

01;02;09

Определение параметров газовых образований в атмосфере путем восстановления радиолокационного изображения подстилающей поверхности

© В.А. Иванченко, В.В. Николаев

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

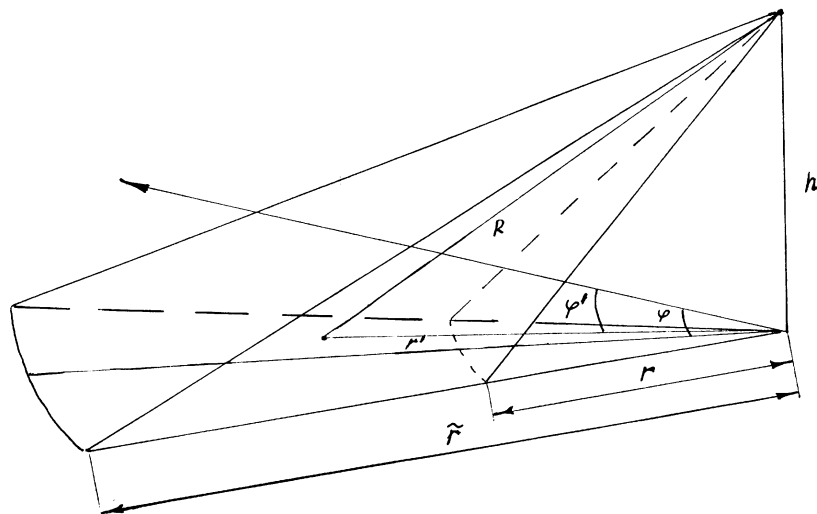
Поступило в Редакцию 17 июля 1998 г.

Показана возможность восстановления функции распределения концентрации веществ-загрязнителей в атмосфере по анализу радиолокационной картины подстилающей поверхности.

Определение параметров газового загрязнения в атмосфере представляет собой одну из основных задач экологического мониторинга. Решить эту задачу наилучшим образом во многих случаях позволяет активный радиолокационный метод. Так, если газ-загрязнитель обладает свойством резонансного поглощения СВЧ энергии, то мощность сигнала, принимаемого от опорного отражателя, P_A связана с мощностью излучения станции P_0 следующим образом:

$$P_A(\omega) = P_0(\omega) \frac{GA\sigma}{(4\pi D^2)^2} \times \exp\left(-2\chi_a(D-d) - 2\alpha(\omega) \int_0^d n(x)dx\right), \quad (1)$$

где ω — частота; G, A — коэффициент направленности и эффективная площадь антенны; σ — эффективная площадь рассеяния опорного отражателя; D — расстояние от РЛС до отражателя; d — расстояние, проходимое излучением в газе-загрязнителе; χ_a — коэффициент поглощения атмосферы; α — коэффициент поглощения газа-загрязнителя единичной концентрации; n — концентрация газа. Измеряя P_A на различных



Проекция диаграммы направленности на подстилающую поверхность.

частотах, можно определить величину средней концентрации газа

$$\bar{n} = \frac{1}{d} \int_0^d n(x) dx,$$

а также размеры и местоположение газовых образований, обладающих симметрией относительно оси, перпендикулярной к поверхности земли [1]. Однако осевая симметрия сохраняется только в начальные моменты времени, если выброс газа происходит при большом давлении. Далее, в зависимости от множества факторов (наличие ветра, скорость утечки газа и т.п.) область загрязнения может принимать сложную форму со сложной функцией распределения концентрации вещества-загрязнителя.

Определить параметры газового образования сложной формы, обладающего свойством резонансного поглощения СВЧ энергии, можно используя отражающее свойство поверхности контролируемой площади.

