

两种新参数在银川—河套和祁连山—六盘山 地震带地震预报中的应用研究

金春华, 张文孝, 任雪梅, 马文娟

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川 750001)

摘要:采用极值理论求得岗贝尔分布 b 值, 可以克服目前广泛使用的求 b 值的方法对资料要求高的弱点。根据中强地震发生前小震出现偏离泊松分布的现象, 构造泊松分布符合度 Y_n 值。将这两种参数具体应用于银川—河套地震带和祁连山—六盘山地震带进行预测检验。结果表明在两个区域岗贝尔分布 b 值和泊松分布符合度 Y_n 值对中强地震映震效果均较好。

关键词: 岗贝尔分布; 泊松分布符合度; 地震预报

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)02-0141-05

Study on Application of Two New Parameters to Earthquake Prediction in Yinchuan—Hetao and Qilian Mt. —Liupan Mt. Seismic Belts

JIN Chun-hua, ZHANG Wen-xiao, REN Xue-mei, MA Wen-juan

(Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract: Using the extreme value theory, b -value conforming to Gumbel distribution is calculated to replace normal b -value method, which needs higher quality data. According to the phenomenon that seismicity diverging Poisson distribution before moderate-strong earthquake, Poisson distribution coincident degree Y_n -value is given. The new parameters then are applied in Yinchuan—Hetao and Qilian Mt. —Liupan Mt. seismic belts for prediction test. The result shows that the b -value and Y_n -value are correlated well with moderate-strong earthquakes.

Key words: Gumbel distribution; Coincident degree of Poisson distribution; Earthquake prediction

0 引言

在一般情况下地震目录样本个数对地震活动性参数的计算起着至关重要的作用。在 G-R 公式中, 计算 b 值就需要大量的统计样本, 否则结果的可靠性就很难保证。如用最大似然法计算 b 值, 要使方差比 b 值小一个数量级就需要 400 条以上的地震目录。不考虑条件得到的 b 值可能包含有资料选用不当而带来的假象, 而得不到正确的结果^[1]。目前中国大陆西部地震监测能力普遍较低, 小震漏记严重, 传统的 b 值计算就存在明显局限性。岗贝尔分布 b 值基于极值理论, 对地震目录的完整性要求低, 只需要每个时段内的最大震级, 因此对监测能力低的西部地区和

历史地震目录进行统计研究有着特殊的优越性^[2]。

地震发生是小概率事件, 且各次地震发生的相关性很小, 可以认为是互相独立的, 故对某一固定地区某震级以上的地震的发生时间可以用泊松分布来描述。在一般情况下这种假设是正确的, 但在中强以上地震发生前常发生小震活动偏离泊松分布的情况, 如小震活动明显增强, 或明显平静, 各次地震出现明显的相依关系等。因此可以构造检验量来统计地震与泊松分布的符合程度, 并将此应用于地震预报。

我们用以上两种新的地震活动性参数对银川—河套和祁连山—六盘山两个地震带进行了预测检

验,以观察其对中强地震的映震效果。

1 新参数方法简介

1.1 岗贝尔分布 b 值

从数学上可以严格证明,当震级—频次关系满足古登堡—李克特公式:

$$\log N = a - bm \quad (1)$$

可以得到最大震级满足岗贝尔 I 型公式^[3](数学推导从略)

$$G(m) = e^{-e^{-\beta(m-\mu)}} \quad (2)$$

这里 M 为震级; β, μ 为待定参数。可以得出 $\beta = \ln 10b, \mu = a/b, \beta > 0, \mu > 0$ 。

计算方法:找出统计区域的月最大震级,认为符合岗贝尔分布,用最小二乘法拟合参数 β 和 μ ,将 $(\beta/\ln 10)$ 作为 b 值的估计值。

1.2 泊松分布符合度 Y_n 值

在时间 $[0, T]$ 内发生的地震数目服从期望为 λT 的泊松分布,即

$$Pr\{N = n\} = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \quad (3)$$

其中 $Pr\{N = n\}$ 代表事件数目为 n 的概率, λ 为 1 间隔内事件出现的平均数。

统计结果表明,在中强以上地震发生前小震活动会偏离泊松分布,因此我们构造统计量

$$X_{\text{实}}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - NP_i)^2}{NP_i} \quad (4)$$

