

М.А. Локощенко, М.С. Пекур

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА РАССЕЯНИЯ ЗВУКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ (АПС)

Представлены результаты непрерывных наблюдений температурной стратификации АПС с помощью факсимильной записи эхосигнала акустического лоатора (содара). Содарные измерения проведены впервые в СССР одновременно в двух пунктах на территории большого города.

Институт физики атмосферы АН СССР и Метеорологическая обсерватория МГУ проводили долговременные, непрерывные наблюдения стратификации АПС в условиях крупного города (Москвы) при помощи акустического лоатора (содара) в 1989–1991 гг. Известно, что обратное рассеяние звука, лежащее в основе действия маностатического содара, определяется турбулентными флуктуациями температуры [1], интенсивность и пространственная структура которых тесно связаны с температурной стратификацией атмосферного пограничного слоя (АПС). Это позволяет интерпретировать факсимильную запись принятого эхосигнала в терминах стратификации АПС [2, 3].

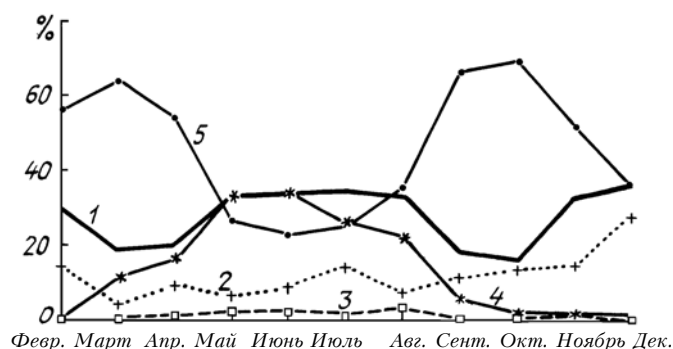


Рис. 1. Годовой ход повторяемости разных типов стратификации по содарным наблюдениям 1990 г. в МГУ: кривая 1 — приземная инверсия (одиночная); 2 — приподнятая инверсия при устойчивой и безразличной стратификации в нижнем слое; 3 — конвекция, ограниченная сверху слоем приподнятой инверсии; 4 — развитая конвекция; 5 — стратификация, близкая к безразличной

Акустический лоатор ЭХО-1 был установлен на территории Метеообсерватории МГУ в 8-ми км от центра города, в районе неплотной застройки с большим количеством парков (Ботанический сад МГУ и др.). Этот прибор позволяет получать непрерывную факсимильную запись, имеет рабочую частоту 1666 Гц, вертикальный диапазон 800 м, длину и мощность зондирующего импульса 75 мс и 75 Вт соответственно. Более подробное описание технических характеристик и способ интерпретации факсимильных записей приведены в [4, 5].

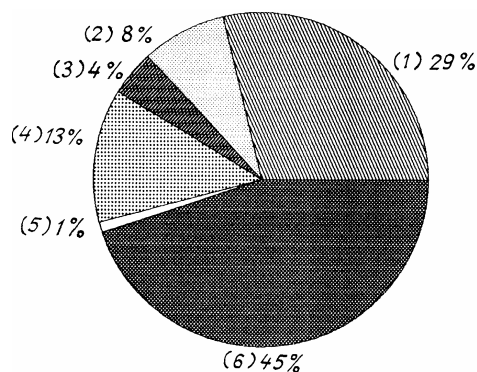


Рис. 2. Круговая диаграмма повторяемости разных типов стратификации по содарным наблюдениям 1990 г. в МГУ: 1 — приземная инверсия (одиночная, т. е. без приподнятой); 2 — приподнятая инверсия при слабоустойчивой или безразличной стратификации внизу; 3 — приземная и приподнятая инверсии одновременно; 4 — развитая конвекция; 5 — конвекция, ограниченная сверху слоем приподнятой инверсии; 6 — стратификация, близкая к безразличной

В результате статистической обработки массива данных получены: суточный ход повторяемости различных типов стратификации для каждого месяца и по сезонам года; повторяемости и высотные характеристики инверсий (приземных и приподнятых), безразличной и неустойчивой стратификации для каждого месяца, сезона, года (рис. 1–4). Годовой ход этих характеристик (рис. 1) показывает, что приземные инверсии существенно реже встречаются в переходные сезоны (в марте–апреле и в сентябре–октябре около 20%), чем в остальное время года – до 40%. Стратификация, близкая к безразличной, напротив, имеет весной и осенью наибольшую повторяемость (до 60–65%). Конвективные условия имеют четкий максимум летом (до 35% с мая по август) и минимум в конце осени и зимой – порядка 1%. Повторяемость приподнятых инверсий невелика (около 10%) во все сезоны, кроме поздней осени, когда она возрастает до 20%. В среднем за 1990-й год в пункте наблюдения МГУ время существования приземных инверсий (рис. 2) составило 33%, а четко выраженных конвекционных условий – всего 14%. По многолетним данным аэрологического зондирования в Москве (пункт находится за чертой города) вероятность приземных инверсий близка к 30%, а приподнятых (в слое 0,01–,25 км) – 9% [6].

