

国家地震局科技情报中心 编译

苏联地震预报译文集



地震出版社

苏联地震预报译文集

国家地震局科技情报中心 编译

地震出版社

1989

内 容 提 要

本文集共收编苏联近年来地震前兆研究论文55篇。其内容涉及测震学、地球物理学、水文地球化学、地貌学、地形变及生物学等领域,反映了苏联在地震预报研究方面的现状与发展方向。本书可供从事地震预报、地震科研、地震工程等方面的科研、教学人员参考。

苏联地震预报译文集

国家地震局科技情报中心 编译

责任编辑: 马兰

地震出版社 出版

北京复兴路63号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 19.25 印张 485 千字
1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷
印数 0001—1000

ISBN 7-5028-0076-X/P·52

(479) 定价: 8.00元

编者的话

地震是地球构造运动的表现形式之一。在地震孕育过程中，伴随着区域构造应力的累积和释放，震源区及其附近有可能出现各种尺度的地形变及地球物理场、水文地球化学特征等变化。研究这些变化的时空规律及其与地震活动的关系，并从中找出必震的标志乃是当前地震预报研究工作面临的主要任务。

为了深入了解苏联近年来地震预报的实践经验，本文集共收集1980—1985年期间苏联地震预报研究论文51篇，它较集中地反映了苏联在这个领域的研究成果与发展方向。

文集共包括以下几个方面的内容：概述了苏联地震前兆的研究现状及预报强震的途径；从测震学观点探讨了强震的时空变化规律及预报强震的时间和地点的可能性；介绍了地震波波速比、电磁场、重力场的变化与地震活动的关系，以及苏联地震水文地球化学、水动态前兆的最新研究成果；探讨了地形变与地震活动的关系；最后还介绍了苏联在长期地震预报中利用地貌构造模式化分析的经验以及生物预报地震的前景。

本文集由国家地震局科技情报中心负责组织编译，由关玉奎统校，全部图件由冯希英同志清绘。

目 录

苏联地震前兆研究现状及预报强震的途径 (综述)	(1)
强震的时-空 关系	(12)
论预报强震地点和时间的可能性	(16)
地震动态与强震	(20)
强余震的预测	(27)
塔吉克斯坦地震带强震地点的预测	(34)
最大可能地震的估价	(38)
根据 v_p/v_s 值异常预报震级	(56)
强震的两种长期前兆	(59)
根据前兆进行最佳的地震预报	(69)
孕震区形成的某些规律性	(75)
地震构造运动中各种参数的时间变化	(79)
利用弱地方震 S 波谱预报地震的可能性	(90)
根据弱震震中分布研究地震的孕育过程	(99)
堪察加沿岸强震前 v_p/v_s 场的时空变化	(105)
阿塞拜疆地震活动性与磁场特征的关系	(114)
地磁场年变化传递函数中的强震前兆	(123)
杜尚别地球物理试验场强震的综合长期前兆	(125)
强震区地球物理特征和保加利亚强震概率评价	(131)
论地电前兆出现的时间及前兆显示区半径与地震能级的关系	(142)
破裂的声学前兆与动力学	(147)
地壳深部热力状态与地震活动性	(152)
1980年12月11日纳扎尔别克地震的地球化学和地球物理学前兆	(154)
在亚美尼亚预报试验场上对地震水文地球化学前兆的研究	(159)
地震的水文地球化学前兆	(162)
加尔姆试验场的电化学观测	(165)
1980年10月18日和12月11日纳扎尔别克地震前西费尔干纳地震区地下包气带氧含量 的时间变化特征	(171)
论用碳氢氮同位素成分作为地震前兆的可能性	(174)
塔什干地球动力学试验场的水文地震地质学研究	(178)
孕震期地下水水位和涌水量变化的对比	(182)
研究地下水动态识别地震的流体地球动力学前兆	(186)
阿什哈巴德灾害性地震的水文地质和水文气象学前兆	(195)
现代地壳运动与地震 (综述)	(198)

地壳水平运动——地震前兆·····	(207)
为在地震活动区寻找地震前兆对构造应力场的判别和研究·····	(210)
论地震孕育过程中岩体应变状态的变化·····	(216)
论地球表面现代挠曲形变、地倾斜与某些地震活动标志的关系·····	(219)
阿拉木图预报试验场的地应变与地震活动性·····	(222)
论1978年3月25日扎拉纳什-提尤朴地震的地倾斜-地应变前兆·····	(225)
地震前地壳垂直运动及磁异常·····	(227)
与地震预报有关的线性构造模式化分析·····	(230)
预报强震地点在时间上的稳定性·····	(236)
南美洲太平洋沿岸强震地点的判断·····	(242)
利用赫明格方法对中亚东部及阿纳托利亚强震发生地点的预测·····	(252)
以东乌兹别克斯坦为例根据地质-地貌资料预测可能的强震地点·····	(257)
发震构造与地震的长期预报问题·····	(261)
活断层与地震活动性·····	(273)
加尔姆地区地震构造形变的时-空表现·····	(280)
前科彼特断裂带破坏性地震发生地点的预测·····	(287)
对矿山冲击(地震模型)的预测及预防·····	(292)
地震的生物学前兆·····	(298)

苏联地震前兆研究现状及预报 强震的途径 (综述)

关 玉 奎

1948年阿什哈巴德地震后不久,苏联开始了地震前兆研究。1966年塔什干地震后,该项工作得到了进一步发展。

目前在 M.A.萨多夫斯基院士领导下,苏联地震预报研究已在更广阔的范围内进行。为此曾在加尔姆-杜尚别,伏龙芝,塔什干,阿什哈巴德,阿拉木图以及托克托古利水电站及喀尔巴阡,堪察加等地区建立了地震预报试验场。

