

Influencia de la precipitación en la concentración de radón en el subsuelo y su efecto en la exhalación de este hacia la atmósfera (ejemplos de tres zonas de Costa Rica).

GARCIA — VINDAS JOSE RALPH

*Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares,
Universidad de Costa Rica.*

(Recibido 19 de setiembre 2003, aceptado 15 de noviembre de 2003)

Abstract

Measurements of concentration of radon were made in the subsoil in three sites of Costa Rica: San José, Alajuela and Guanacaste. The influence of the precipitation studies on the concentration of radon and an analysis of the exhalation is made of this towards the atmosphere, based on the equations of transport of this gas through porous means. Only the diffusive component of the exhalation is taken in consideration. One of the places presents/displays an important flow, probably due to its proximity with a volcano.

1. Introducción.

La medición de la concentración de gas radón en el subsuelo tiene especial importancia, tanto como contaminante atmosférico natural, así como también en el campo de las Ciencias de la Tierra. En este último campo, el radón constituye una señal geoquímica de la evolución tectónica o magmática, por lo que ha sido utilizado como precursor de algunos eventos sísmicos y volcánicos (García-Vindas et al., 2002; King, 1992). Como contaminante ambiental, el radón en grandes concentraciones y en espacios cerrados, puede llegar a ser nocivo para la salud, debido al impacto radiológico que producen sus descendientes. Debido a estas razones, el estudio de la exhalación de este gas, desde el suelo hacia la atmósfera, es de gran importancia, considerando que su emanación del subsuelo se ve influenciada por diversas variables exteriores, tales como los parámetros atmosféricos, entre los cuales podemos citar la temperatura (Mogro-Campero &

Fleisher, 1977; Klusman & Jaacks, 1987; Rudakov, 1985), la presión atmosférica (Clements & Wilkening, 1974; Rudakov, 1985b; Pinault & Baubron, 1997), la velocidad del viento (Pearson & Jones, 1965 y 1966; Hinkle, 1994; Cotter, 1990), la precipitación (Abbad et al., 1996; Talwani et al., 1980; Papastefanou et al., 1989;). Sin embargo son la presión atmosférica y la precipitación, aquellos parámetros que presentan una mayor influencia.

En nuestro caso, la presión atmosférica presenta una variación máxima de 4 milibares en un lapso de tiempo de algunas horas. Sin embargo, para que una variación en la presión atmosférica cause un efecto significativo en la concentración de radón en el subsuelo, esta debe presentarse durante un largo periodo, del orden de algunos días (Clements & Wilkening, 1974).

Por otro lado, el efecto de la precipitación en las emanaciones gaseosas es de especial interés, ya que las variaciones de esta son significativas y bien localizadas en el tiempo. Costa Rica, por ejemplo, se caracteriza por presentar

una estación húmeda o lluviosa bien marcada, la cual ocurre esencialmente en los últimos ocho meses del año, por consiguiente el efecto de la precipitación no es despreciable.

En este trabajo se muestra principalmente las variaciones de la concentración del gas radón en el subsuelo en el tiempo, lo que permite estimar la exhalación de este gas hacia la atmósfera, tomando en cuenta el efecto que produce la variación en la precipitación, además de estimar algunos valores de flujo en varias zonas del país.

2. Materiales y Métodos.

La detección del gas radón se realiza a través de la emisión de partículas α producto de su desintegración. Esta partícula tiene carga positiva y es registrada en general mediante dos métodos. El primero utiliza un detector de barrera superficial a base de silicio. El segundo, emplea una película de nitrato de celulosa. Ambos métodos son utilizados en el presente trabajo.

El primer método utiliza un dispositivo que consta esencialmente de un cristal de silicio, de un módulo que amplifica y discrimina la señal, y de otro de memoria que contabiliza y registra la señal. Este dispositivo conocido como Clipperton II (Monnin y Seidel, 1998), integra las lecturas de las señales durante un paso de tiempo programado previamente por el usuario. Este paso de tiempo se escoge para períodos de lectura que oscilan desde un minuto hasta 48 horas.

