

5. Введенская А. В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М.: Наука, 1969, 134 с.
6. Габриелян А. А., Саркисян О. А., Симонян Т. П. Сейсмотектоника Армянской ССР. Ереван: Изд. Ереван. ун-та, 1981, 283 с.
7. Гамкрелидзе П. Д. Основные черты геологии Грузии в связи с ее глубинным строением.—В кн.: Глубинное строение Кавказа. М.: Наука, 1966, с. 9—21.
8. Землетрясения в СССР в 1978 году. М.: Наука, 1982, 232 с.
9. Карапетян Н. К. Чалдыранское землетрясение и механизм его возникновения.—Рукопись, деп. в ВИНТИ 30.09.82, № 5003—82, Деп., 28 с.
10. Карапетян Н. К. Механизм возникновения землетрясений Армянского нагорья (сейсмические условия). Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, 228 с.
11. Лебедева Т. М. Макросейсмические материалы Табаскурского землетрясения 7.V. 1940 г.—Кварт. сейсм. бюлл., 13, № 1—4, Тбилиси: 1947.
12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977, 536 с.
13. Цагарели А. Л. О связи мезозойско-кайнозойского вулканизма Грузии с глубинными разломами.—В кн.: Глубинное строение Кавказа. М.: Наука, 1966, с. 103—112.
14. Цхакая А. Д. Сейсмичность Джавахетского (Ахалкалакского) нагорья и прилегающих районов.—Тр. Ин-та геофизики АН СССР, 1957, т. 16, с. 177—219.
15. Цхакая А. Д., Майсурадзе О. М. Аджаро-Гурийское землетрясение 20 мая 1959 г.—Тр. Ин-та геофизики АН СССР, т. XXI, Тбилиси: 1963.
16. Цхакая А. Д., Папалашвили В. Г. Сейсмические условия Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1973, 116 с.
17. Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974, 54 с.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, XL, № 5, 52—60, 1987.

УДК:551.510.42:551.501.8

В. КУШЛЕР, А. В. ГРИГОРЯН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СОДАРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Впервые уровень потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА) определен на основе анализа результатов зондирования вертикальным содаром. Результаты анализа некоторых типичных содарограмм и синоптической ситуации исследуемого региона сопоставлены с уровнем ПЗА и с измеренными значениями концентрации SO_2 . Предлагается в будущем использовать информацию, полученную с помощью содаров для оценки ПЗА.

При изучении характеристик пограничного слоя атмосферы (ПСА) пользуются прямыми и косвенными методами исследования атмосферы. Косвенные методы исследования ПСА в основном имеют те привилегии, что дают возможность без особых затруднений и материальных затрат определять метеорологические элементы. В последнее время начаты инструментальные исследования характеристик нижнего ПСА с помощью разных радиоакустических и акустических приборов: радаров, содаров и т. д. Одна из разновидностей содаров—вертикальный содар, является специальным моностатическим, акустическим прибором и предназначен для проведения косвенных измерений на базе звукового зондирования атмосферы, основанного на принципе передачи коротковолнового акустического импульса и приема отраженной его части. Первые теоретические предпосылки для акустического зондирования атмосферы даны в работах [5, 6]. Как известно, при прохождении звуковых волн через неоднородную среду (где меняется коэффициент преломления атмосферы, следовательно и скорость распространения звуковых сигналов) начинается процесс рассеивания волн, вызванный турбулентными флуктуациями температуры и скорости ветра. Коэффициент преломления атмосферы изменяется прежде всего в зависимости от температурной стратификации атмосферы и вертикального профиля ветра. Интенсивность рассеянной в атмосфере части

излученных звуковых волн определяется с помощью формулы для расчета сечения рассеяния (функции распределения)

$$\sigma(\theta) = 0,055\lambda^{-1/3}\cos^2\theta \left[\frac{C_V^2}{\bar{C}^2} \cos^2 \frac{\theta}{2} + 0,13 \frac{C_T^2}{\bar{T}^2} \right] \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{-11/3}, \quad (1)$$

где $\sigma(\theta)$ — поперечное сечение рассеянной части волны, θ — угол рассеяния, \bar{C} — средняя скорость звука, \bar{T} — средняя абсолютная температура, λ — волновой вектор падающей волны. C_T^2 и C_V^2 являются структурными параметрами соответственно флуктуации температуры и скорости ветра. Отметим, что при дифференцировании отношения (1) флуктуациями влажности пренебрегают.

Из приведенного уравнения можно сделать следующие выводы:

— рассеяние вперед существенно преобладает над рассеянием назад (см. член $\sin(\theta/2)^{-11/3}$);

— при $\theta = \pi = 180^\circ$ температурные флуктуации (C_T^2) способствуют рассеянию волн, а при $\theta = 90^\circ$ рассеяние отсутствует;

— $\sigma(\theta)$ исключительно определяется через турбулентные флуктуации при масштабе $\lambda/2 \cdot \sin(\theta/2)$ для $\theta = 180^\circ$ и соответственно, при обратном рассеянии определяется через турбулентные элементы в масштабе $\lambda/2$ [9].