在苏联、日本(1962)、美国(1964)、中国(1966),已编制了多年地震预报规划,其内容包括:完成一系列作为地震前兆的地震动态和地球物理场(重力、磁力、地电、地热)时间变化(其中包括地震过程中地震纵波、横波传播速度变化)的动力学研究;地壳现代应变和地倾斜;地球化学及水文地质学;生物学及其它方面的研究。

这里,试图概述苏联地震前兆研究的现状和预报强震的途径。

1. 地震纵波、横波传播速度的变化

地震纵波与横波有不同的传播速度,但是它们的平均比值是稳定的,约等于 $\sqrt{3}$ 。它们的运行时间也在同样的比值中。正如研究结果所证明的那样,纵波、横波速度及其比值变化可作为发生强震的前兆。

从这一点出发,Б.К.卡列别强等在野外(震源带上)和实验室条件下,研究了纵波和横波的传播速度。在И.Л.涅尔谢索夫领导下,在加尔姆综合地震队的地震台上,他们利用仪器记录了微震($K=6-10$)和较强地震($K\geq 11$),并根据反映纵、横波走时差相关性的和达曲线,确定了横波走时—— t_s 和纵波走时—— t_p 。

为确定 t_s/t_p 变化,曾对加尔姆地区的不同震中,以及在5, 10, 15, 20—25km不同深度研究了它们的空间分布。结果表明:比值无论在水平方向或在垂直方向均有明显的差异。它能很好地与地震活动性相对应。并且, t_s/t_p 低比值边界可能作为发生强震地点的标志。

为确定 t_s/t_p 的时间变化,在加尔姆地区曾研究过5个 $K\geq 11$ 级地震。研究结果查明了地震孕育的4个阶段:1)与宁静状态相适应的 t_s/t_p 无变化阶段;2) t_s/t_p 减少到某种最低值后,伴随 t_s/t_p 增长出现的地震孕育阶段;3)与地震发生相适应的 t_s/t_p 增长达到静止状态阶段;4)地震结束和出现余震的阶段。地震愈强烈孕育时间愈长。

所得资料的分析结果表明:在 $K=12-13$ 级地震前2—3个月 t_s/t_p 变化达10%。

对各种震源深度的 $K=6-9$ 级地方震,也在伏龙芝试验场上得到了 t_s/t_p 时-空分布规律。 t_s/t_p 低值出现于该地区发生过 $K=11-12$ 级地震地段。同时发现:上述地震之前 v_p/v_s 在时间上的变化呈“湾”形。加尔姆地区的研究结果与美国科学家Я.П.阿加尔瓦勒等在纽波尔克戈卢鲍矿湖区6km小震震中距上确定的横波与纵波走时比一致。该比值开始时减少,后来直至地震前恢复到正常值。异常延续时间随地震强度的增长而增加。1973年7月30日 $t_s/t_p=1.75$,

而以后2—3天降到1.5。他们于8月1日预报了几天内将发生2.5—3.0级地震。果然，于1973年8月3日23点10分发生了2.6级地震。B.K.卡列别强曾指出：为了预报发震时间和震级，不仅可以利用 t_s/t_p 的时间异常，还可以利用空间异常。

研究了圣费尔南多1971年地震前后地震波传播速度变化后，ИЖ.Х.维特科发现：地震纵波与横波在地壳中传播速度的比值变化也有类似的情况。在加利福尼亚也进行过包括根据P波走时、P波与S波走时比在内的地震前兆的研究。P.Л.维松根据圣安德列斯断层系400km长地段发生的大量弱震资料揭示了预报5级强震的可能性。

查明 v_p/v_s 变化也是堪察加试验场预报强震的任务之一。当时是根据一个获得P波、S波初至及P波走时差的台站资料，以及根据台网确定震中时间 t_0 的资料确定 v_p/v_s 值的。对于具体的台站按 v_p/v_s 单值确定了它们的时间变化。Г.А.索博列夫和Л.Б.斯拉维娜根据两个观测站的资料进行过研究。由于 v_p/v_s 单值离散，曾作过统计学平均。根据堪察加的研究结果，划分出在空间和时间上向着属于 $K \geq 14$ 级地震边界移动的、具有 v_p/v_s 过高和过低单值的某些带。可以指出：对于长期地震预报来说，为了更详细地说明地震地点，所得的资料基本上是可用的。这涉及 v_p/v_s 单值对时间的依赖性，它们的异常值在地震前很早就出现。 v_p/v_s 的变化同介质的应力状态变化有关。显然，在空间上被圈定的 v_p/v_s 低比值和 v_p/v_s 高梯度带，可作为堪察加 $K \geq 14$ 级强震地点和时间的征兆。

这种测定 v_p/v_s 的方法也被C.C.苏耶希罗用于日本岛的地震预报中，当时，在地震前两个月这个比值曾急剧地增长。

2. 地球物理场的时间变化

地球物理场（磁、电、重力）的时-空变化，可以作为发生强震的前兆。

磁场

早已知道，地震时会出现磁扰动。众所周知，在1887年2月11日地震过程中，这一现象表现得最为明显。当时，法国，意大利，瑞士，西班牙，俄罗斯等磁观测站均记录到磁场明显变化。在俄罗斯磁观测站还记录到1887年维尔年斯克地震的非常强烈的磁扰动现象。25年前在加尔姆和阿拉木图曾用磁感应站完成了苏联地磁场变化的观测。在两个不同的台站上得到了300多个弱震记录，并把它们同磁场变化相对比。面临的主要困难是，磁感应站如何能在巨大数量的强烈电离层干扰的背景上发现地震的磁效应。