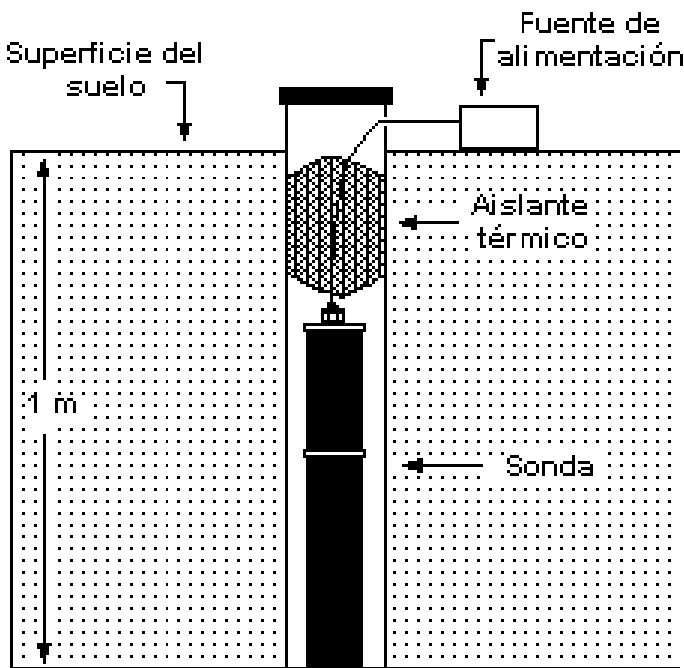


Figura 1: Esquema de instalación de la sonda Clipperton en el campo.

La programación y almacenamiento de los datos de la sonda se lleva a cabo mediante una PC.

El segundo método utiliza una película de nitrato de celulosa, la cual registra los trazos dejados por la partícula alfa del radón. Esta película se sustituye cada 15 días. La película es procesada con una solución de NaOH precalentada a 60 C. Los trazos en el detector son contados electrónicamente o al microscopio. La cantidad total de trazos es proporcional a la concentración de radón.

Tanto la sonda Clipperton como el detector de nitrato de celulosa se colocan en el campo dentro de un agujero recubierto con PVC con una profundidad de un metro. En ambos casos el detector que recoge la señal de radón, queda expuesto a 10 cm. del fondo del agujero. La distancia fondo detector ha sido calibrada de tal manera que no haya lectura importante en él (menos del 0,05 %) de las emisiones alfa de otros isótopos del radón (García-Vindas, 1999). El espacio superior del tubo de PVC es llenado con un material aislante para evitar la formación de celdas de convección en ese espacio, las cuales permiten flujos de gas que alteran la medida del radón. En la figura 1 se muestra un diagrama de la instalación de la sonda en una de las estaciones de medición.

3. Resultados.

Las figuras 2, 3 y 4 muestran algunos de los resultados más significativos obtenidos en tres lugares del país. La figura 2 muestra un conjunto de datos de concentración de radón y precipitación, tomados en San Pedro de Poás, en Alajuela. Los valores de precipitación representan el acumulado diario, mientras que los datos de radón son el promedio por día de un conjunto de mediciones tomadas cada hora con una sonda Clipperton. El período mostrado en esta figura va desde el 21 de agosto de 1999 hasta el 16 de diciembre del mismo año. En el período que va del 15 al 22 de noviembre no existen datos debido a una falla en la alimentación de la sonda.

