

# 地震前水氡短临异常判别指标及 预报三要素的方法探讨\*

张文冕 田少柏

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文分析了中国大陆(重点是南北地震带北段)水氡异常变化,深入研究了有震与无震异常的时空分布特征、异常总频次、起始异常时间差等,发现有震异常往往呈现“同步性”或“群体性”特征,而大部分“零散性”异常则属于非地震异常。根据上述研究,本文还提出了利用水氡异常预报地震的发震时间、地点和震级的初步方法。

## 前 言

水氡作为一种预报地震的前兆手段是毫无疑问的,但引起水氡异常的因素是多元的、复杂的<sup>[4]</sup>。据笔者近年来的统计分析,中国大陆107次震例中(距震中300km范围内无监测点的中强震不计其内,强余震不计其内)有异常的68次(其中有临震异常的54次),有震无异常39次。另外,还有无震有异常的情况59起。因此,目前水氡监测预报地震的能力较低。多年来,人们在排除气象因素、水文因素和人为干扰因素等方面已做了大量试验和分析处理工作,也不同程度地研究过水氡异常的判别方法<sup>[3]</sup>。但对地震异常与无震异常的主要区别、地震异常的主要指标与预报三要素等研究甚少,本文在这些方面作了一些尝试。

## 一、水氡地震异常与无震异常的研究

本文以100多个中强以上地震震例为依据,选择中国南北地震带北段9个水氡测点及10次中强震作为重点研究对象。

### (1) 选取观测资料原则

该地震活动区有16个专群水氡观测泉(井)<sup>[9]</sup>,本文选用其中9个泉(井),这些泉(井)出露条件稳定,观测资料有正常年变规律,仪器定时标定,观测误差符合规范要

\* 吴建华等参加了部分工作。

求，并且对周围4.5级以上地震至少有一次明显的对应。

对主要观测泉（井）逐年计算水氡五日均值及标准差，其结果列于表1中。由表1可见，每个泉（井）逐年氡测值五日均值标准差基本一致，表明这些泉（井）的观测资料是较为可靠的。

表 1

| 观测泉井 | 时间   | 五日均平均值 | 时间   | 五日均标准差 | 观测泉井 | 时间   | 五日均平均值 | 时间   | 五日均标准差 |      |
|------|------|--------|------|--------|------|------|--------|------|--------|------|
| 武 都  | 1986 | 1161   | 1986 | 30.5   | 清 水  | 1985 | 354    | 1985 | 22.5   |      |
|      | 1987 | 1349   | 1987 | 28.6   |      | 温 泉  | 1986   | 344  | 1986   | 24.3 |
| 通 渭  | 1982 | 92.7   | 1982 | 3.82   | 平 凉  |      | 1987   | 366  | 1987   | 19.0 |
|      | 1984 | 87.2   | 1984 | 3.42   |      | 柳湖泉  | 1984   | 55.8 | 1984   | 1.10 |
|      | 1986 | 96.1   | 1986 | 2.98   |      |      | 1985   | 55.6 | 1985   | 1.70 |
| 1987 | 98.7 | 1987   | 3.23 | 1986   | 57.1 |      | 1986   | 2.14 |        |      |
|      |      |        |      |        |      | 1987 | 55.0   | 1987 | 1.16   |      |

( 2 ) 选取震例原则

选用1979年以来该监测网内半数以上泉（井）已投入观测后，本区所发生的 $M_s \geq 4.5$ 级地震，即：1987年1月8日迭部5.9级地震、1987年3月3日迭部4.6级地震、1987年10月25日礼县5.1级地震、1987年8月10日灵武5.5级地震、1988年1月4日灵武5.5级地震、1988年1月10日灵武5.3级地震、1984年11月23日灵武5.3级地震、1985年6月24日宕昌5.0级地震、1982年4月14日海原5.5级地震、1980年6月24日陇县4.5级地震和1979年7月15日礼县5.0级地震。震中与观测点分布见图1。

( 3 ) 氡测值异常的确定

对氡测值异常的确定是在排除各种干扰后，根据各个泉井所处地质构造、地球化学环境、水文地质条件和不同的外界影响因素，选择适用的、简便的识别异常的处理方法，一般以超过2倍标准差的变化量为异常。