苏联磁学家建议，在同一台站上对地震、地磁和地电三种主要地球物理场，在窄频率范围内进行综合观测，目的是对比这些场的变化和揭示它们在地震时期的异常。

虽然曾不止一次地指出过在强震震中带有地磁场变化的事实，但是，至今仍未彻底分清什么是可作为地震可靠前兆的地磁场异常。B.K.卡列别强等用质子磁力仪对苏联、美国和日本等地震区地磁场的变化进行了多点观测之后，这方面研究有了一定的进展。

沿圣-安德列斯断层约100km长地段的5个点上安装的质子磁力仪，在1965—1967年记录的磁场变化证明：它们总是与突发的地表位移相伴随。在地震孕育阶段曾出现磁场强度的下降。

在1964年3月27日阿拉斯加地震前1小时，B.Г.卡季阿克曾记录到具有100nT的明显的磁场扰动。

根据日本一系列观测点（精度为 ± 1 nT）质子磁力仪观测资料，曾记录到中等地震期间地磁场的变化范围为5—15nT。

1968—1974年在苏联塔什干试验场3.7和4.2级地震过程中，质子磁力仪曾记录到在20—30nT范围内变化的地震磁效应。喀尔巴阡试验场的5年地磁场观测，发现了强度为30nT的长期变化异常地段，以及可能发生地震的个别地点。

为了预测余震的时间和强度，也在强震之后进行了地磁场变化的研究。这一工作曾在苏联亚美尼亚1968年6月9日赞格祖尔5级地震之后完成。为此，他们曾在震中区和在40km远处通过两个MBC-2M型磁异常站测量了地磁场变化。在赞格祖尔地震的余震时期查明了6个磁异常事件。虽然因大气流的局部扰动，不可能同义地认为它们都是地震的磁效应，但是，在所有的情况下，均可观察到地震前磁场强度的某种下降，余震之后，它们逐渐恢复。

在作出结论时有必要指出，从地震前兆观点出发，与其它地球物理场相比，地磁场的变化占优势，它的变化与岩石各向压力水平无关，这些变化只与单向应力有关。可以认为：地球表面磁场变化取决于地震前应力增长所引起的岩石特性的空间变化。因此，应广泛地开展岩石磁性实验研究。

电场

地震前经常可以看到地电场扰动，电磁波异常，天空发光，大地和大气的电效应等异常现象。因此，产生了用它们作为地震前兆的设想。

在A.H.季霍诺夫领导下，在加尔姆地区用180km长剖面上的4个台站和阿拉木图地区若干个台站进行了大地电流与地震关系的研究。

1951年11月24日台湾毁灭性地震前4小时，阿拉木图台站曾记录到有极强电扰动的地电图。

1950年9月28日和10月12日在加尔姆观测点附近发生的强度分别为6级和5级的两次强震中，台站曾记录到地电效应。在许多其它地震中也记录到有不同特点、明显扰动的地电图。但是，地震前也有不发生电扰动的情况。然而，地震和电扰动传播之间的可能联系，可通过弹性波传递能量在电磁扰动中反应的地电效应来确定。

在许多场合下将所谓大气电位梯度变化作为地震前兆。这种梯度增长的效应最初曾在1924年贾拉尔阿巴德烈度为8度的地震前4小时，被E.A.乔尔尼亚夫斯基测出。

继1949年7月10日海特地震接踵而至的烈度为5—6度的7月22日地震前1.5—2小时，也出现过电位梯度的增长，它被距震中50km的加尔姆观测站记录到。后来，在B.Φ.鲍恩奇科夫斯基领导下，在加尔姆一系列地震前，用5个台站进行了比较完善的大气电位梯度变化的记录。观测结果表明：一系列无感地震前电位梯度的变化不明显。但是，可以把烈度为4—6度有感地震前大气电位的扰动现象作为地震前兆。

Г.А.索博列夫和B.H.莫洛佐夫在堪察加半岛东岸的4个地电台上，也记录到一系列地震过程中局部电场的变化，可把它们作为地震的地电前兆。同时，在震源带附近，还记录到由于岩石电极化引起的地震前若干小时相当明显的电扰动，以及与断裂发展有关的地电效应。

1961—1969年加尔姆试验场的岩石电阻研究表明，它与地震孕育过程的关系，即： $K=9$ 级地震前2—2.5个月，岩石电阻率下降15%—18%。在高温高压下，岩石电性实验结果证明：岩石电阻主要随温度改变，而与压力的关系不明显。

重力场

当重力场的高水平梯度有线性延伸带存在或重力异常的走向被破坏，以及重力场总的特点出现明显变化时，可用重力方法来查明潜在的发展构造。

应该指出：早在1911年B.Б.戈利岑就在有益于解决地震预报问题的方向性意见中指出过重力测量的意义。

目前，为了研究重力在时间上的异常变化，在考虑到区域地质及地球物理特征条件下，在阿什哈巴德地球动力学试验场选择了15个以上的观测点和若干个地段，用精度为 $0.02 - 0.03 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的GS-12型重力仪进行了重力测量。1967—1971年，曾在试验场的某些地段发现 $0.10 - 0.15 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的重力异常增量。这些异常区赋存于上述时期的壳震带上。