С помощью вертикального содара измеряется интенсивность обратного рассеяния ($\theta = 180^\circ$).

После упрощения уравнение (1) принимает вид:

$$\sigma(\theta) = 0,00715 \lambda^{-1/3} \cdot \frac{C_T^2}{\bar{T}^2}. \quad (2)$$

Это означает, что интенсивность эхосигнала зависит только от интенсивности температурных флуктуаций (при данной длине волны), поэтому C_T^2 можно определить по интенсивности рассеянного сигнала [1]:

$$C_T^2 = B r^2 e^{2\alpha r} \bar{u},$$

где α — коэффициент затухания звуковой волны, r — расстояние до рассеивающего объема, B — коэффициент, зависящий от параметра локатора, \bar{u} — амплитуда сигнала на выходе электроакустического преобразователя.

Температурный структурный параметр C_T^2 описывает среднюю квадратичную температурную разность между двумя пунктами с шагом Δz :

$$C_T^2 = \left(\frac{T(z) - T(z + \Delta z)}{\Delta z^{1/3}} \right)^2, \quad (3)$$

где z — высота над подстилающей поверхностью (м), T — температура (К).

Определение границ C_T^2 проводится по уравнению:

$$P_E = K \cdot \frac{L^2}{R^2} \cdot \frac{C_T^2}{\bar{T}^2}, \quad (4)$$

где P — мощность приемника, K — постоянная величина, L — глушение, T — абсолютная температура, R — объем рассеяния.

На мощность приема вертикального содара существенно влияют с одной стороны C_T^2 и с другой — технические параметры приборов и глушение в атмосфере (зависящее от влажности и температуры).

Временно-пространственные регистрации эхосигнала называются содарограммами. С помощью анализа содарограмм можно прежде всего узнать следующие явления или структуры:

—приземная инверсия	}	образование, развитие, мощность, высота границ, эволюция, разрушение
—приподнятая инверсия		
—конвекция		
—движение волн в ПСА		
—динамическая турбулентность		(турбулентность, возбужденная ветром).

Интерпретация содарограмм иногда затрудняется тем, что параметр S_f^2 одновременно связан с температурными и турбулентными структурами, а также описывает связь между ними. Существуют два механизма, которые приводят к повышению значения S_f^2 — конвекция и сильная турбулентность, развивающаяся особенно у границ инверсий.

Если потенциальная температура воздуха по высоте повышается, то за короткий промежуток времени поднимающиеся объемы воздуха могут иметь разные потенциальные температуры. Вследствие этого в маленьком объеме воздуха могут появляться относительно большие температурные разности и соответственно высокие значения S_f^2 . Кроме того, у нижней границы приподнятых инверсий часто образуются зоны сильного ветра и повышенной турбулентности. Анализ эхосигнала на содарограмме выявляет соответственные зоны повышенной неустойчивости у границ инверсии. Температурные флуктуации могут существовать и внутри инверсионных слоев, при достаточно сильных ветрах [7]. При наличии инверсии на содарограммах появляются горизонтальные структуры слоев (очерненные полосы на регистрационных бумагах). При конвекции же появляются неравномерные вертикальные зубчики, которые начиная от уровня земли ослабевают с высотой. Эхосигналы получаются и от турбулентных движений, проявляющихся вследствие образования конвективных термиков. С высотой эти объемы воздуха перемешиваются с окружающим воздухом, что отмечается и на содарограммах: контуры структур с высотой ослабевают и постепенно исчезают. При детальном анализе этих структур можно заметить очень узкие области без эхосигнала. Это зоны нисходящих движений, расположенных среди конвективных элементов воздуха. Вместе с слабо вычерченным основным механизмом на содарограмме иногда прослеживаются и так называемые атмосферные тяжелые волны, связанные с периодическими колебаниями атмосферы. Такие волны появляются при прохождении атмосферных фронтов или бури.

С помощью содарограмм можно провести грубую классификацию устойчивости атмосферы. Часто на них довольно четко можно определить структуры соответственных зон ночных приземных инверсий (устойчивое состояние) или дневных конвекций (неустойчивое состояние). Детальное же определение устойчивости атмосферы проводится с помощью доплер-содара, работа которого основана на том же принципе — приеме и передаче звуковых сигналов. Частота обратно рассеянного импульса различается от частоты излучаемого сигнала, вследствие эффекта Доплера, имевшего место на неоднородностях воздуха, перемещающихся ветром. С помощью измерения доплеровского смещения частоты рассеянного сигнала определяется скорость ветра, а с вертикально ориентированной антенной можно измерить и колебания вертикальной компоненты скорости ветра. С наклонными антеннами (под углом γ) измеряются горизонтальные компоненты ветра u и v . Для этого вместе с вертикально ориентированной антенной берутся две антенны (с углом наклона $\approx 30^\circ$ и под углом 90° между собой). Вертикальная антенна дает возможность определить S_f^2 (аналогично вертикаль-содару).