De la figura 2 se observa un aumento constante en la concentración de radón durante el período que va desde agosto hasta principios de noviembre, concordando con un ligero aumento en la precipitación. Por otro lado, se observa también una disminución de la precipitación a partir de principios de noviembre hasta finales del mismo mes, para luego incrementarse bruscamente en los primeros días de diciembre. Si bien no existen datos de radón durante parte del período donde se produce la disminución en la precipitación, se puede observar que la tendencia de los valores de concentración era a disminuir durante este período, para luego aumentar su valor bruscamente con el aumento de la precipitación en el mes de diciembre. El promedio de la concentración de radón en las primeras dos semanas es de 55 ± 2 (kBq m⁻³), mientras que en las últimas dos es de 157 ± 9 (kBq m⁻³).

La figura 3 presenta los datos de radón y precipitación

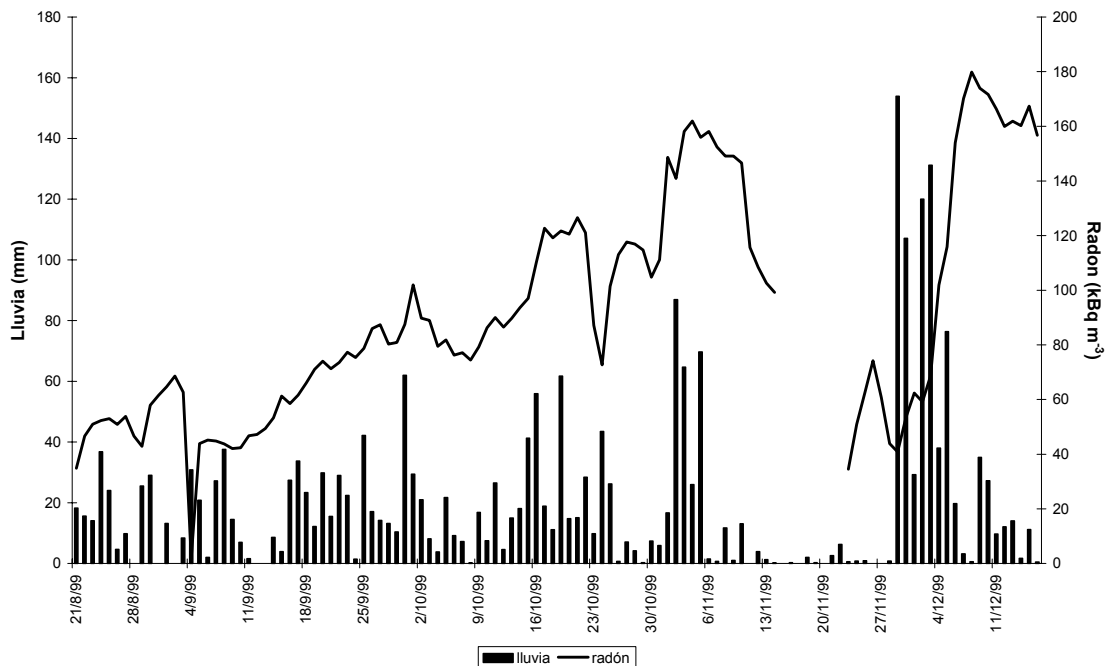


Figura 2 : Evolución de la concentración de radón. (Poás de Alajuela)

recolectados durante el año de 1995 en Hojancha, Guanacaste. Los datos de lluvia son los acumulados mensuales, mientras que los de radón representan el promedio diario de una serie de mediciones tomadas cada hora con una sonda Clipperton. En los períodos comprendidos entre el 1 de abril al 15 de mayo y del 1 de

agosto al 15 de octubre, no se presentan datos debido a una falla en la alimentación de la sonda.