3. 地壳现代形变和地倾斜

利用精密仪器进行地面点相对高程变化的测量，以便查明反映地表某些部分微弱而缓慢隆起或沉降的地壳现代形变过程。地壳现代形变是在地倾斜和高精度重复水准测量中被查明的。前者能提供最精确的研究成果。地震前和地震后的水准测量以及用倾斜仪在被深断裂分开的地表隆起和沉降地段的测量是最有意义的。例如早在1906年毁灭性地震之前，通过测量专用三角点间距离的测量法研究了圣安德列斯断层的形变。1906年在圣费兰奇斯克地震之后重复过这些测量。结果发现：断层两盘对应点之间的距离发生了位移（约6m）。后来的测量结果证明：断层两盘具有速度为 5cm/a 的相对位移。因此，在均衡变形的条件下，为达到临界值需要经过100年的时间。但是，按所有的标志判断，这个过程并不是均匀的，并且主要变形直接发生在短暂的时间间隔内。

地壳应力除形变方式外，还以地倾斜方式显示。它们的变化特别缓慢和均衡。最初，日本从1910年开始地倾斜研究，在以后的30年中，根据所编制的现代地壳运动图，日本科学家查明了“地倾斜暴”及其与地震活动的关系。长期观测结果表明：地震前的倾斜异常可能在延续性和形态及数值等方面有不同特点（就形态而言，类似于字母S），并且，在震中距将近100km的6—8级地震的影响区域内有 $0.1''$ 弧度的最大倾斜，震后若干天或若干星期有 $10''$ 弧度的地倾斜，在几乎半年之后，倾斜值更大。1964年 $M=7.5$ 级新潟地震前9小时就出现震前的形变变化。

1972年安装在新西兰平巷中的倾斜仪，4年的观测结果表明：经过一个月后得到恢复的地倾斜异常，对应着观测台附近65km范围内发生的分别为5.5和6.2级的两次地震。但是，另一个5.9级深源地震未记录到明显的地倾斜异常。

苏联最初在阿拉木图开始地倾斜观测，但是，以预报为目的地倾斜观测则开始于1946年，并且在B.Φ.鲍恩奇科夫斯基的研究成果中，阐明了“地倾斜暴”（即地倾斜在方向和数值上的明显变化）与地方震在时间上的联系。之后，从1947年开始，这种观测也在加尔姆考察队的若干个地倾斜观测站上进行。3年的观测资料表明：“地倾斜暴”发生在地震活动时期，各台站记录的“地倾斜暴”有不同的形式和数值。

对远震也记录到地应变和地倾斜变化。如1964年3月28日阿拉斯加（ $M=8.6$ ）地震前，距震中7000km阿拉木图附近的塔勒加尔台站于地震前一个月在拉张的背景上出现了地震时达 6×10^{-8} ，地震后有符号改变的压缩应变。这个台站也曾得到距震中仅200km的1965年3月4日南天山6级地震前的异常应变。

杜尚别附近的康达拉台站于1965年3月14日记录到300km远处地震的地应变，并在地震前一昼夜记录到地倾斜异常。在1967年10月3日卢戈勃（ $K=13$ 、 $\Delta=20 \text{km}$ ）地震前4周曾记录到非常重要的地应变。

总之，在大多数地震前曾出现异常的地倾斜和地形变。野外观测和实验室研究曾查明：

地形变多半出现在地震前一定的阶段,其数值可能不同,延续时间从若干年至若干小时,甚至若干分钟。但是,有时出现这种变化并不发生地震。因此,从所得资料中分辨出由地壳中变化引起的同未来地震有关的那种运动是非常重要的。为此,首先要求有精确可靠的观测仪器,并在若干个台站上用同类型仪器进行频繁的观测。作为精确可靠的范例可以举出有20—25m基线,有光机械和光电记录系统的(它们在1mm的测量长度上分别有 10^{-8} 和 10^{-9} 灵敏度)石英应变计,在长基线上测量应变的激光装置和具有 5×10^{-6} 灵敏度的日本应变计。

为了测量地球表面变形,随着精度为 10^{-6} 的光测距仪的使用,在进行地应变和地倾斜测量的同时,尚需完成重复水准测量和三角测量。

4. 地球化学和水文地质学异常

在强震时期,地壳变形的急剧增长导致潜水水位和矿泉水动态的变化。发生强烈变化的还有石油和天然气井的开采量,水和气体化学成分发生变化及矿泉水温度增高 $1-2^{\circ}\text{C}$ 。

地壳向大气层释放大气天然气,В.И.维尔纳德斯基称这一现象为“地球的气体呼吸”。就全部岩石圈来说,这种释放是不均衡的。气体释放强度的增长和气流成分的变化主要发生在各种尺度破坏性断裂的形成过程及与之相伴生的深部断裂带上。

Н.И.希塔罗夫,Г.И.沃伊托夫,В.С.列别杰夫根据阿纳帕(1966)、塔什干(1966—1967)和达吉斯坦(1970)地震的研究作出结论:在震中区及其外围形成的气体、水文地质、同位素和放射性化学异常是地球物理、地球化学及放射性化学过程的总体反映。它们出现在地震前经受弹性变形的岩石中。同时,他们还认为:气体的化学成分及稳定放射性同位素的变化是最有意义的。

在伏龙芝试验场上于强震前观测到深钻井热水涌水量的变化。

В.Л.巴尔苏科夫等为了研究1977年和1978年强震前地下水化学成分的变化规律,曾对杜尚别试验场的水热矿床自流井井水进行过观测。每周进行3—7次取样和化验。将超出化学组分背景值3倍的含量当作地下水主要水化学组分异常值。