В Институте им. Г. Герца АН ГДР разработан акустический, моностатический вертикальный содар с дополнительным электронным устройством — глушителем шумов (единственным пока в своем роде). Это дает возможность использовать его для регистрации характеристик

ПСА городов и промышленных центров, где обычно имеется высокий шумовой фон. Свое первое испытание прибор прошел в регионе г. Лейпцига, в период 30.11.1985—28.02.1986 г.г., вследствие чего получены некоторые интересные результаты, анализ которых представлен в этой работе.

Некоторые важные характеристики прибора «вертикаль-содара ЭХО—1» приведены в табл. 1.

Таблица 1

Антенна	Частота сигнала	Мощность	Длина импульса	Частота повторения	Полосы исследований
Параболическая =120 см	1,66 кГц	50 Вт	150 мкс	10 с 20 с	I 12,5—400 м II 25—800 м III 50—1600 м

Анализ некоторых типичных результатов зондирования ПСА вертикальным содаром

Сразу же отметим, что регион Лейпцига, где был расположен моностатический вертикальный содар—«Эхо 1», оказался очень шумным, вследствие близости автотрасс с интенсивным движением, поэтому полученные содарограммы не имели высокой четкости.

Вследствие этого затруднялось проведение количественной оценки исследуемых величин. Однако содарограммы, полученные в период эксперимента, представили важную, довольно доступную и удобную для интерпретации информацию. Здесь приведем анализ некоторых типичных содарограмм, имеющих наиболее ясные и ярко выраженные структуры. Одновременно рассмотрим и проанализируем комплексную связь между регистрациями содара, синоптической ситуацией (имевшей место в данный период в исследуемом регионе), метеорологическими данными, уровнями концентраций примесей в атмосфере Лейпцига и уровнем ПЗА, определенным по параметру G . Последняя величина, предложенная в работах [2, 3], дает возможность определить ПЗА, с учетом сложной орографии местности. В работах [4, 8] предлагается усовершенствованный вариант параметра ПЗА G в следующем виде:

$$G = \mu_0 \omega_n^i [u_n (2 - \cos \alpha)]^r, \quad (5)$$

где $\omega_n = \omega_0 / v_*$ — масштаб вертикальных токов атмосферы, $u_n = u_0 / v_*$ масштаб горизонтальной составляющей ветра, α — угол между направлением ветра и осью, связывающей центр исследуемого региона с центром области, где происходит основная часть выбросов (при отсутствии подобной области α принимается равной 90°), $i=2$ при $\text{sign} \omega_n \neq \text{sign} \mu_0$; $i=-2$ при $\text{sign} \omega_n = \text{sign} \mu_0$; $r=-1$, при $\mu_0 > 0$ и $r=1$ при $\mu_0 < 0$, кроме случая ветров со скоростью $2 < v < 6$ м/сек (при этом принимается $\alpha=90^\circ$). Как известно, при распространении и диффузии примесей в атмосфере или образовании уровня ПЗА, очень большую роль играют инверсии и, в частности, приподнятые инверсии. Часто необходимо иметь информацию о характеристиках инверсии (особенно о высоте нижней границы приподнятых инверсий). Как уже отмечалось выше, в областях сильного ветра образуются поля с повышенной турбулентностью, вертикальные размеры которых, помимо характеристик инверсий, довольно легко определяются с помощью содарограмм. Так, на рис. 1 представлены результаты зондирования ПСА региона Лейпцига вертикальным содаром 3.2. 1986 г., в вечерние часы (в работе использовано среднеевропейское зимнее время). Здесь можно заметить двойную структуру: верхнюю, с приподнятой инвер-

сией, нижняя граница которой расположена на высоте около 300—400 м, и нижнюю, с слоем сильной турбулентности, вызванной ветром. В период измерений зарегистрированы значения скорости ветра в интервале 6÷9 м/сек. В этот же день на синоптической карте Европы можно четко определить как область низкого давления, расположенного на территории Франции и западной части Средиземного моря, так и область высокого давления над территорией северо-восточной части Европы. Среди этих двух барических систем образовалась ложбина, расположенная над центральной Европой, где были перенесены