( 4 ) 地震异常与无震异常的判别方法

无震异常是实际存在的〔5〕。它是地壳周期性活动或应力局部调整引起的。因而无震异常与地震异常的幅度和形态是相似的。它与干扰性异常有本质上区别。

本文分析了1979—1988年中国南北地震带北段水氡短临前兆异常与无震异常的时空分布的总体特征，结果列于表2中。由表2可以看出，在26次异常中呈同步性或群体性、时空分布集中的有18次，零散性或个体性、时空分布不集中的异常有7次，震后出现异常变化的1次。同步性异常对应地震率约为67%，零散性异常对应地震率约为20%，有震后效应的约占10%。因此，只要确认同步性异常与零散性异常，就可以初步判断是地震异常还是无震异常，这样可以有效地提高区域性台网监测预报能力。

本文还选择中国大陆近百个震例来研究地震异常与无震异常，初步发现其主要区别与特点如下：

无震异常在时空分布上表现为零散性，呈单个出现，分布不集中，异常持续时间短，一

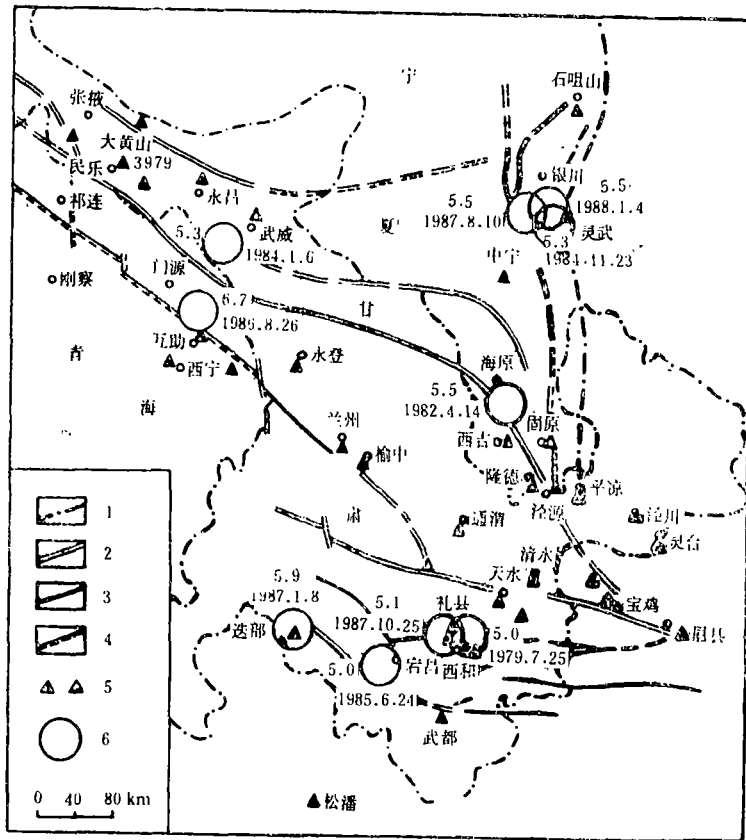


图1 南北地震带北段震中及水氡观测点分布图(1979—1988)

- 1. 隐伏深大断裂
- 2. 活动性深大断裂
- 3. 一般断裂
- 4. 推测活动性断裂
- 5. 观测水氡泉、井
- 6.  $M_s = 5-6.9$

Fig. 1 Distribution of epicenters and monitoring sites of radon content of groundwater in the north part of North-South Seismic Zone

般无中短期异常背景。四川省的14次无震异常中只有1次呈中短期异常，广东省13次中只有1次异常时间超过3天，河北省15次无震突变异常中呈单点一次性突变的占60%。

地震异常在时空分布上表现为同步性，呈群体、集中分布，一般为两个以上测点或两种以上项目异常，并且往往在中短异常的背景上发生突变型异常（单个测点多次突变异常亦属之），7.0级以上地震更为突出。震前短临异常起始时间差一般不超过1~2个月，空间展布范围一般在震中周围350km以内。另外，还表现为在一个监测区内前兆异常总频次（总量）显著升高。

(5) 研究同步性异常的可行性论证

同步性异常既然可作为短临地震异常的一种判断指标，那么，如何研究与识别同步性异常也是一个重要的问题。本文以1987年1月8日迭部5.9级地震和1987年10月25日礼县5.1级地震为例，探索同步性异常的判别方法。其主要程序是：对监测区内观测资料的可靠性进行审查并进行分析处理，给出氡异常（包括地震异常和无震异常）的判别标准；统计中强震前