来统计一年中 $M_s \geq 2.0$ 地震与泊松分布的符合程度。其中 NP_i 为符合泊松分布的相应理论频次。

以自由度为 $K-2$ 的 X^2 分布作统计检验:当 $x_{\text{实}}^2 < x_{0.1, k-2}^2$, 取 $Y_n = 0$ 认为符合泊松分布; $x_{0.01, k-2}^2 \leq x_{\text{实}}^2 < x_{0.05, k-2}^2$, 取 $Y_n = 1$ 认为基本符合泊松分布; $x_{0.05, k-2}^2 \leq x_{\text{实}}^2 < x_{0.1, k-2}^2$, 取 $Y_n = 2$ 认为不太符合泊松分布; $x_{0.01, k-2}^2 \leq x_{\text{实}}^2$, 取 $Y_n = 3$ 认为不符合泊松分布。

统计方法为:统计 1 年中每月发生在相应区域中的地震个数 N_i , 求出没有发生地震的月数为 m_0 个,有一个地震发生的月数为 m_1 个, ..., 有 i 个地震发生的月数为 m_i 个,计算参数 λ 等于一年中 $M_s \geq 2.0$ 地震总个数 $\sum N_i$ 除以 12, 含义为地震月发生率。

2 资料的选取

将岗贝尔分布的 b 值和泊松分布符合度 Y_n 值

应用于银川—河套地震带和祁连山—六盘山地震带进行预测检验(图 1)。银川—河套地震带包括银川平原全部及内蒙古河套地区,历史上共记录到 5 级以上地震 36 次,其中 8 级以上地震 1 次(1739 年平罗 8.0 级地震);7.0~7.9 级地震 1 次;6.0~6.9 级地震 8 次;5.0~5.9 级地震 26 次。祁连山—六盘山地震带历史上发生过 10 次 7 级以上大地震,仅 20 世纪以来就先后发生了 1920 年海原 8.5 级、1927 年古浪 8 级和 1932 年昌马 7.6 级 3 次大震。近年来该带中强地震活动频繁,一直被中国地震局圈定为可能会发生强震的危险区之一^[4]。资料采用 1970 年以来 $M_s \geq 2.7$ 以上弱震目录对两种参数进行时间扫描,资料截止时间为 2004 年 5 月 31 日。

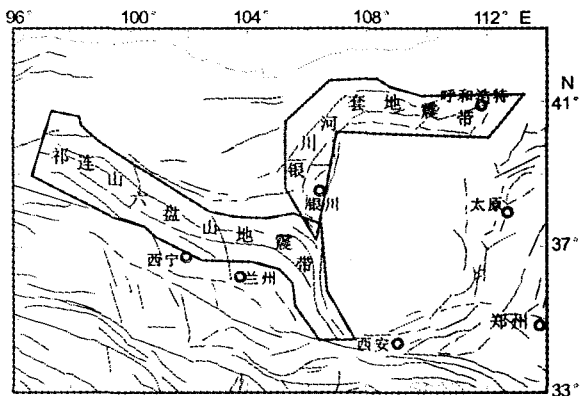


图 1 银川—河套、祁连山—六盘山地震带示意图

Fig. 1 Sketches of Yinchun-Hetao and Qilian Mt. - Liupan Mt. seismic belts.