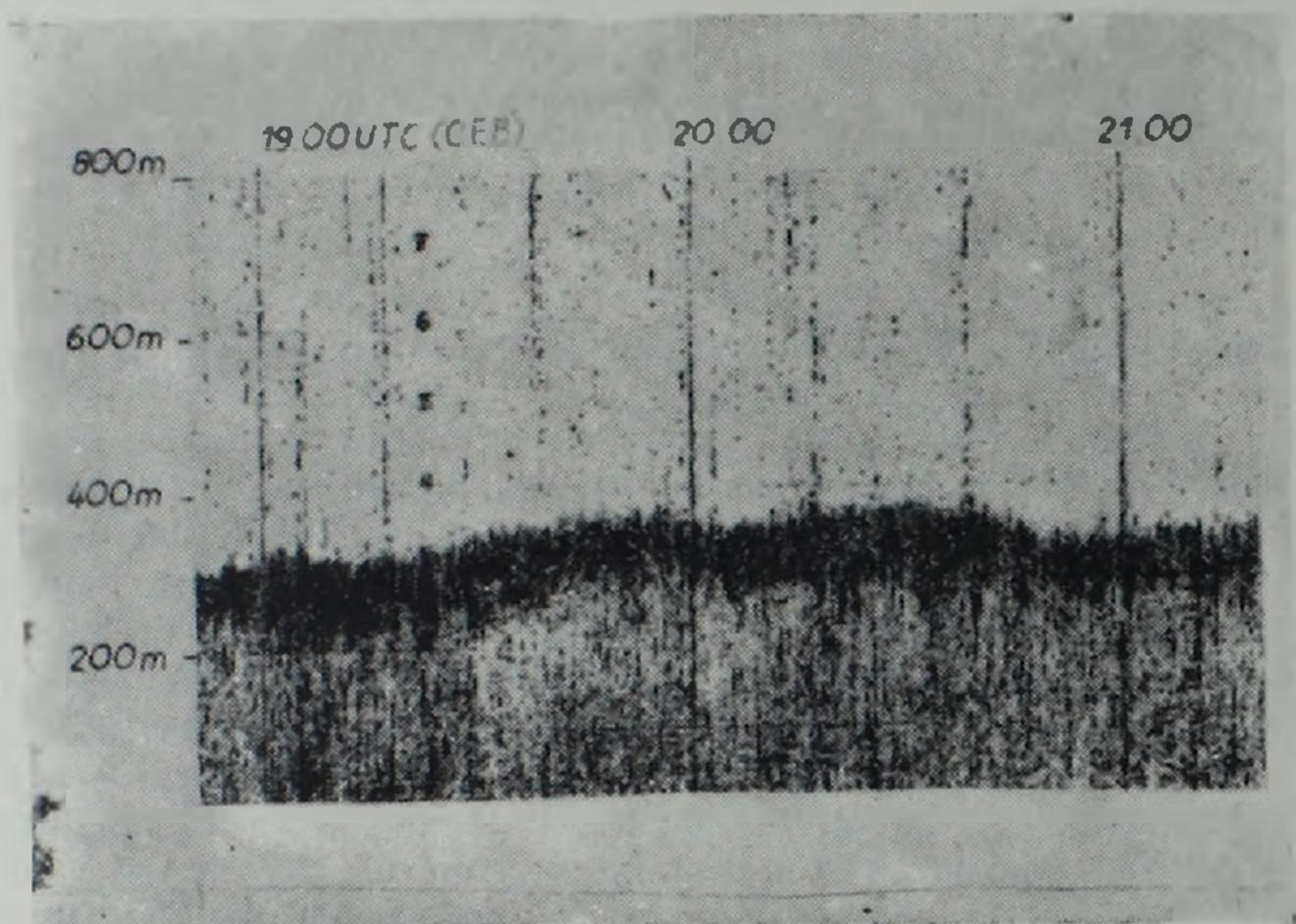


Рис. 1. Содарограмма за 03.02.1986, Лейпциг.