表 2

各泉井氡异常及其它前兆异常的时空分布特征

| 年/月                 | 异常合计 | 零散异常(次)                                      | 同步异常(次)   | 前兆 | 后效 | 同步异常% | 地震M <sub>s</sub>  | 异常空间最大距离(km)                 |
|---------------------|------|--|---|----|----|-------|---|------------------------------|
| 1979/1.6—7          | 8    | 平凉(1)<br>(1979/1)                            | 平凉、通渭(2)<br>(1979/6—7)武山应力(1979/6)  | 2  |    | 67    | 1979.7.25<br>礼县5.0  | ≤200                         |
| 1980/6.12           | 2    | 平凉(1)<br>(1981/12)                           | 平凉、武山应力(1)<br>(1980/8.2—5)  | 1  |    | 50    | 1980.6.24<br>陇县4.4  | ≤180                         |
| 1981/1—2            | 1    | 平凉(1)<br>(1982/10—11)<br>武山应力<br>(1981/9)    |   |    |    | 0     | 无M <sub>s</sub> ≥4.0  | 无同步异常                        |
| 1982/3—4            | 4    | 平凉(1)<br>(1982/10—11)<br>固原(1)<br>(1982/7—8) | 清水、平凉、固原(2)<br>(1982/3.4)<br>静宁应力(1982/2)   | 2  |    | 50    | 1982.4.14<br>海原5.5  | ≤200                         |
| 1983/7              | 1    |  | 通渭、固原(1)<br>(1983/7)  |    |    | 100   | /   |                              |
| 1984/9.11           | 2    |  | 固原、平凉(1984/9)<br>(1)<br>武山应力(1984/8)<br>清水、固原(1)(1984/11)   | 2  |    | 100   | 1984.11.23<br>灵武5.3   | ≤300                         |
| 1985/1—3<br>5—6     | 3    | 清水(1)<br>(1985/2)                            | 通渭、武山(1)<br>(1985/6)<br>武山应力(1985/4)<br>石桥、清水(1)<br>(1985/5)文县、武都应力   | 2  |    | 67    | 1985.6.24<br>宕昌5.0  | ≤160                         |
| 1986/7.9、<br>11—12  | 4    |  | 殿沟、石桥、平凉(1)<br>(1986/11)<br>迭部、文县应力(1986/6—12)<br>通渭、清水、金龙(1)<br>(1986/12)松潘水准<br>石桥、通渭(1)<br>(1986/7)<br>通渭、清水(1)<br>(1986/9)                    | 4  |    | 100   | 1987.1.8<br>迭部5.9<br><br>1986.8.26<br>门源6.4<br>1986.9.17<br>门源5.7   | ≤340<br><br>≤400             |
| 1987/1.5、<br>7.9—11 | 6    | 迭部(1)<br>(1987/11)                           | 清水、通渭、金龙(2)<br>(1987/1—2)<br>武山应力(1987/2—11)<br>清水、通渭、平凉(1)<br>(1987/5)<br>固原、通渭1987/7(1)<br>清水、石桥、平凉、殿沟(1)<br>金龙(1987/9—10)<br>江口形变突变(1987/9—10) | 4  | 1  | 30    | 1987.3.3<br>迭部5.9地震,余震4.7<br>1987.10.25<br>礼县5.1<br><br>1987.8.10<br>灵武5.5<br>1988.1.4<br>灵武5.5<br>1988.1.10<br>灵武5.5 | ≤260<br><br>≤200<br><br>≤350 |