De la figura 3 se observa un aumento paulatino de la precipitación que va desde el mes de marzo hasta el mes de octubre, para luego descender bruscamente en los meses de noviembre y diciembre. La concentración de radón aumenta

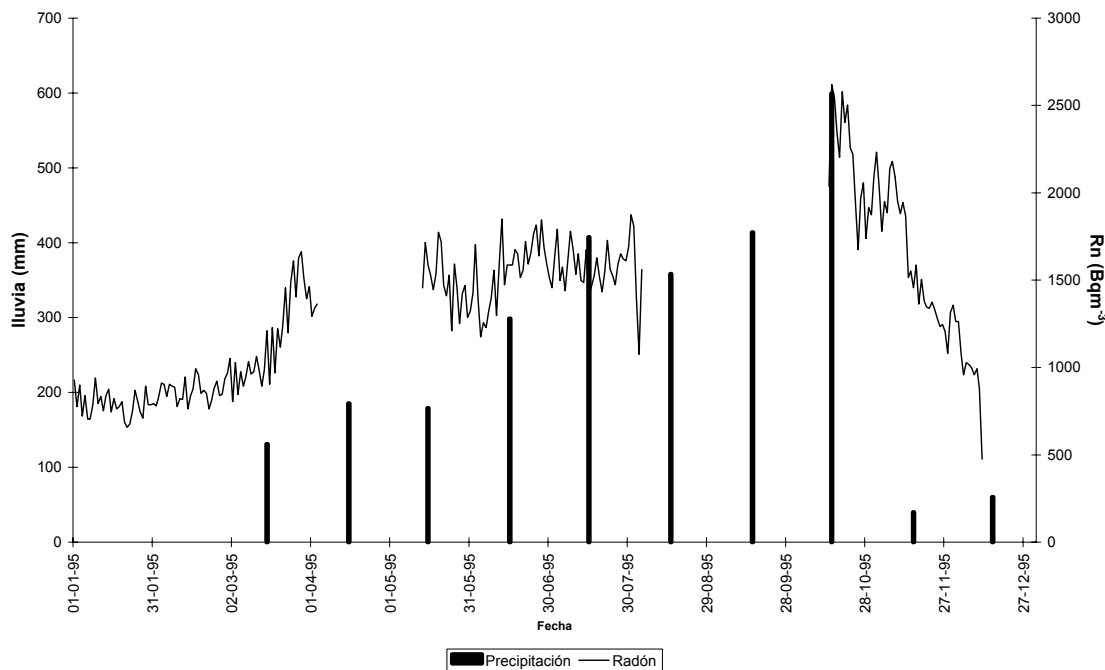


Figura 3 : Evolución de la concentración de radón. (Hojancha, Guanacaste)