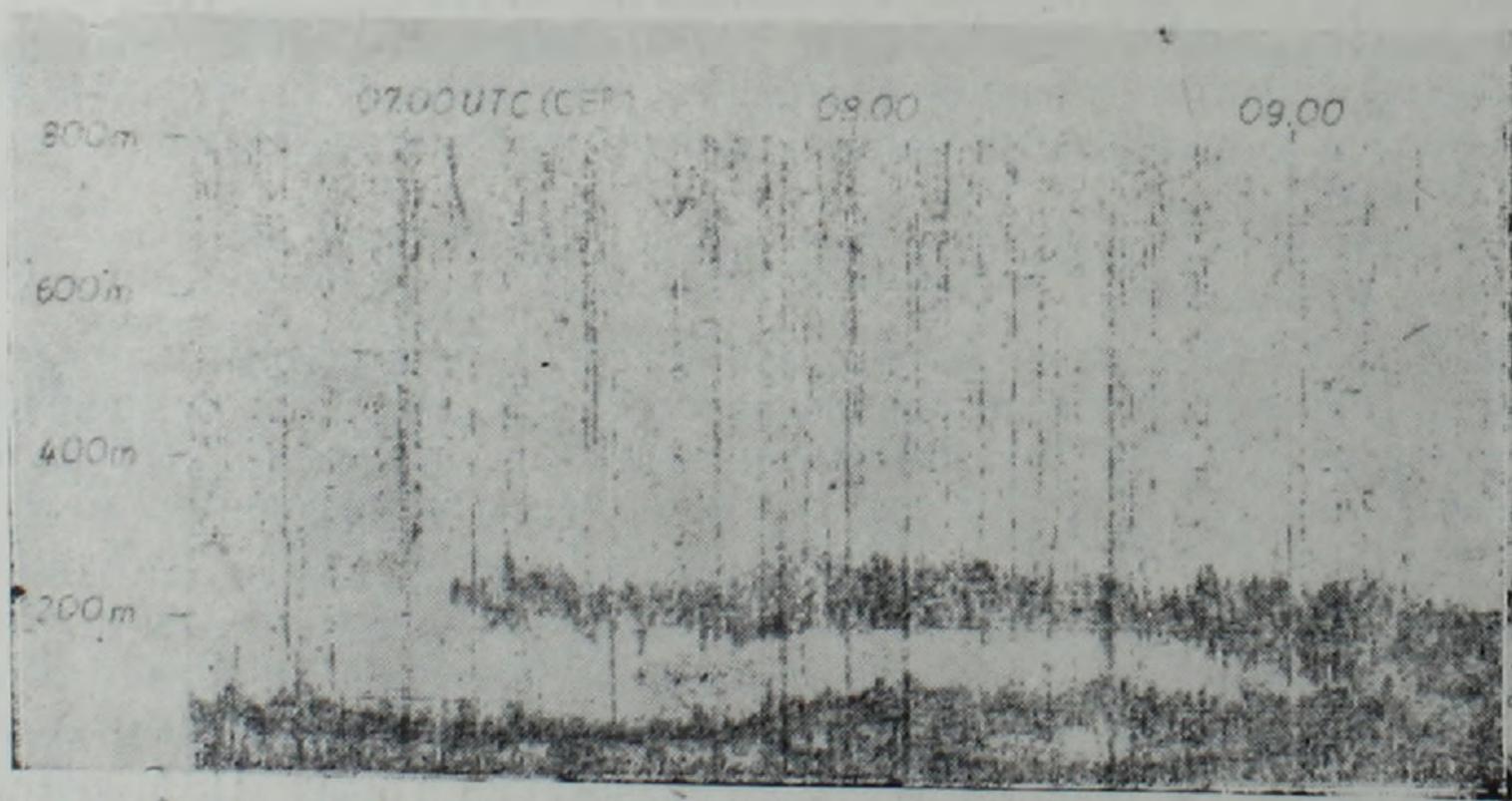


Рис. 2. Содарограмма за 12.02.1986, Лейпциг

холодные массы воздуха со стороны Европейской части территории СССР. Адвекция холодных масс воздуха сопровождалась умеренными и сильными ветрами и восходящими вертикальными токами атмосферы, что способствовало относительному понижению ПЗА в данном регионе. По данным регионального института гигиены г. Лейпцига, концентрация SO_2 в 18.00 час была $q=1,2$ о. е. (относительных единиц). Сравнительно низкое значение SO_2 вполне соответствует результатам

вышеприведенного анализа: приподнятая инверсия с высокорасположенной нижней границей (находящейся выше эффективных высот труб) и развитая в подинверсионном слое турбулентность (с высокими значениями скорости ветра в слое) способствуют образованию низкого уровня загрязнения. Значения же параметра ПЗА G для этого периода рассчитываются по следующим данным: $u_n = -10$, $\alpha = 90^\circ$ («загрязняющим» направлением ветра для региона Лейпциг принято направление СЗ), а рассчитанные значения $\mu_0 = -2$, $w_n = 0,3$. Для параметра ПЗА получается значение $G = -4$ (по таблице классификации ПЗА, предложенной в работах [4, 8], уровень ПЗА относительно низкий—класс—3).

На рис. 2 представлена содарограмма, полученная для утренних часов 12.02. 86 г. Здесь четко вычерчивается горизонтальная структура приземной инверсии мощностью 100—150 м, которая далее связывается с слоем приподнятой инверсии, формирующейся после 07.00 часов в данном регионе. По данным метеорологических наблюдений, в 07.30 часов здесь образовались слоистые облака типа StFr, а около 12.00 часов небо было полностью покрыто облаками. Погода в этот день была сформирована под влиянием области высокого давления, которая продвигалась в этот период по северной части центральной Европы. Как известно, вследствие нисходящих токов в антициклонах формируются мощные слои приподнятых инверсий—«инверсии оседания», что и выражено на содарограмме (верхняя структура на рис. 2). Вся центральная Европа была под влиянием холодных континентальных масс воздуха. Вследствие устойчивой стратификации, образования полного низкого облачного покрова и, в частности, слияния обеих горизонтальных структур сформировалась мощная приземная инверсия. С этим и с нисходящими движениями воздуха (имевшими место в антициклонах) связывается образование высокого уровня ПЗА. Значение концентраций SO_2 , измеренное в данный период (в 12.00 часов), $q = 5,2$ о. е. Параметр ПЗА G рассчитывается по данным: $\mu_0 = 1$, $w_n = -1$, $u_n = 10$, $\alpha = 90^\circ$ и равен $G = 20$ (уровень ПЗА—высокий, класс ПЗА—6).

На рис. 3 представлена содарограмма, полученная в ночь 24.02—25.02. 86 г. В этот период арктические холодные массы воздуха вследствие северного переноса верхней фронтальной зоны перемещались в сторону центральной Европы, по направлению ССВ. Отрог одного из этих течений, проходя через исследуемую область, вызвал снегопад в