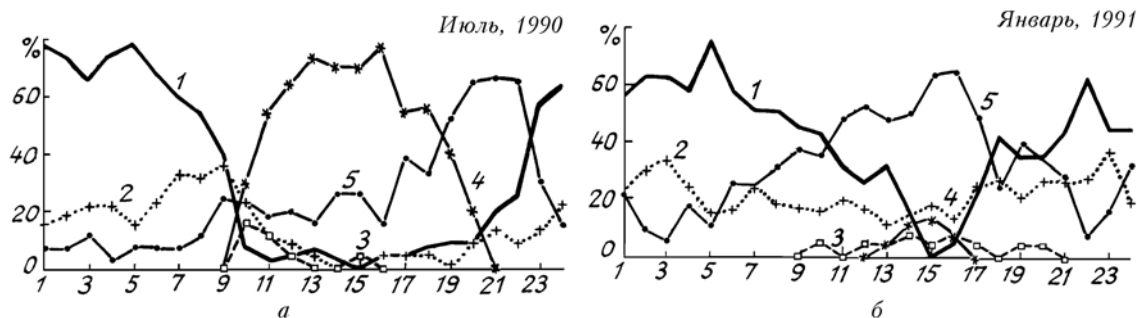


Рис. 3. Среднесуточная повторяемость разных типов стратификации по содарным наблюдениям в МГУ. А – для июля 1990 г; б – для января 1991 г. 1 – приземная инверсия; 2 – приподнятая инверсия; 3 – конвекция, ограниченная сверху слоем приподнятой инверсии; 4 – развитая конвекция; 5 – стратификация, близкая к безразличной

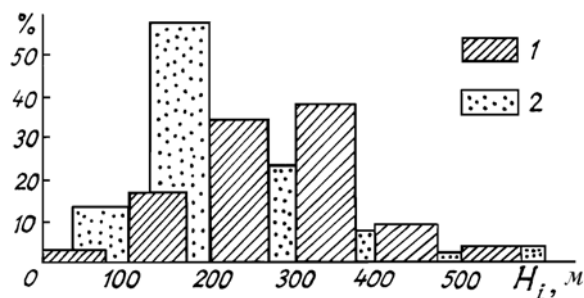


Рис. 4. Гистограммы распределения мощности приземной инверсии по содарным наблюдениям в МГУ для зимнего и летнего сезонов. 1 – декабрь 1989 г. – февраль 1990 г. 2 – июнь–август 1989 г.

Сравнение полученных значений с аналогичными результатами других содарных наблюдений затруднено из-за того, что границы оценки типа стратификации, используемые некоторыми авторами, могут быть несколько смещены. В частности, в [7] к безразличной стратификации отнесены лишь случаи полного отсутствия изображений на факсимильной записи, тогда как мы в эту категорию включаем еще и слабые неупорядоченные приземные структуры различной морфологии, охватывающие некоторый набор слабоустойчивых и нейтральных ситуаций. Тем не менее доля приподнятых инверсий в общей выборке (13%) близка к аналогичной величине для Нью-Дели [7] – 11%, несмотря на упомянутое отличие оценок, а также на разницу климатических условий.

Зимний и летний суточные ходы повторяемости различных типов приведены на рис. 3. Классический суточный ход изменения стратификации нижнего слоя атмосферы летом общеизвестен. В течение ночи в результате радиационного выхолаживания в 70–85% случаев наблюдается слой приземной инверсии. После восхода солнца этот слой начинает подниматься, а под ним постепенно возникает конвекционная структура, причем приподнятая инверсия может в течение нескольких часов существовать над слоем развитой конвекции. В дневное время повторяемость неустойчивой стратификации, по нашим данным, достигает 75–90%. К вечеру конвекция загухает, сменяясь сначала безразличными условиями, а затем – вновь образующимся инверсионным слоем. Следует отметить, что наличие облачного покрова, вариации средней скорости ветра и других метеорологических параметров вносят существенные коррективы в описанный типичный ход. В частности, эволюция ночной радиационной инверсии может происходить существенно различными путями в зависимости от синоптических факторов. В зимних условиях развитая конвекция наблюдается весьма редко, а днем преобладает безразличная стратификация.