资料分析结果表明,在半径200km范围内地下水中氦有非常高的含量。同时,地下水温度异常也是研究区域地震前最可靠的地球化学前兆。地震发生时刻往往与异常高的氦含量下降到高背景值的时刻相对应。同时,地下水中氦异常时间愈长所预测的地震震级愈大。预测的地震深度取决于组成地下水的矿化组分值的异常。

П.И.恰洛夫等根据北吉尔吉斯地震区断层水放射性同位素指标的分析查明:根据氦和氩含量的增长来预报发震时间比较可靠。当氦含量缓慢增长,并且以具有脉冲特征的大量短异常直接在地震前结束时,这种预测是最有效的,可能有氦伴随着它们,并且有同样的异常特点。

Х.К.卡西莫夫等曾查明:塔什干阿尔捷齐安斯克盆地热矿化水中氦的含量异常与在1966年4月26日地震及余震期间所揭示的地震活动有关。

最近Г.А.马夫利亚诺夫等根据塔什干试验场气体成分分析确定:氦、氩等惰性气体浓度在强震前逐渐增长。还揭示了强烈地震与震前氦浓度的增长的相关性。地震前也观测到水的磁性、铀、钍、钍同位素成分、汞含量及地下水中其它组分的变化。

按月观测了热水中氦、氟、氯及其它微量组分在哈萨克斯坦12个观测点和在麦迪乌、图尔格尼、戈列里克、阿拉木-阿萨兰泉水中的变化。

С.С.萨尔达罗夫用氦和氩从地球深处到地表的通量来描述地球内部能量传递的变化情

况。塔吉克斯坦不同地区钻孔天然气中氦和氩浓度的昼夜连续质谱测量结果表明：深部气体通量与地球固体潮变化有关。得到了深部气体通量与月球、地球及太阳相对位置之间的关系，最小通量出现在满月，最大通量出现在新月。在气体深部通量昼夜和月变化的背景上，确定了它们在弱震前变化的动力学特点，其中包括开始时通量增长，后来下降到背景值，并在它的均衡地段出现地震。全部过程延续时间大于30小时，在地震前6—30小时用这种方法进行预报获得了成功。

А.И.克拉夫佐夫等对于阿纳帕(1966)、塔吉克斯坦(1970)地震期间分布在深断裂带上的北高加索一系列地区的天然水所进行的地质学和地球物理学研究结果表明：在地震活动加剧的情况下，气体通量强度及其主要成分有变化。

А.И.克拉夫佐夫，М.И.库切尔等在高加索地震带上，对沼气和碳酸气中碳同位素变化的动态进行过两年(1974和1975)观测。研究结果表明：沼气中碳在地震前若干小时明显地减轻，地震时明显地加重；而碳酸气中的碳相反，在地震时减轻。在远震时碳有0.2—0.3%的变化，而在近震和强震时达1%。因此，天然气中碳同位素比值有可能被用作地震的地球化学前兆。

在亚美尼亚，从1968年开始，在赞格祖尔试验场，从1974年开始在埃里温试验场研究了地震的地球化学前兆。

根据B.A.伊古姆诺夫和Э.С.哈拉特扬的资料，1968年赞格祖尔地震期间，这个带矿泉水的气体析出量明显增加，并且气体组分的再分配比较稳定，这说明有矿化度较高的深层水混入。

Д.Г.奥西卡等根据石油工业资料分析查明：在赞格祖尔1970年5月14日地震前若干天，地下水中氯含量比背景值增长4—5倍。还查明：在 $K=14$ 级的基利亚特林地震(1974年10月13日)、萨拉套斯特地震(1974年12月23日)以及 $K=15$ 级的切尔诺列斯克(1976年7月28日)地震前不久，矿泉水和钻孔水由于钠、钾及少量钙氯化物含量的增长而使矿化度高于背景值。他们指出：在地震后一昼夜，水的化学成分相当于背景值，但在余震前及出现地球化学异常。

Д.Г.奥西卡等根据北高加索1912—1975年一系列地震的分析查明：大多数地震在震中带及震中距达300km的钻井和矿泉水中出现油、气、水产量下降。发现在地震前5—10昼夜带现了气体异常，发震时间的预报通常可按地球化学异常存在时间的长短来确定。

地下水水文地球动力学状态的变化有可能是地震前兆，因为它们不仅表现在地震的后果中，而且也表现在地震的孕育过程中，当时，由于地应变而在地下液体环境中造成了孔隙和层间压力的变化，从而导致水位变化。

М.А.萨多夫斯基等在联合国教科文组织1979年4月巴黎国际地震预报讨论会上提出的地震短期水文地球化学前兆报告中，援引了库纳施尔岛、伊土鲁普岛和萨哈林岛南部试验场水文地球动力学前兆的研究结果。观测钻孔的间距230—450m。孔深500—697m。

最近2—3年试验场的观测结果表明：地震前2—3天水位开始下降，达到一定程度后又开始上升。地震发生在水位开始上升阶段。同时，当地震的孕育被反映在钻孔水位变化中时，则观测孔距震中愈远，地下水水位下降值愈小，地震能级愈高，钻孔水位开始下降的时间到发震时间的间隔愈短。例如1978年9月15日6.5级地震前，在距震中600km的伊土鲁普岛钻孔中于震前8天水位开始下降；距震中800km的库纳施尔岛钻孔水位于地震前5天开始下