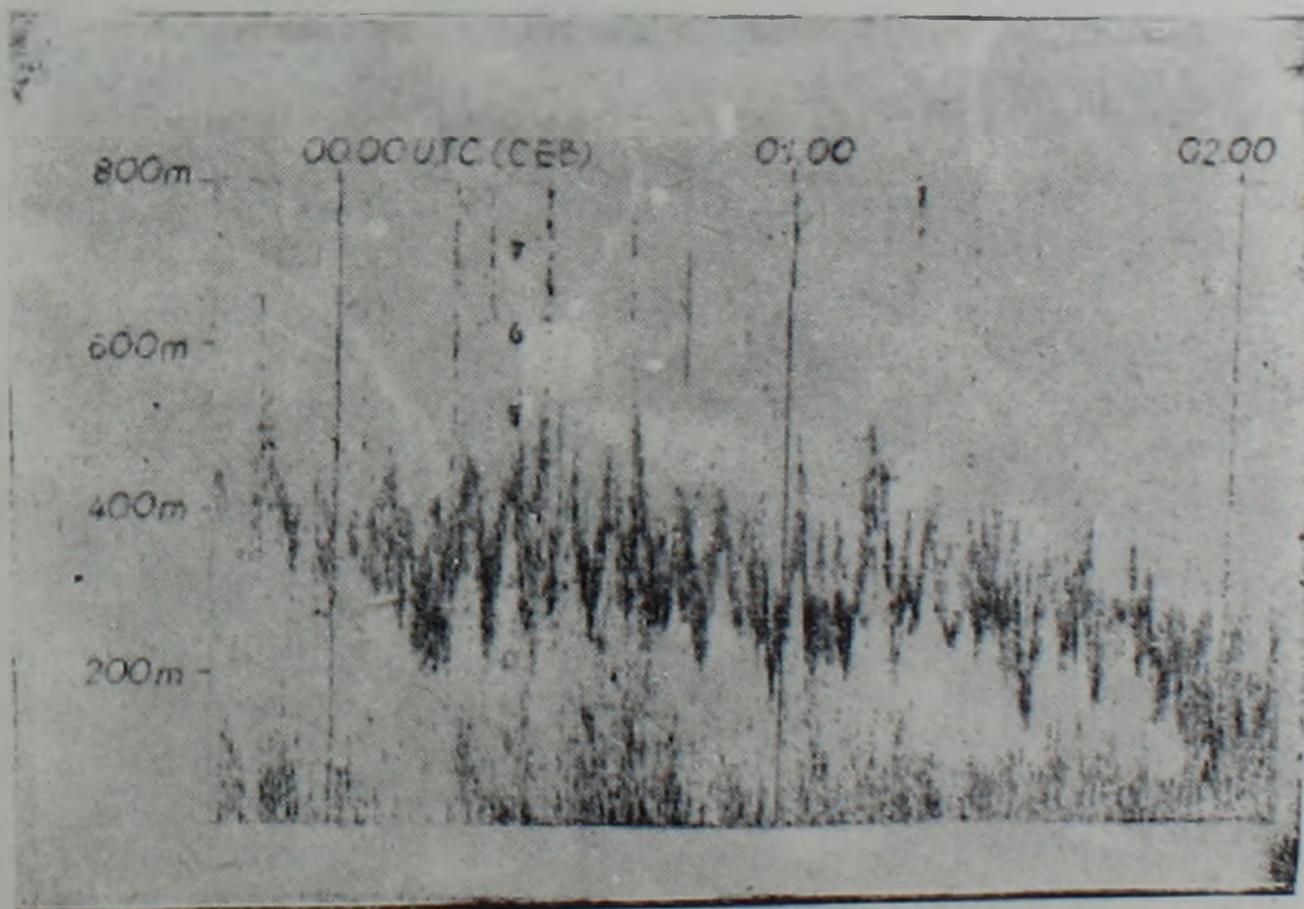


Рис. 3. Содарограмма за 25.02.1986, Лейпциг.

ночь 24.02—25.02. 86. На содарограмме можно заметить спускающуюся приподнятую горизонтальную структуру с характерными чертами ярко выраженных волновых движений. Эти волны имеют амплитуду длиной приблизительно 150 м и период меньше 5 мин. К сожалению, весьма затруднительно что-либо определенное сказать о типе вышеотмеченной приземной структуры (по всей вероятности, мы имеем дело с вертикальным расслоением атмосферы). В период с 23.00 до 02.00 часов исследуемый регион являлся зоной слабых ветров. Параметр ПЗА, рассчитанный по значениям: $\mu_0=5$, $w_n=3$, $u_n=-10$, $\alpha=0^\circ$, составляет $G=5$. И при этом случае повышение концентрации SO_2 связывается с понижением уровня приподнятой структуры. Все же надо отметить, что эти многократные горизонтальные структуры довольно трудно поддаются интерпретациям. При этом часто получается множество горизонтально расслоенных отдельных структур, которые порою являются очень изменчивыми в своем временно-пространственном режиме. Можно четко определить, что эти содарограммные структуры всегда связаны с ярко выраженными устойчивыми состояниями ПСА. Многократные горизонтальные структуры могут довольно часто наблюдаться в ночное время. Так, на рис. 4 замечаются отдельные горизонтальные структуры, частично свидетельствующие об изменчивом временно-пространственном режиме ПСА изучаемого региона. Многократные структуры могут появляться и в дополуночные и послеполуночные часы, с расположением нижней горизонтальной структуры чуть выше в утренние часы. Характерная синоптическая ситуация, имевшая место 12.02.86 г., продолжалась и 13.02.86г. Значение концентрации 13.02.86г.