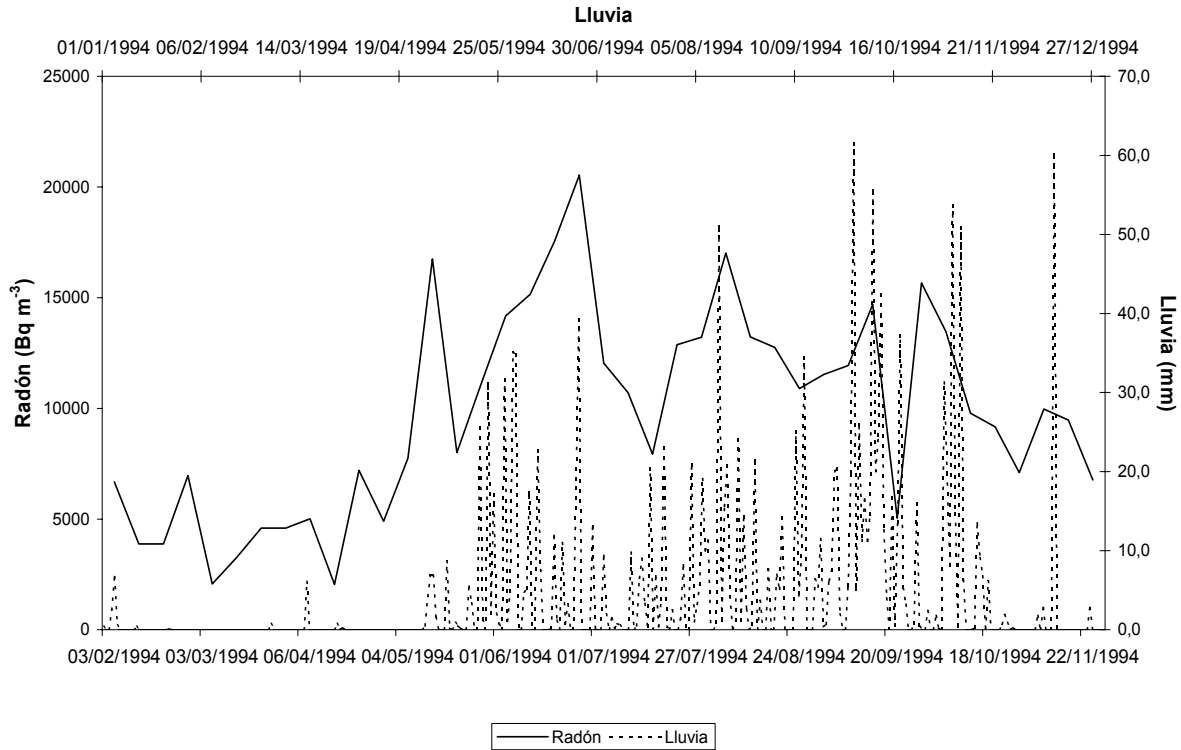


Figura 4 : Evolución de la concentración de radón. (CICANUM, San José)

con la precipitación y decrece fuertemente en los meses de noviembre y diciembre, concordando con la disminución de las lluvias. Para ilustrar mejor el cambio en la concentración de radón, se calculó los promedios durante los meses de enero, junio y octubre, los cuales son 789 +/- 13, 1546 +/- 18 y 2164 +/- 68 (Bq m⁻³).

La figura 4 muestra un conjunto de datos de concentración de radón y precipitación tomados en el campus del CICANUM durante todo el año de 1994. Los datos de radón fueron obtenidos mediante un detector de nitrato de celulosa el cual fue sustituido cada 15 días, de manera que los datos mostrados representan el acumulado quincenal, normalizado a 7 días.

Al igual que en los casos precedentes, se puede observar un aumento en la concentración de radón con el avance de la estación húmeda. El promedio de la concentración de radón durante los primeros cuatro meses del año (lo que corresponde a la estación seca) es de 4592 +/- 497 (Bq m⁻³), mientras que para el resto del año (estación húmeda) es de 11942 +/- 676 (Bq m⁻³).

4. Discusión y Conclusiones.

De acuerdo con los datos mostrados en las figuras 2, 3 y 4, es evidente la influencia de la precipitación sobre la concentración de radón en el suelo. Sin embargo, la emanación de este gas desde el suelo hacia la atmósfera, no

necesariamente sigue el mismo comportamiento mostrado en las gráficas anteriores, ya que en este caso lo que interesa es el flujo a través de la superficie del suelo, el cual puede ser de carácter difusivo y convectivo. A manera de ilustración, se puede estimar la componente difusiva de este flujo, basado en los resultados obtenidos.

La ecuación unidimensional que gobierna la difusión de radón en estado estacionario a través de un suelo poroso es la siguiente

$$\frac{D}{\epsilon} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \lambda C + Q = 0 \tag{1}$$

En donde:

- C: Concentración de radón en Bq m⁻³
- D: Coeficiente de difusión en m² s⁻¹
- ε : Porosidad del suelo
- λ : Constante de decaimiento del radón (2.1 x 10⁻⁶ s⁻¹)
- Q: Tasa de producción de radón del suelo en Bq m⁻³ s⁻¹

Asignando a la superficie del suelo el valor de z=0 y tomando la dirección del eje z+ hacia el interior del suelo y bajo las siguientes condiciones:

$$C(z=0)=0 \quad C(z=\infty)=C_0 \quad (2)$$

La ecuación (1) tiene como resultado la expresión siguiente:

$$C = C_0 \left(1 - \exp \left(-z \sqrt{\frac{\lambda \varepsilon}{D}} \right) \right) \quad (3)$$

Con $C_0=Q/\lambda$.