降；距震中940km的萨哈林岛的钻孔水位于地震前3天开始下降。

另一方面，强震的水文地球动力学前兆不仅表现在大的震中距上，而且也表现在大的震源深度上。例如1978年6月21日地震前，明显的水文地球动力学前兆出现在450和640km距离上，这次地震的震源深度为200km。

Б.К.卡列别强认为：所观测到的水文地球动力学前兆取决于广阔的孕震区域内应力状态的变化及弹性变形的发展。М.А.萨多夫斯基认为：钻孔中地下水水位的下降证明了沿地表有短期拉张应变带的存在，导致了孔隙和裂隙的增加。在强震孕育中，这些变形首先在未来的震中附近形成，并且在若干天之内，从震中向外传播几百公里。

显然，水文地球动力学前兆有可能被用于短期的地震预报。并且，在若干个彼此相距足够远的钻孔中观测地下水水位时，不仅可以预报地震的发震时间而且可以大概地指出地震地点和强度。Б.К.卡列别强曾利用水文地球动力学观测结果，成功地预报过千岛群岛南部的地震。

水文地球动力学效应在地震前若干昼夜或若干小时也以水位或地下水压力变化的方式表现在其它地震区域。如Б.З.马瓦舍夫曾在1966—1968年塔什干地震前观测过热矿泉水压强的变化。Р.伊桑库洛夫等在1976年5月17日地震前曾观测到乌兹别克加兹利钻孔中水位有明显下降。

5. 地震的某些其它前兆

尚在本世纪初就曾发现太阳活动与地震有联系。曾查明，地震扰动主要发生在太阳活动衰减时期。

在30年代末期皮埃尔、贝尔纳根据大约30年实际观测材料编制了太阳活动性与地震活动性曲线，并且指出：它们非常相似，而太阳活动性大约早于微震活动性两年。

И.鲁索曾编制出地震与太阳活动关系图，并查明：最大的地震几乎同太阳最小的活动相符。

А.И.瑟京斯基用太阳活动变化引起的大气扰动来解释太阳活动与地震活动的联系。太阳活动性变化引起了大气中已形成的运动秩序的破坏，并导致大气物质沿地球的再分配，以及因此使地球外形遭到破坏。他认为大气的这种扰动也是产生最强震的原因之一。

可以认为：太阳活动的非均衡性导致了地球运动的异常和地震活动，这已确定无疑。因此，可以把太阳的活动性用作强震前兆。

1974年В.А.希罗科夫曾查明：堪察加、千岛群岛及日本东北部几乎所有强震均发生在具有18.6年周期的月球潮汐固定的相位中。利用这一规律性，他曾判断过堪察加可能发生强烈地震的年份。В.А.希罗科夫得到了堪察加活动的持续时间是3年，在此时期出现大于7级地震的可能性大致等于0.8；而平静时期在同样的持续时间内大于7级地震出现的可能性大致等于0.1。

苏联研究者Я.Г.比尔弗利德和А.В.塔兰采夫最先确定了地震对于电离圈的影响。电离圈对于由地震引起的声波影响特别敏感，因此Я.Г.比尔弗利德建议利用电离层的这种效应来预报地震状态的变化，因为地球很小的运动也能在电离层中增大若干个等级。曾查明，通常在地震前22，20，2—5小时电离层扰动增加，在地震前12—14，1小时反而减少。可是，在大多数情况下地震时的扰动猛烈地增长。因此，电离层扰动可被用作强震前兆。由太阳与月球引力引起的潮汐对海洋和大陆均有影响。潮汐波的高程在海洋区达15m，而在大陆上

昼夜可能升降若干个厘米。

苏联科学家对于某些地区在不同深度、不同区段和不同方向潮汐应力的测定,以及把这些应力变化同发震时间进行的对比很有意义,可以把它们当作地震前兆,和看作认识潮汐力的基础。

Г.П.塔姆拉兹扬研究了1891—1976年 $M \geq 7.9$ 级强震与日月潮汐力的联系。根据他编制的所有地震区太阴日的地震能量曲线发现:所有大陆及其边缘最大的地震能量出现在月球位于地平线附近的时间和月球自地平线向天顶运动的3—4小时。

Г.П.塔姆拉兹扬试图揭示亚美尼亚地震与宇宙条件的关系。为此,他曾研究过亚美尼亚 $K \geq 11$ 级强震在时间和空间上的分布,结果发现:这些地震主要受月球影响。平时时亚美尼亚强震数量明显增多。

在预报地震的方法中,可把热应力分布特点及聚集机制的确定作为其它可能的因素。为此,在苏联和日本进行了地震孕育时期地球热力场变化特征的测定。

在地壳中以单个的剪切、断裂破坏方式出现的地声也是早已被阐明的,可用作地震前兆的预报途径之一。这些声音或噪声可用敏感的声接受器收到。

意大利科学家企图用这种方法预报火山喷发,而美国科学家企图用这种方法预报地震。但是,他们都未能取得满意的结果。

作为强震前兆,可否利用在所有地震前出现的预振动——前震,它们在主震前若干天,有时若干年开始出现。加尔姆、喀尔巴阡及其它试验场的地震动态研究表明:在 $M \geq 5$ 级强震前震中区进入“暂时平静”状态。在其它地区也有类似情况。

从地震活动频率也可得到强震孕育的珍贵信息。强震孕育期,运动的高频振幅与低频振幅比值发生明显变化,即在平静时期主要记录到低频组分的弱震,而在强震孕育阶段,低频组分明显减少,高频组分明显增加。强震带中地震活动频率的这种变化在未来 $K = 12—13$ 级地震前3—4个月开始出现。