多点异常总频次、多点异常起始时间差、异常点数量、异常形态、空间分布范围，并与跨断层形变测量等其它前兆异常进行综合对比分析。研究结果详见表3与图2—4。

表3及图2—4说明，同步性异常反映地震是可信的、有效的。利用一个监视区内多个测点、多种前兆的同步性异常，可作出数天至3个月内发震的时间预报。

表3 同步性异常的总体性质及特征

| 地震  | 泉井名称      | 异常起始时间<br>年 月 日 | 异常持续时间<br>(天) | 距发震<br>时间(天) | 异常形态 | 异常点<br>数量 | 参考异常<br>手段 | 同步异常<br>时间差<br>(天) | 空间展布<br>震中距<br>(km) |
|---|-----------|-----------------|---------------|--------------|------|-----------|------------|--------------------|---------------------|
| 1987年<br>1月8日<br>迭部<br>M <sub>s</sub> =6.9  | 天水、金龙自流井  | 1986.12.5       | 2             | 34           | 突升↑  | 5         | 松潘<br>水准↓  | 0                  | ≤200                |
|   | 武都殿沟      | 1986.11.28      | 1             | 41           | 突升↑  |           | 文县应力↑      | <60                | ≤340                |
|   | 通渭温泉      | 1987.1.6        | 2             | 2            | 突升↑  |           | 武山应力↑      | 39                 |                     |
|   | 平凉柳湖      | 1986.12.19      | 1             | 20           | 突升↑  |           |            | <60                |                     |
|   | 清水温泉      | 1986.11.10      | 40            | 29           | 突升↑  |           |            | <60                |                     |
|   | 清水温泉      | 1986.12.中旬      | 10            | 约28          | 高值↑  |           | 30         |                    |                     |
|   | 清水温泉      | 1987.1.10       | 震后2           |              | 高值↑  |           |            |                    |                     |
| 1987年<br>10月25日<br>礼县<br>M <sub>s</sub> 5.1 | 清水温泉      | 1987.9.3        | 2             | 47           | 突升↑  | 8         | 武山氡↑       | <30                | ≤120                |
|   | 清水温泉      | 1987.10中旬       | 30            | 约10          | 高值↑  |           |            |                    |                     |
|   | 通渭温泉      | 1987.8.25       | 4             | 60           | ↑    |           | 通渭氡↑       | <30                | ≤100                |
|   | 武都殿沟      | 1987.9.1        | 2             | 54           | ↑    |           | 江口形变<br>↑↓ | <45                |                     |
| 武都殿沟  | 1887.8.中间 |                 | 约70           | ↑            |      |           |            |                    |                     |

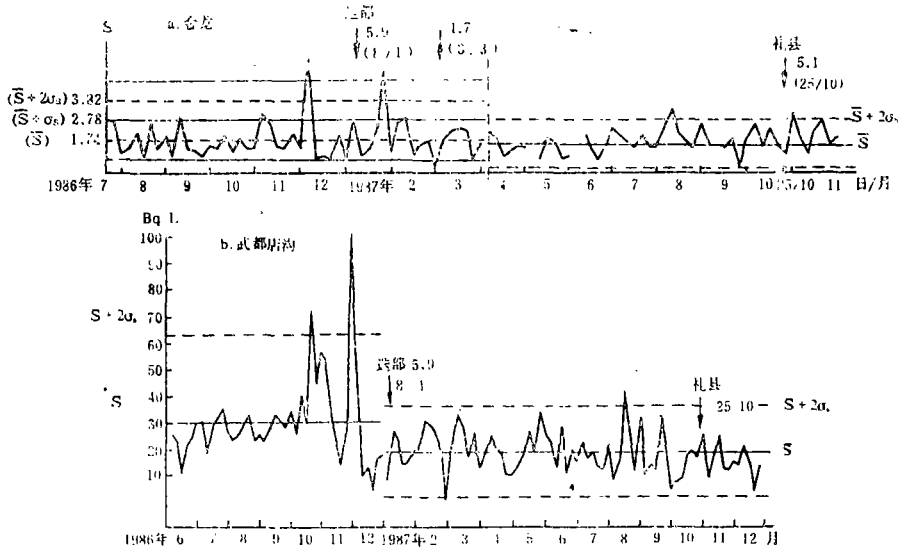


图2 金龙水氡(a)及武都殿沟水氡(b)五日均方差图  
 $\bar{S}$ : 五日均方差平均值  $\sigma$ : 五日均方差值

Fig. 2 The mean square deviation of five-day of radon in groundwater of Jinlong and Diangou, Wudu county