El flujo viene dado por la siguiente expresión:

$$J_D = -\frac{D}{\varepsilon} \frac{\partial C}{\partial z} \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en la ecuación (4) y evaluando en $z = 0$ se obtiene:

$$J_D(z=0) = -C_0 \sqrt{\frac{\lambda D}{\varepsilon}} \quad (5)$$

El signo negativo indica que el flujo es hacia afuera de la superficie del suelo, o sea hacia la atmósfera, de acuerdo a la convención tomada arriba.

Se debe notar que el flujo crece con el coeficiente de difusión y este se ve influenciado por la humedad relativa del suelo (Singh & Virk, 1996; Shweikani et al., 1995). Los otros parámetros no son alterados por la precipitación. Entre más agua se encuentre circulando en los poros del suelo, menor será el coeficiente de difusión a través de este (Shweikani et al., 1995). Para un suelo completamente saturado en agua, el valor del coeficiente de difusión podría descender por debajo del coeficiente de difusión del agua, el cual es de $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Por el contrario, para un suelo seco, el coeficiente de difusión puede alcanzar el valor de este en el aire, el cual es de $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Considerando estos dos

valores, se debe destacar que los flujos en época seca y lluviosa pueden variar hasta en dos órdenes de magnitud, obteniéndose el mayor valor en época seca, contrariamente al comportamiento de la concentración de radón en el suelo.

A manera de comparación, la Tabla 1 muestra una estimación de los valores de flujo de radón hacia la atmósfera durante la época seca, en los tres lugares estudiados. Para ello se tomó un valor de porosidad promedio de 0.45, un coeficiente de difusión de $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Los valores de C_0 se estiman utilizando el promedio de los valores de la concentración de radón durante la época seca en cada sitio y la ecuación (3).

De acuerdo con los parámetros utilizados, los valores del flujo pueden disminuir hasta 30 veces en época lluviosa.

La emanación más fuerte se da en Poás de Alajuela, muy probablemente debido a que este sitio se encuentra en las faldas del volcán Poás, pues es común encontrar valores elevados en las cercanías de un edificio volcánico. Ya anteriormente se había encontrado valores elevados de radón en casas de habitación en las cercanías de un volcán (Loría & Jiménez, 1993). Naturalmente, si bien los valores de exhalación de Alajuela y San José son un poco elevados, la radiación producto de este fenómeno, no llega completamente al cuerpo humano, pues parte de ella es absorbida por el aire, principalmente si hay una fuerte humedad relativa. Además se debe tomar en cuenta que en espacios abiertos, el radón exhalado es disuelto en la atmósfera. Sin embargo se debe tener especial cuidado en aquellos lugares que presentan una fuerte exhalación y se encuentran confinados. Por otro lado, los valores calculados en el presente trabajo, corresponden a la componente difusiva, no obstante la componente convectiva del flujo es en ocasiones de más relevancia, sobre todo en época seca.

5. Agradecimientos.

El autor desea manifestar su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, al Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica y al Instituto Costarricense de Electricidad.

Resumen

Se realizaron mediciones de la concentración de radón en el subsuelo en tres sitios de Costa Rica : San José, Alajuela y Guanacaste. Se estudia la influencia de la precipitación sobre la concentración de radón y se realiza un análisis de la exhalación de este hacia la atmósfera, basado en las ecuaciones de transporte de este gas a través de un medio poroso. Solo la componente difusiva de la exhalación es tomada en cuenta. Uno de los lugares presenta un flujo importante, probablemente debido a su cercanía con un volcán.

Tabla 1 : Valores de flujos de exhalación en los tres lugares estudiados.