6. 地震预报途径

强烈的或破坏性地震的预报是有重大国民经济意义的现代科学难题之一。

许多科学家曾作过预报强烈地震的尝试。在这个意义上Г.贝尼奥夫提出的伴随地震或由地震引起的反映弹性应变释放的时间相关图解是最著名的。同时,应变释放的能量在下式中得到反映:

$$E^{1/2} = \varepsilon C \quad (1)$$

这里 $C = \left(\frac{1}{2} \mu V\right)^{1/2}$, V ——岩石体积, μ ——岩石的弹性模量。

为了预报地震,日本科学家楚鲍依曾提出利用有时间进程的地震总能量变化图解。为此,他曾根据日本及其周围地区100年间的强震,编制了地震总能量 ΣE 分析图。根据楚鲍依的观点,这个图解自上而下严格地受两个斜线限制。它们之间沿垂线的距离适应该地区可能有的最大地震的能量。对于任何时刻来说,可以根据这个图解来确定可能出现在日本及其周围的最大地震。

А.Г.纳札罗夫用固态变形体相似的理论研究了预报地震问题。他假设地壳是均匀物质填充的半空间,并引入了几何相似因素 α 和研究了两个力学相似的局部情况。

第一种情况,原物和模型的材料服从于应力和应变相同的关系,其中包括模型和原物的

弹性模量相等，而模型的重力加速度低于原物重力加速度 α 倍。这时，时间范围和震源几何特点就有了线性规模，模型的震源线性规模大于原物相应值 α 倍。

在第二种情况下，原物和模型的材料服从于那种应力、应变关系，即它们的应力对于模型来说比原物应力大 α 倍，而模型和原物的应变相等。在这种情况下，模型的弹性模量大于原物弹性模量 α 倍。模型和原物的重力加速度相同。同时，模型的时间范围大于原物时间范围 $\sqrt{\alpha}$ 倍。模型的震源几何尺寸也象第一种情况那样大于原物几何尺寸的 α 倍。

A.Γ.纳札罗夫指出：在第一种情况下，地壳中可能存在小尺度的震源，与这种震源相对应的地震称第一类地震。

在第二种情况下，地壳中可能有小尺度震源存在，称这种地震为第二类地震。第一类地震的加速度与震源线性长度呈反比，而第二类地震的加速度不受震源大小的支配。

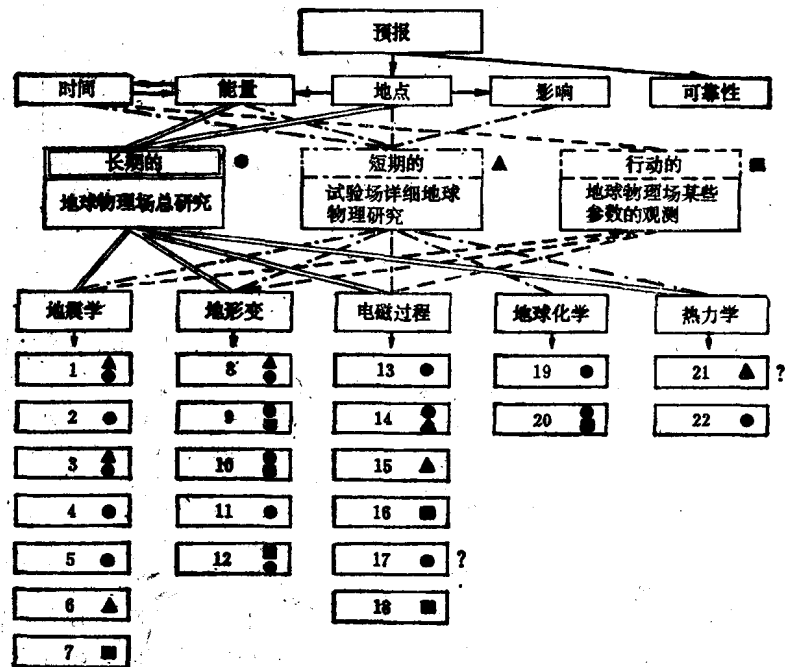


图1 预报观测总图

用符号表示需要检验的方法：

1. 空间状态 (X, y, H, t, E); 2. $v_p/v_s, A_s/A_p$; 3. 震源机制; 4. 震源应力降; 5. 频率分析; 6. 声发射; 7. 声学; 8. 大地测量、水准测量、三角测量; 9. 地倾斜; 10. 地应变; 11. 钻孔和泉的涌水量; 12. 层间压力; 13. 大地电流; 14. 在多变和稳定河流中的探测; 15. 磁异常; 16. 差异磁的观测; 17. 泉水电流; 18. 大气电流; 19. 岩石吸附气体, 氢, 氨, CO_2 , 汞; 20. 泉和钻孔中水化学成分, 氢, CO_2 , 等; 21. 钻孔中热流; 22. 泉水温度状态

根据H.B.谢巴林建立的长周期运动时间与震源大小，以及震级与震源长度之间的关系，A.Γ.纳札罗夫确定了从前兆出现至发生地震的时间段对于震级或断裂长度的相关性，根据它们可以预报地震。