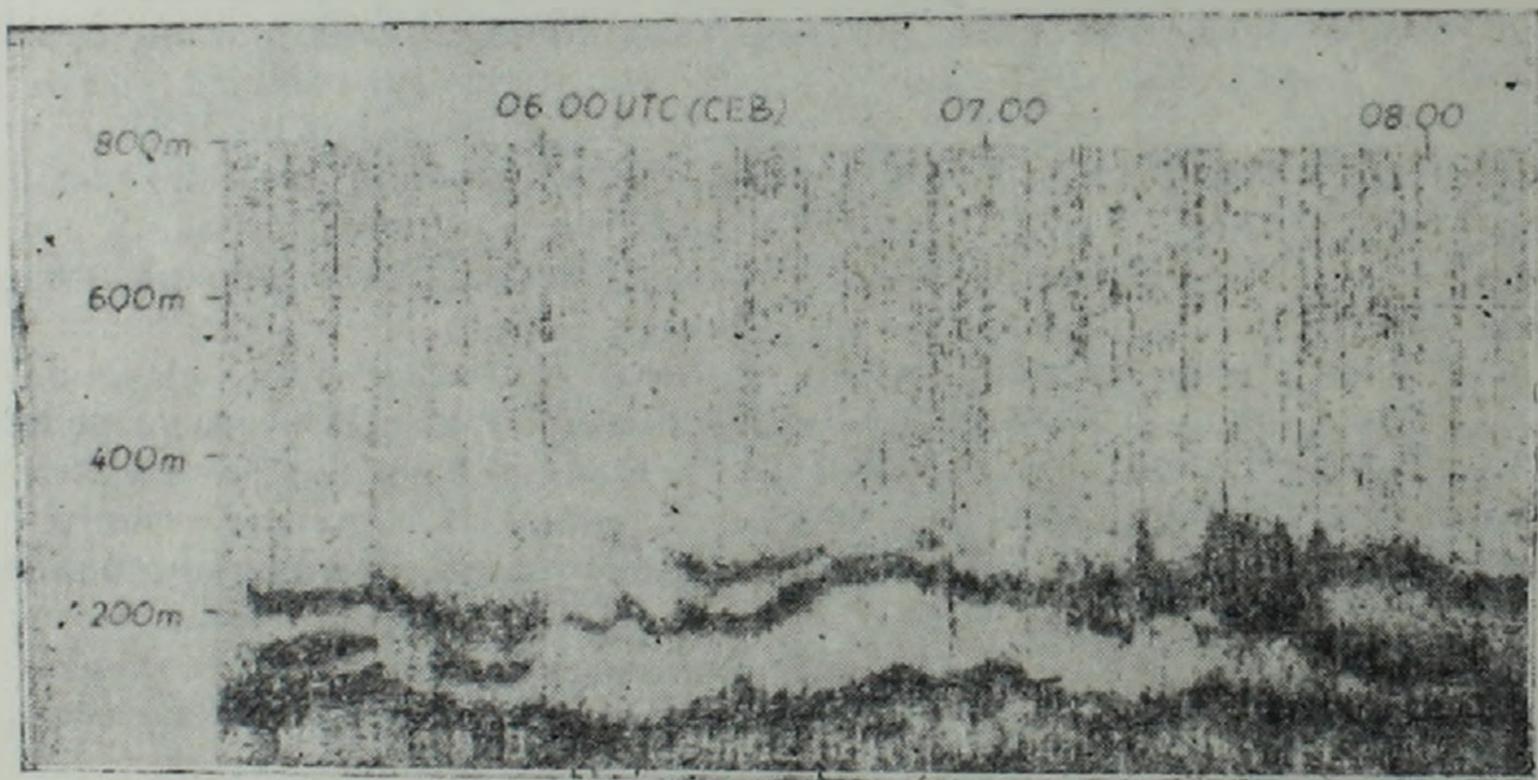


Рис. 4. Содарограмма за 13.02.1986, Лейпциг.

равно: $q=2,8$ о. е. (для 12.00 часов) $\div 3,6$ о. е. (для 19.00). Параметр $G=12$ (рассчитан по данным: $\mu_0=2$, $w_n=-0,9$, $u_n=10$, $\alpha=45^\circ$). Характеристики ПСА, полученные на основе анализа содарограмм, являются важными элементами для изучения режима загрязнения ПСА. Наиболее удовлетворительные результаты можно получить при учете метеорологических параметров, характеризующих ПЗА. Так, в таблице 2 сопоставлены значения концентраций SO_2 с состоянием ПСА (типы инверсии обозначены: В1—приземная инверсия, F1—приподнятая инверсия), определенным по содарограмме, с классами скорости ветра. Результаты сопоставления подтверждают ожидаемые отношения между инверсией и уровнем загрязнения примесей в ПСА Лейпцига. Существование приземных и приподнятых инверсий в общем является далеко неполным критерием образования высокого ПЗА. В частности, в период наших исследований приземные инверсии имели

место почти каждый день в утренние часы и разрушались, в основном, уже после восхода солнца, не сохраняясь до полудня. Вследствие этого уровень ПЗА не был высоким. Относительно высокий ПЗА формировался, когда инверсионные структуры сохранялись и в послеполу-денные часы. Именно в этих случаях и были зафиксированы относи-тельно высокие значения концентраций примесей.