Средняя мощность приземного инверсионного слоя испытывает сезонные колебания. Гистограммы распределения высоты (мощности) инверсии H_i для зимнего и летнего сезонов (рис. 4) указывают на то,

что зимой инверсии в среднем существенно выше. Максимальных величин H_i достигает, по нашим данным, в ноябре—феврале (300—320 м); минимум приходится на лето и начало осени (180—200 м). Максимум высота приземного инверсионного слоя также отмечен в зимний период (несколько выше 600 м).

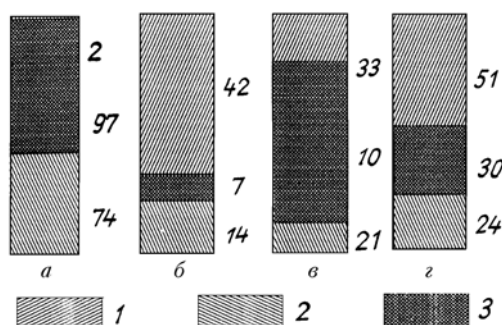


Рис. 5. Сопоставление типов стратификации АПС: *a* — приземная инверсия; *б* — приподнятая инверсия; *в* — развитая конвекция; *г* — стратификация, близкая к безразличной. 1 — наблюдался только в ИФА; 2 — наблюдался только в МГУ; 3 — наблюдался и в ИФА, и в МГУ

Впервые в СССР нами были проведены содарные измерения одновременно в двух пунктах на территории большого города. В дополнение к первому пункту наблюдения (МГУ) был организован второй. Акустический локатор располагался на крыше здания ИФА в центре города, на высоте около 10 м. Параметры содара ИФА приведены в [8]. Анализ полученных данных показывает, что существуют определенные отличия в динамике и структуре АПС в этих точках. На рис. 5 представлено сопоставление типов стратификации, зарегистрированных во время синхронных наблюдений в период 15.05—15.06. 1990 г. Цифрами указано количество часов, в течение которых был отмечен каждый тип в ИФА, в МГУ и одновременно в обоих пунктах.

Следует отметить, что если для безразличной и конвективной стратификации картина «совпадений» практически симметрична, то в инверсионных условиях существует резкая асимметрия: приземные инверсии в центре наблюдаются почти в полтора раза реже и практически всегда (более 90% случаев) сопровождаются инверсиями в МГУ. Это, по-видимому, связано с эффектом городского «острова тепла», уменьшающего продолжительность и интенсивность ночных радиационных инверсий в центре города по сравнению с периферией. Этим же, вероятно, объясняется и более частое существование приподнятых инверсий над ИФА чем над МГУ.

Приведенные данные могут быть использованы при выработке рекомендаций о высоте труб промышленных объектов, а также степени перегрева выбросов, необходимой для обеспечения выноса загрязнений за пределы слоя перемешивания. Результаты синхронных измерений в двух местах показывают недостаточность одного пункта наблюдения для такого большого города, как Москва, и необходимость установки нескольких станций мониторинга метеорологических условий, влияющих на концентрацию загрязняющих примесей.

Авторы выражают признательность М.А. Каллистратовой за постановку задачи и плодотворное обсуждение полученных результатов.

1. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Изд-во АН СССР, 1967
2. Wuskoff R. J., Bergan D. N., Hall F. F. // *J. Appl. Meteorol.* 1973. P. 1196—1204
3. Жуков В. П., Прилепов В. Н., Пузаев В. Н. // *Труды ЦВГМО.* 1934. Т. 20 (1). С. 124—132.
4. Пекур М. С. Предварительные результаты содарных исследований АПС над Москвой. М., 1990. С. 62—71. (Препринт/ИФА АН СССР, № 7).
5. Каллистратова М. А., Пекур М. С., Петенко И. В., Тиме Н. С. Методика дистанционного измерения параметров слоя перемешивания доплеровским акустическим локатором (содаром). М., 1991. С. 77—94. (Препринт /ИФА АН СССР, № 1).
6. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. Л.: Гидрометеоздат, 1983.
7. Singal S. P., Aggarwal S. K. et al. // *Atm. Environment.* 1985. № 2. P. 221—228.
8. Каллистратова М. А., Петенко И. В. // *Фундаментальные науки — народному хозяйству.* М.: Наука, 1990. С. 426—430.

Институт физики атмосферы РАН,
Москва

Поступила в редакцию
2 октября 1991 г.

M. A. Lokoshchenko, M. S. Pekour. Use of Sound Scattering for Studying Temperature Stratification of the Atmospheric Boundary Layer.

Institute of Atmospheric Physics and Meteorological observatory of MSU have carried out permanent observations of the atmospheric boundary layer temperature stratification using a sodar facsimile recordings.

Simultaneous sodar measurement at two observation points within a big city has been carried out for the first time in the USSR.