяния в мезосфере / *М. Ф. Лагутин и др.* // *Изв. АН ТССР: Сер. физ. техн.-хим. и геол. наук.*— 1981.—№ 5.—С. 45—51. 6. *Зарудный А. А., Лагутин М. Ф.* Лазер повышенной спектральной яркости для спектрометрических измерений // *Тр. IX Всесоюзн. симпоз. по лазерному зондированию атмосферы.*—Томск, 1987.— Ч. 2.— С. 280—284. 7. Лидар для исследования мезосферной примеси / *А. А. Зарудный, М. Ф. Лагутин и др.* // *Оптика атмосферы.*— 1988.— Т. 1.— № 6.— С. 83—89. 8. Equipment and result of the mesospheric sodium layer invest in Tuopse / *M. F. Lagutin, A. A. Zarudny et all* // *Abstr. 15-th ILRC.*— Tomsk.— 1990.— P. 135—139. 9. УФ-лидар для озонозондирования / *И. Г. Шурыгин и др.* // *Оптика атмосферы.*— 1990.— Т. 3.— № 10.—С. 1056—1059. 10. *Лагутин М. Ф., Зарудный А. А., Верхоробин А. Л.* Результаты экспериментальных исследований динамики параметров натриевого слоя // *Оптика атмосферы и океана.*— 1993.— Т. 6.— № 5.— С. 553—558. 11. *Лагутин М. Ф., Беседовский Н. Ю.* 9-канальный сканирующий электрофотометр // *Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерв.*— 1980.— № 53.— С. 15—18. 12. Динамика атмосферных примесей из лидарных наблюдений / *Лагутин М. Ф. и др.* // *Изв. АН СССР: ФАО.*—1989.— № 11.— С. 215—218. 13. Перспективы лазерного зондирования полярной атмосферы / *М. Ф. Лагутин и др.* // *Бюл. САЭ.*—1988.— № 110.— С. 30—38. 14. *Lagutin M. F., Verchorobin A. L.* The internal gravity waves lidar statistical detection technique and experimental data // *Abstr. 15-th ILRC.*—Tomsk.— 1990.— P. 166—168. 15. *Лагутин М. Ф., Мустецов Н. П., Зарудный А. А.* Разборные лампы накачки для лазера на органическом красителе // *ПТЭ.*— 1978.— № 2.— С. 178—180. 16. Люмінесценція двокомпонентних систем при стаціонарному та імпульсному режимах збудження / *М. Ф. Лагутін та ін.*

- // Укр. фіз. журн.— 1974.— Т. 19.— № 4.— С. 131—138. 17. *Зарудный А. А., Мегель Ю. Е.* Анализ приемной системы лидара // Тр. IX Всесоюзн. симпоз. по лазерному зонд. атмосф.— Томск.— 1987.— Ч. 2.— С. 285—288. 18. *Lagutin M. F.* Complex research of mesosphere by laser radio-meteor prolin and by the method photometric jbservation // Abstr. of 8-th ILRC& Sandford (USA).
19. *Лагутин М. Ф., Кузнецов В. Н., Онуфриев В. П.* Статистический подход к обработке результатов радиолокационных наблюдений метеорных следов. // Тр. Института экспериментальной метеорологии.— 1974.— Вып. 2(46).
20. *Лагутин М. Ф., Смагин Д. М. и др.* Радиолокационные наблюдения метеоров в Ашхабаде // Изв. АН Туркм. ССР.— 1970.— № 6.
21. *Петручек Е. П., Лагутин М. Ф.* Регистрация скоростей дрейфа метеорных следов на станции Молодежная // Бюл. САЭ.— 1970.— № 77.
22. *Делов А. И., Лагутин М. Ф., Лысенко А. И.* Исследования некоторых параметров турбулентных движений методом радиолокации метеорных следов // Изв. высш. уч. зав. Радиофизика.— 1964.— Т. VII.— № 2.— С. 225—231. 23. Статистический метод в обработке информации о скорости дрейфа метеорных следов / *М. Ф. Лагутин и др.* // Межвед. сб. Радиотехника.— 1974.— Вып. 290. 24. *Лагутин М. Ф., Мегель Ю. Е.* Волновые процессы в стратосфере Антарктиды по результатам лазерного зондирования на станции Молодежная // Тез. докл. 6 Всесоюзн. симп. по лаз. и акуст. зондированию.— Томск, 1980.— Ч. 1.— С. 217—219. 25. *Торба А. А., Лагутин М. Ф., Альшевская Л. В.* Изучение структуры натриевого слоя на высоте 80—100 км // Исследования динамических процессов в верхней атмосфере.— Л.: Гидрометиздат, 1988.— С. 116—118. 26. *Lagutin M. F., Verchorobin A. L.* The internal gravitation waves lidar statistical detection technique and experimental data // Tes. 15-the International Laser Radar Conf.— Tomsk, 1990.— V. 2.— P. 166—168. 27. Международный целевой комплексный проект “Природа”. Научная программа экспериментов.— М.: ИРЭ АН СССР, 1991.— 136 с. 28. *Коханенко Г. П. и др.* Зондирование облачности орбитальным дальномером // Оптика атмосферы и океана.— 1994.— Вып. 7.— № 7.— С. 967—975. 29. *Лагутин М. Ф.* Возможности лидарных методов в исследовании динамики верхней атмосферы // Исследование динамических процессов в верхней атмосфере.— Л.: Гидрометиздат, 1979.— С. 232—240. 30. *Лагутин М. Ф., Андросенко О. Н., Бабенко А. А.* Влияние притока на высотное распределение натрия в верхней атмосфере // Изв. АН Туркм. ССР.— 1976.— Сер. физ.-техн., хим. и геолог. наук.— № 6.— С. 61—62. 31. *Лагутин М. Ф., Мегель Ю. Е., Мустецов Н. Ю.* Исследование атмосферы лидарным методом в Антарктиде // Метеорологические исследования в Антарктиде.— Л.: Гидрометиздат, 1986.— Ч. II.— С. 96—102. 32. *Лагутин М. Ф., Мустецов Н. П., Стонога В. А.* Исследование

высотного распределения натрия методом оптической локации // Изв. АН Туркм. ССР.— 1976.— № 4.— С. 117—119. 33. *Лагутин М. Ф., Рыбалко А. И., Зарудный А. А.* Сезонные вариации атмосферного натрия в Антарктиде // Инф. бюлл. САЭ.— Л.: Гидрометиздат, 1980.— № 110.— С. 78—85. 34. *Овезгельдыев О., Беркелиев М., Лагутин М. Ф.* Магнитосфера — природная лаборатория в изучении актуальных процессов межпланетной пыли // Изв. АН Туркм. ССР.— 1983.— № 1.— С. 32—43. 35. *Lagutin M. F. et. al.* Sodium laser dynamycs from observation // Tes. Second Globmet simp.— Moscou, 1988.— P. 132. 36. *Овезгельдыев О., Лагутин М. Ф. и др.* О лидарном наблюдении областей избыточной концентрации атмосферных аэрозолей над Ашхабадом // Изв. АН Туркм. ССР.— 1981.— № 6.— С. 108—110. 37. *Лагутин М. Ф., Овезгельдыев О., Маева А.* Лазерные наблюдения мезосферного аэрозоля в период действия вулкана Эль-Чичон // Тез. докл. II Всесоюз. симп. МПСА.— М., 1986. 38. *Лагутин М. Ф., Рыбалко А. И. и др.* Исследования атмосферного аэрозоля в Южном полярном районе // Тр. X Всесоюз. симп.— Томск, 1989.— Ч. 1.— С. 25.

УДК 621.391.2