表 1 1970 年以来宁夏及边邻地区中强地震目录

发震时间	纬度	经度	地点	震级/ M_s	地震带
1970-12-03	35.93°	105.58°	宁夏西吉	5.5	祁连山—六盘山
1971-06-28	37.90°	106.32°	宁夏吴忠	5.1	银川—河套
1976-04-06	40.20°	112.08°	内蒙古和林格尔	6.2	银川—河套
1976-09-23	39.90°	106.40°	内蒙古巴音木仁	6.2	银川—河套
1979-08-25	41.20°	108.10°	内蒙古五原	6.0	银川—河套
1982-04-14	36.71°	105.63°	宁夏海原	5.7	祁连山—六盘山
1983-01-17	40.37°	107.02°	内蒙古磴口	5.1	银川—河套
1984-11-23	38.05°	106.30°	宁夏灵武	5.3	银川—河套
1986-08-26	37.78°	101.63°	青海门源	6.5	祁连山—六盘山
1987-08-10	38.11°	106.42°	宁夏灵武	5.5	银川—河套
1988-01-04	38.07°	106.34°	宁夏灵武	5.5	银川—河套
1988-01-10	38.09°	106.36°	宁夏灵武	5.0	银川—河套
1990-10-20	37.11°	103.72°	甘肃景泰	6.2	祁连山—六盘山
1991-01-13	40.40°	105.60°	内蒙古阿拉善左旗	5.2	银川—河套
1991-06-16	38.90°	105.60°	内蒙古阿拉善左旗	5.0	银川—河套
1991-09-14	40.20°	105.50°	内蒙古阿拉善左旗	5.1	银川—河套
1993-10-26	38.60°	98.68°	青海祁连	6.0	祁连山—六盘山
1995-07-22	36.50°	103.00°	甘肃永登	5.8	祁连山—六盘山
1996-05-03	40.80°	109.60°	内蒙古包头	6.4	银川—河套
1997-10-21	41.20°	107.10°	内蒙古乌拉特后旗	5.0	银川—河套
2000-06-06	37.10°	104.00°	甘肃景泰	5.9	祁连山—六盘山
2002-12-14	39.80°	97.30°	甘肃玉门	5.9	祁连山—六盘山
2003-10-25	38.40°	101.20°	甘肃民乐—山丹	6.1	祁连山—六盘山

表 1 列出银川—河套地震带 5.0 级以上地震;对祁连山—六盘山地震带,由于 5.0 级以上地震发生频繁,我们只研究 5.5 级以上地震。其中 1987—1988 年灵武发生的 3 个地震和 1991 年阿拉善左旗发生的 3 个地震因时间相隔较近,在分析时作为一次地震事件考虑。

3 两种新参数的应用检验

3.1 银川—河套地震带检验情况

图 2(a) 为 1970 年以来银川—河套地震带岗贝尔分布 b 值时序曲线,反复推敲曲线,发现把 $b \leq 0.58$ 定为异常,映震效果最好。可以看到,在研究区 10 次 5 级以上地震中除 1987、1988 年宁夏灵武 3 次 5 级以上和 1996 年包头 6.4 级地震外,其余 8 次地震前均有低值异常出现。1999 年和 2003 年出现的异常没有对应地震。

图 2(b) 为 1970 年以来银川—河套地震带泊松分布符合度 Y_n 值时间扫描曲线,规定 $Y_n = 3$ 值为异常。除 1984 年灵武 5.3 级地震、1987、1988 年宁夏灵武 3 次 5 级以上、1991 年内蒙古阿拉善左旗 3 次

5 级以上地震和 1997 年乌拉特前旗 5.0 级地震外,其它 6 次地震前均有异常出现,地震发生在异常开始恢复时或恢复后。2002 年出现的异常没有对应地震。

两种参数在 1971 年吴忠 5.1 级、1976 年内蒙古和林格尔 6.2 级、1976 年巴音木仁 6.2 级、1979 年内蒙古五原 6.0、1983 年内蒙古磴口 5.1 前均有较好的反映,在 1984 年灵武 5.3 级、1991 年内蒙古阿拉善左旗 3 次 5 级以上、1996 年内蒙古包头 6.4 级和 1997 年内蒙古乌拉特前旗地震均只有 1 项参数出现了异常,1987、1988 年灵武 3 次 5 级以上地震前 2 项参数均没有出现异常。

在预报能力检验和评分中,规定从异常开始到结束后 1 年内发生预报震级地震为报对;没有发生相应震级的地震为虚报;在地震前 1 年内没有异常出现为漏报。据此标准岗贝尔分布 b 值在研究区 10 次地震中报对 8 次,漏报 2 次,虚报 1 次,其中 2003—2004 年出现的异常预报尚未到期。若用同一目录、窗长和步长,对最小二乘法计算求得的 b 值用同一