苏联最早的地震预报规划在1948年阿什哈巴德地震后立即着手编制；日本和美国的地震预报规划从1962年开始编制。

实践证明：地震预报问题只有当组织地震学家、地质学家、地球物理学家、化学家、气象学家及大气物理学家和生物学家等进行综合研究时，才有可能顺利解决。

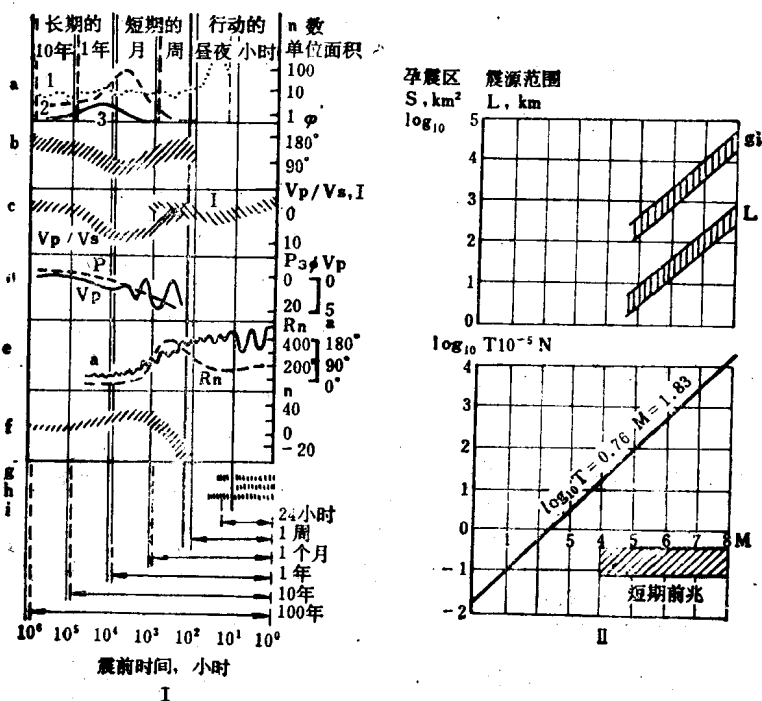


图2 取决于时间的预测信号的特点 (I) 及其相关性: 震源大小 L 、孕震范围 S 、前兆显示时间 T 对震级的相关性 (I')

- a. 地震状态: 1. 非常弱的地震 $M < 1$; 2. 弱震 $M = 1.5 - 2$; 3. 中等地震 $M = 3 - 4$; b. 应力轴方位角变化;
c. 1-纵波与横波波速比及大地电阻变化; d. 电阻和纵波速度对人工源的相关; e. 地倾斜和泉水中氡含量;
f. 水准测量; g. 生物异常行为; h. 大气发光; i. 超声波

插图 I 下部图示的阴影部分表示有短临前兆

在地球深处及未来地震震源区进行直接观测的可能性是解决这项任务的主要困难。

因此, 只能用间接方法来观测地壳状态, 这种方法是根据某些强震前出现的一系列前兆, 如纵波和横波传播速度变化、磁扰动、大地和大气的电现象、地电场扰动、重力异常变化、地壳形变和倾斜的明显变化、潜水及矿泉水水位的明显变化、前震及生物异常等确定孕震过程的模型。

图 1 是 M. A. 萨多夫斯基和 И. Л. 涅尔谢索夫提出的预报观测的总体图解。在这个示意图上提供了进行长期、短期预报以及预报行动所必须的全部观测组合。长期预报时间从 1—10 年, 短期预报时间 1—6 个月, 短临预报时间从若干小时至 1—2 天。他们还拟定出在每种预报中所必须的全部可能的预防措施。

在图 2 中承袭了 M. A. 萨多夫斯基和 И. Л. 涅尔谢索夫的工作, 根据加尔姆试验场的资料提供了地震前的信号模式和前兆显示时间与震级关系的平均值。也是在该示意图上给出了在不同震级条件下地震震源的大致范围, 以及在那里有可能出现相应地震前兆的区域。在该示意图上, 将全部地震预报划分成 3 个阶段。

根据加尔姆-杜尚别试验场的观测, M. A. 萨多夫斯基及 И. Л. 涅尔谢索夫曾指出根据前兆综合预报强烈地震的可能性。他们对 1976 年 9 月 $M = 5.2$ 级和 1977 年 12 月 $M = 5.0$ 级地震前加尔姆地区地球物理场的变化特点进行了详细分析。当时, 纵波与横波的比值是长期前兆,

形变速度及视电阻率变化和地震的“暂时平静”是短期前兆，磁场变化及1976年地震的前震和地倾斜，地形变的速率变化，以及1977年12月地震前大气中的电信号是短临前兆。

在М.А.萨多夫斯基及И.Л.涅尔谢索夫的研究结果中，认为长期前兆（弹性波速度）提供了“空”区（即可能发生地震区域）的一般紧急状况，而地倾斜、地形变及大气电流的迅速变化，提供了发震时刻足够精确的数据。

1976年和1977年加尔姆地震证明：地震预报不是孤立的事。过去许多地震的预报是根据这种或那种地球物理量的变化。1979年2月14日曾根据库纳施尔岛钻孔水位和岩石电阻率变化作过强震预报，事过6天刚好在日本北海道东南岸附近发生了震中区烈度为10度的地震（按12级地震表）。

为了及时记录伴随强震的重复振动系列，应该直接在震中区组织地球物理学，地震学及工程地震学综合流动观测和对断层的地震动力学进行详细研究。

为了研究地震前的动物行为应建立生物地震网，进行高精度大地测量、重力、电法及其它动态观测；研究地震动态，编制一系列详细的裂隙构造、最新构造、线性构造及断裂构造图。还可根据所得资料的综合分析并考虑到震源机制编制地震危险性图，进行地震预报。

主要参考文献