Если дисперсия не оказывает существенного влияния на изменение временной формы зондирующего сигнала, то, как следует из (1), в отсутствие загрязнения

$$x_A(t) = x_0 \left(t - \frac{2D}{v} \right) \frac{\sqrt{GA\sigma}}{4\pi D^2} \exp(-\chi_a D),$$

где x_A — сигнал в приемнике РЛС, x_0 — излучаемый сигнал, t — время, v — скорость распространения излучения в атмосфере. Предположим, что контролируемая область представляет собой плоскую поверхность и антенна РЛС расположена на высоте h над этой поверхностью. В этом случае от элемента поверхности dS будет принят сигнал

$$dx_A(r, r', \varphi, \varphi', t) = x_0 \left(t - \frac{2R}{v} \right) \frac{\sqrt{G_0 A_0}}{4\pi R^2} g(\psi_1, \psi_2) \exp(-\chi_a R) f(r', \varphi') dS,$$

где r, φ — полярные координаты, $R = (r'^2 + h^2)^{1/2}$, функция $g(\psi_1, \psi_2)$ характеризует диаграмму направленности, $\psi_1 = \varphi - \varphi'$ (см. рисунок),

$$\psi_2 = \psi_{20} - \arccos \left(\frac{h^2 + rr'}{\sqrt{(h^2 + r^2)(h^2 + r'^2)}} \right),$$

$$f(r, \varphi) = \frac{d}{dS} \sqrt{\sigma(r, \varphi)}.$$

Следовательно, вся облучаемая поверхность создает в приемнике РЛС сигнал

$$x_A(r, \varphi, t) = \frac{\sqrt{G_0 A_0}}{4\pi} \int_r^{\bar{r}} x_0 \left(t - \frac{2R}{v} \right) \frac{\exp(-\chi_a R)}{R^2} \times \int_{\varphi - \psi_{10}}^{\varphi + \psi_{10}} g(\psi_1, \psi_2) f(r', \varphi') d\varphi' dr'. \quad (2)$$

Предположим, что функция g имеет вид

$$g(\psi_1, \psi_2) = \begin{cases} \theta(\psi_2), & \psi_1 \in [-\psi_{10}, \psi_{10}] \text{ и } \psi_2 \in [-\psi_{20}, \psi_{20}], \\ 0, & \psi_1 \notin [-\psi_{10}, \psi_{10}] \text{ или } \psi_2 \notin [-\psi_{20}, \psi_{20}], \end{cases}$$

угол ψ_{10} достаточно мал и определяется необходимым разрешением $h \ll r$, следовательно, $\psi_2(r, r') \approx \psi_{20}$, $R \approx r'$ и уравнение (2) упрощается

$$x_A(r, \varphi, t) = C \int_r^\infty x_0 \left(t - \frac{2r'}{v} \right) \frac{\exp(-\chi_a r')}{r'^2} f(r', \varphi) dr', \quad (3)$$

где $C = \psi_{10} \sqrt{G_0 A_0} \theta(\psi_{20}) / (2\pi)$. Таким образом, из (3) можно определить функцию $f(r, \varphi)$

$$f(r, \varphi) = -\frac{r^2}{C} \exp(\chi_a r) \frac{\partial x_A(r, \varphi, t)}{\partial r} / x_0 \left(t - \frac{2r}{v} \right).$$

При появлении загрязнения с функцией распределения концентрации вблизи поверхности земли $n(r, \varphi)$ сигнал в приемнике РЛС

$$x_A(r, \varphi, t) = C \int_r^\infty x_0 \left(t - \frac{2r'}{v} \right) \frac{f(r', \varphi)}{r'^2} \exp\left(-\int_0^{r'} \chi(\xi, \varphi) d\xi\right) dr', \quad (4)$$

где

$$\chi(r, \varphi) = \begin{cases} \alpha n(r, \varphi), & n(r, \varphi) \neq 0, \\ \chi_a, & n(r, \varphi) = 0 \end{cases}$$

(предполагается также, что излучение в газе-загрязнителе и в атмосфере распространяется с одинаковой скоростью).

Используя (4), нетрудно определить $\chi(r, \varphi)$

$$\chi(r, \varphi) = \frac{\partial}{\partial r} \ln \left(-C \frac{f(r, \varphi)}{r^2} x_0(r, \varphi, t) / \frac{\partial x_A(r, \varphi, t)}{\partial r} \right),$$

следовательно и $n(r, \varphi)$.

Таким образом, по радиолокационной картине от подстилающей поверхности можно восстанавливать функцию распределения концентрации газа-загрязнителя произвольного вида, а также местоположение газовых образований в атмосфере, обладающих свойством резонансного поглощения СВЧ энергии.

Список литературы

- [1] Иванченко В.А., Николаев В.В. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 24. С. 1–5.