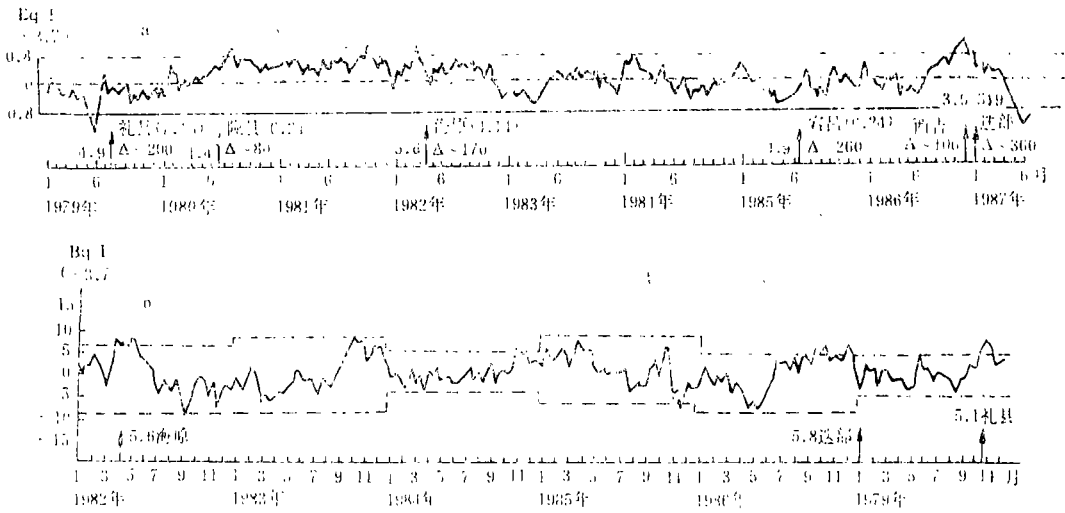


图3 平凉柳湖水氡旬均值气温回归离差曲线(a)和清水温泉水氡旬均值气温跟踪回归离差控制曲线(b)(据王振亚)

Fig. 3 The radon content control curve of ten-day mean's deviation of air temperature regression for Liuhu spring, Pingliang county and the control curve of ten-day mean's deviation of air temperature following regression for radon content in Qingshui hot spring

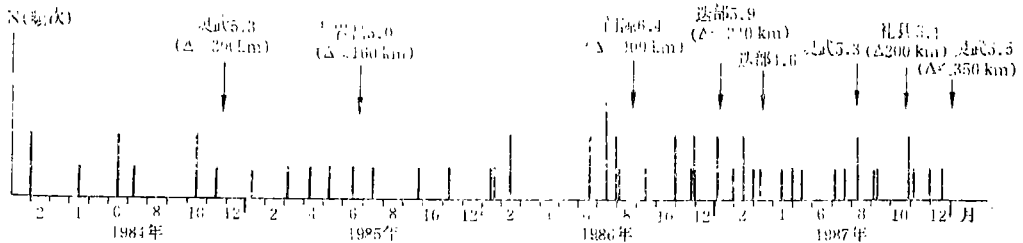


图4 南北地震带北段10个泉井水氡突变频次图

Fig. 4 The sudden change frequency of radon in ten springs and water wells in the north part of North-South Seismic Zone

## 二、水氡预报地震三要素的方法探讨

### (1) 时间预报

本文根据中、苏、美、日几个国家近年来150个水化学异常震例，统计了水化学(水氡为主)临震突变泉、井次N随时间T(突变日至发震日的间隔天数)的分布，详见图5。

图5表明，突变性异常60%以上出现在震前30天内，其中大多数又集中在震前20天内。一旦水化学(水氡)出现多点突变性异常，数天至20天内发震的概率≥60%。而突变性异常发生在震前30—60天内的约占14%，60—90天内约占7%。出现多点突变性同步异常



表4说明，异常时间越长则震级越大，已知异常时间可以计算未来发生地震的震级。此外，用最大异常距离D与震级关系式 $M_s = a + b \log D$ ，也可求得震级。