	Flujo en época seca (Bq m ⁻² s ⁻¹)
San José	0.16
Alajuela	1.92
Guanacaste	0.03

Bibliografía

- Abbad, S., Robe, M.C., Bernat, M. and Labeled, V., 1996. Influence of meteorological and geological parameter variables on the concentration of radon in soil gases: application to seismic forecasting in the Provence-Alpes-Cote d'Azur region. *Environmental and Geochemistry Health*, **16**, 35-48.
- Cotter, J. M., 1990. Simulated transport of radon in soil gas. Ms.C. Thesis. University of Hawaii, Hawaii.
- García-Vindas, J. R., 1999. Transport du radon en milieu poreux (expérimentation et modélisation): implication pour la réalisation et l'interprétation de mesures in situ. Tésis de Doctorado. Université de Montpellier II, Montpellier, Français.
- García-Vindas, J. R., Fernández, E., Duarte, E. and Malavassi, E., 2002. Radon concentration anomalies as possible precursors to eruptions of the Arenal Volcano. *Geofísica Internacional*, **41 (3B)**.
- Hinkle, M.E., 1994. Environmental conditions affecting concentrations of He, CO₂, O₂ and N₂ in soil gases. *Applied Geochemistry*, **9**, 53-63.
- King, C.Y., 1992. Comment on Rn-222 premonitory signals for Earthquakes. *EOS*, **73 (48)**.
- Klusman, R.W. and Jaacks, J.A., 1987. Environmental influences upon Mercury, Radon and Helium concentrations in soil gases at site near Denver, Colorado. *Journal of Geochemical Exploration*, **27**, 259-280.
- Mogro-Campero, A. and Fleisher, R.L., 1977. Subterrestrial fluid convection: a hypothesis for long-distance migration of radon within the Earth. *Earth and Planetary Science Letters*, **34**, 321-325.
- Monnin, M., and J. Seidel, 1998. An Automatic Radon Probe for Earth Science Studies. *J. Appl. Geophysics.*, **39**, 209-220.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M., Savvides, E. and Charalambous, S., 1989. Radon monitoring at Stivos Fault following the ML = 6.5 earthquake occurred at Thessaloniki Greece in 20 June 1978. *Nuclear Geophysics*, **3**, 49-56.
- Pearson, J.E. and Jones, G.E., 1965. Emanation of Radon-222 from soils and its use as a tracer. *Journal of Geophysical Research*, **20 (20)**, 5279-5289.
- Pearson, J.E. and Jones, G.E., 1966. Soil concentrations of "emanating radium 226" and the emanation of radon 222 from soils and plants. *Tellus*, **XVIII (2)**, 655-661.
- Pinault, J.L. and Baubron, J.C., 1997. Signal processing of diurnal and semidiurnal variations in radon and atmospheric pressure: A new tool for accurate in situ measurement of soil gas velocity pressure gradient and tortuosity. *Journal of geophysical research*, **102 (B8)**, 18, 101-18, 120.
- Rudakov, V.P., 1985. Nature of the seasonal variations in subsoil radon. *Geokhimiya*, **7**, 1055-1058.
- Rudakov, V.P., 1985b. Basic variations in subsoil radon. *Geokhimiya*, **1**, 124-127.
- Clements, W. and Wilkening, M., 1974. Atmospheric pressure effects on Rn 222 transport across the Earth-air interface. *Journal of geophysical research*, **29 (33)**, 5025-5029.
- Shweikani, R., Giaddui, T.G. and Durrani, S.A., 1995. The effect of soil parameters on the radon concentration values in the environment. *Radiation Measurements*, **25 (1-4)**, 581-584.
- Singh, B. and Virk, H.S., 1996. Effect of soil and sand moisture content on radon diffusion using plastic track etched detectors. *Radiation Measurements*, **26 (1)**, 49-50.
- Talwani, P., Moore, W.S. and Chiang, J., 1980. Radon anomalies and microearthquakes at Lake Jocassee, South Carolina. *Journal of Geophysical Research*, **85 (B6)**, 3079-3088.