Таблица 2
Состояние атмосферы, скорость ветра и значения концентраций в атмосфере Лейпцига (в период наших исследований)

	В р е м я			
	00.00	06.00	12.00	18.00
	Концентрация O ₂			
< 3 м/с	1,7	1,3	1,5	1,4
> 3 м/с	0,8	0,9	0,8	0,8
ВІ	1,0	1,0	2,2	1,1
FI	1,7	0,9	1,4	1,2
ВІ < 3 м/с	1,7	1,6	2,8	1,3
ВІ > 3 м/с	9,8	0,8	1,3	1,0
FI < 3 м/с	2,2	1,0	1,8	2,0
FI > 3 м/с	0,7	1,0	1,1	0,9

Итак, с помощью содарограмм можно провести оценку термодинамического состояния нижнего ПСА и вместе с дополнительной информацией о скорости ветра определить и прогнозировать уровень ПЗА городов. При дальнейшем включении информации от содаров в решение задач загрязнения атмосферы можно успешно бороться за понижение уровня концентрации вредных примесей, образованных в городском воздухе.

Отметим, что представленные результаты и их анализ являются первой попыткой исследования связи между параметрами содарограмм и ПЗА региона городов.

В заключение выражаем благодарность зам. директора Института им. Г. Герца АН ГДР, проф. Х. Р. Леманну за разрешение использовать материалы эксперимента и за помощь, оказанную нам во время подготовки этой работы.

Метеорологическая служба ГДР,
Ереванский государственный университет

Поступила 18.II.1987.

Վ. ԿՈՒՇԼԵՐ, Ա. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՈՒՂԱԶԻԿ ՍՈՒԱՐԻՑ ՍՏԱՑՎԱԾ ՏԵՂԵԿՈՒԹՅԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ
ՄԹՆՈՂՈՐՏԻ ԱՂՏՈՏՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԸ ԳՆԱՀԱՏԵԼԻՍ

Ս. մ փ ո փ ու մ

Առաջին անգամը լինելով, մթնոլորտի աղտոտվածության պոտենցիալի (ՄԱՊ) մակարդակը որոշվում է ուղղաձիգ սողարից ստացված տեղեկության միջոցով: Աշխատանքը կատարված է Հայպցիգի շրջակայքում տեղադրված, ԿԿՀ ԳԱ Հ. Հերցի անվան ինստիտուտի կողմից նախագծված և պատրաստ-

ված սողարի օգնությամբ կատարված փորձարարական շափումների հիման վրա: Ստացված տիպիկ սողարագրամների և սվյալ բնատարածքի վրա մթնոլորտի եղանակագիտական և օդերևութաբանական վիճակների վերլուծության արդյունքները համադրվում են ծծմբային գազի քանակությունների չափված և ՄԱՊ-ի գնահատված արժեքների հետ: Նման համեմատությունը հնարավորություն կտա ապագայում, սողայից ստացվող տեղեկության հիման վրա կազմակերպել ՄԱՊ-ի կանխագուշակում:

V. KUSHLER, A. V. GRIGORIN

USING OF THE VERTICAL SODAR INFORMATION FOR THE ATMOSPHERIC POLLUTION POTENTIAL EVALUATION

A b s t r a c t

For the first time the atmospheric pollution potential (APP) level is determined by means of vertical sodar sounding results analysis. Some typical sodarograms and synoptical situation analysis results are compared with the APP level as well as the SO_2 concentrations measured values. It is suggested to use the information obtained by sodars for the evaluation of APP.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасюк Н. Е., Калистратова М. А., Карюкин Г. А., Мартвель Ф. Э., Нагеровский К. В.; Акустический докатор для исследования атмосферной турбулентности.—Изв. АН СССР, ФАО, 1981, т. 17, № 1, с. 98—102.
2. Григорян А. В. Изучение пограничного слоя атмосферы региона Армянской ССР применительно к задачам загрязнения атмосферы. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук, ЛГМИ, 1983.
3. Григорян А. В. Новый параметр для определения потенциала загрязнения атмосферы.—*Z. Meteor.*, 1986, 36, 4, с. 276—277.
4. Григорян А. В. Исследование потенциала загрязнения атмосферы и методы его оценки.—*Z. Meteor.*, 37, 1987.
5. Обухов А. М. Рассеяние звука турбулентным потоком.—*ДАН СССР*, 1941, т. 80, с. 611—614.
6. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере.—М.: Наука, 1967.
7. Dohrn R. Sodar—Messungen von Inverstonen über dem Rheintal (Köln und Umgebung). Mitteilungen aus dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Köln N 32 (1981).
8. Grigorjan A. V. Eine Methode zur Bestimmung des Luftverunreinigungspotentials *Z. Meteor.*, 37 (1987) (im Druck).
9. Salomonson S., Ivarsson I. Sodar measurements of the boundary layer during the field project „Stenungsund—77“. Report No. 50, Uppsala 1978.