(3) 地点预报

以各测点以往对应地震的最大距离为半径，以异常点为圆心画圆，各圆大都重合的部位即为未来震中区〔6〕，本文称之为“综合交汇法”，详见图6。

该经验方法有一定局限性，异常点太少或异常点偏于未来震中之一侧，则无法运用。

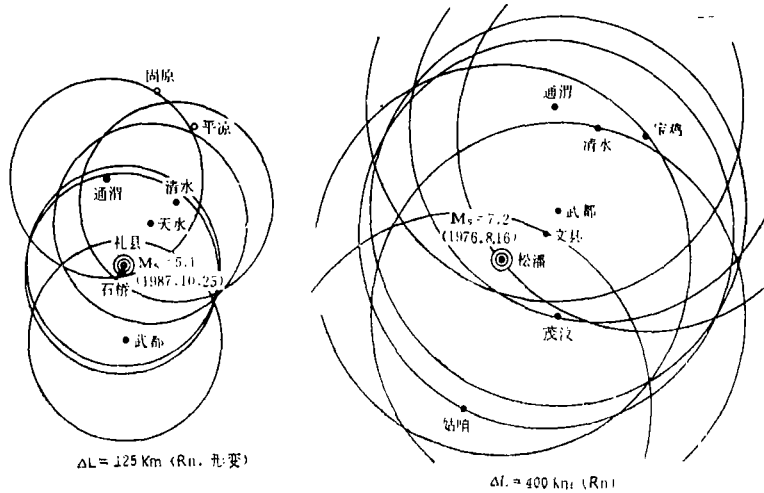


图 6

另外，异常点相对集中区及其附近活动构造部位可能是未来的震中；个别测点具有反映地震的方向性，即专门对应特定地区的地震。确定震中区时也应参考中长期预报所确定的危险区。

三、小结

(1) 本文通过对一些泉(井)水氡观测资料的分析，认为总体异常可区分为同步性异常和零散性异常，同步性异常可视地震短临前兆，其对应地震率在67%以上。在具有一定监测能力的区域内，要注意研究与鉴别同步性异常和零散性异常。同步性异常基本上排除了无震异常的干扰，结合上述预报三要素的方法，就能有效地提出预报。

所谓同步性异常，即指异常时间同步、空间相对集中的多点多项目的群体异常。一般为两个以上测点或两种以上项目异常；往往在中短异常的背景上发生突变型异常；各测点短临异常起始时间差不超过1—2个月；异常点空间展布一般不超过350km。同步性异常不仅是区域应力场的作用，更重要的是震源应力场的作用结果。

(2) 不同构造区域的单项前兆、个别测点与不同期间的个体性质异常称之为零散性异常。零散性异常大都是无震异常或是偶然因素干扰引起的，其对应地震率<20%。



## 参 考 文 献

- [1] M.A. Садовский等, 解决地震预报的途径, 世界地震译丛, No. 6, 1987.  
 [2] M.A. Садовский等, 各类前兆的主要资料, 世界地震译丛, No. 5, 1987.  
 [3] 张炜等, 地下水中氡含量离散度变化与地震的短临预报, 地震学报, Vol. 9, No. 3, 1987.  
 [4] 蔡祖焯等, 在我国发现的地震前地下水流体异常的实例, 地震学报, Vol. 2, No. 4, 1980.  
 [5] 李海华、冯学才, 古浪—海原断裂带“无震异常”的意义, 地震, No. 1, 1981.  
 [6] 力武常次, 前兆现象の经验則に基づく实用的地震予知(1)——震央およびマグニチュード(昭和62年4月14日受理), 地震, Vol. 40, No. 2, 213—223, 1987.  
 [7] 秦保燕等, 预位移终止相与突跳型前兆类型, 西北地震学报, Vol. 10, No. 1, 1988.  
 [8] 张文基等, 中强地震前水氡短临异常的研究, 西北地震学报, Vol. 5, No. 3, 1983.  
 [9] 张文基, 甘肃省水氡台网监测地震能力的评述, 西北地震学报, Vol. 9, No. 2, 1987.

ON THE INDICES DISTINGUISHING SHORT-IMMINENT ANOMALIES  
 OF WATER-RADON BEFORE A EARTHQUAKE AND THE  
 METHOD PREDICTING ITS TIME, LOCATION AND MAGNITUDE

Zhang Wenmian, Tian Shaobai

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou, China)

## Abstract

In this paper, the anomalous changes in radon content recorded by nine monitoring sites before ten moderately strong earthquakes occurred along the northern segment of NS seismic zone are analyzed. Further studying the temporal and spatial distribution characters of seismic and aseismic anomalies in the area, total anomaly frequency, time difference between the beginning and ending of anomalies etc., it is found that, in general, the seismic anomalies are characterized by "synchronism" or "cluster" and that the most of "scattered" anomalies are aseismic. Based on the above-mentioned results, the method predicting time, location and magnitude of future shocks using radon anomaly is also proposed.