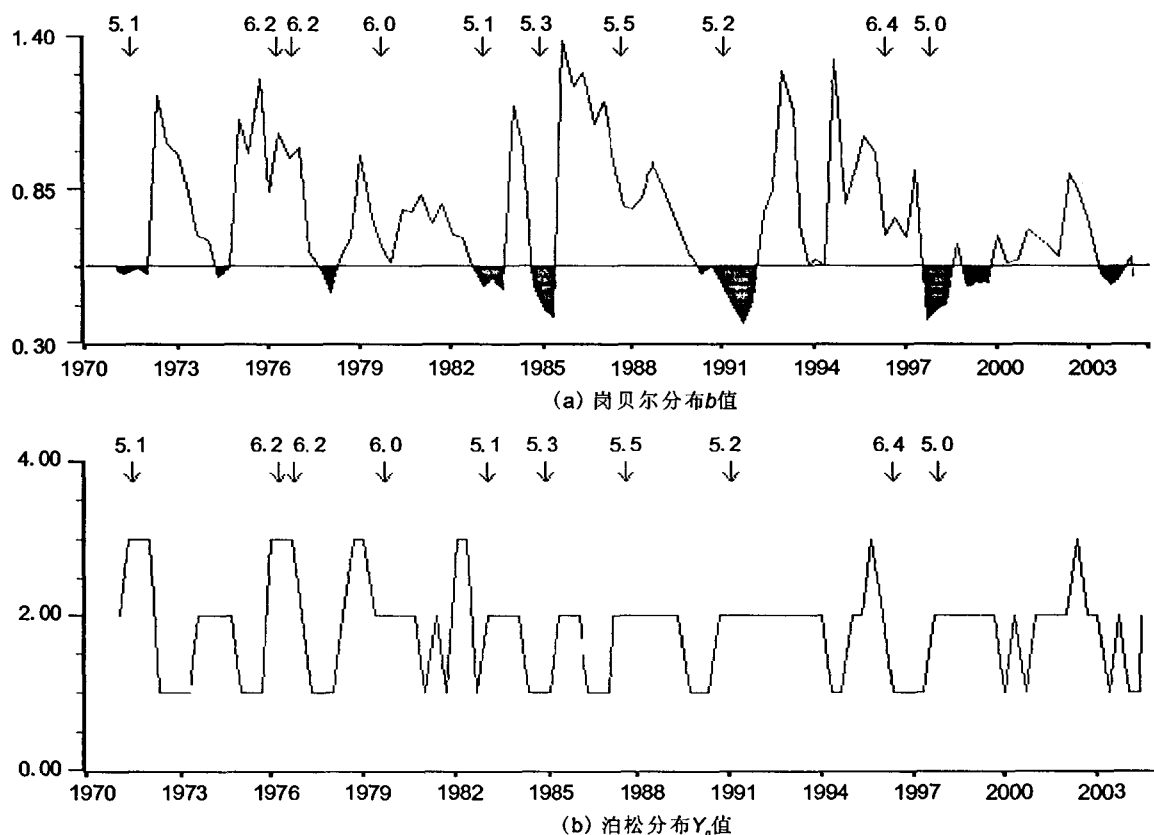


图 2 银川—河套地震带岗贝尔分布 b 值和泊松分布 Y_n 值时序曲线

Fig. 2 Curves of b -value conforming to Gumbel distribution and coincident degree Y_n -value of poisson distribution for Yinchun-Hetao seismic belt.

标准来衡量,则 10 中只有 6 次出现了异常,而有 2 次虚报。泊松分布符合度 Y_n 值在研究区 10 次地震中报对 6 次,漏报 4 次,虚报 1 次。预报研究总时间为 412 个月,岗贝尔分布 b 值预报占用时间为 140 个月,泊松符合度 Y_n 值预报占用时间为 48 个月。根据

$$R = c - b$$

$$= \frac{\text{报对地震次数}}{\text{应报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}^{[5]}}{\text{预报研究的总时间}},$$

两种参数的 R 值评分分别为:0.46 和 0.47。

3.2 祁连山—六盘山地震带检验情况

1970 年以来的祁连山—六盘山地震带岗贝尔分布 b 值时序曲线见图 3(a),仔细分析曲线后把 b

≤ 0.58 定为异常。由图可见该区 9 次地震除 1970 年宁夏西吉 5.5 级地震受资料所限,1996 年永登地震和 2003 年甘肃民乐—山丹 6.1 级地震外,其余震前均出现明显的低值异常,地震均发生在低值后上升时。1996—1997 年异常没有对应地震。

1970 年以来的祁连山—六盘山地震带泊松分布符合度 Y_n 值时间扫描曲线见图 3(b),规定 Y_n 值 $= 3$ 为异常。可以看出 9 次地震前有 8 次有较好的反映,1990 年甘肃景泰 6.2 级地震异常出现在地震后。该参数 1975、1996—1997 年出现的异常没有对应地震。

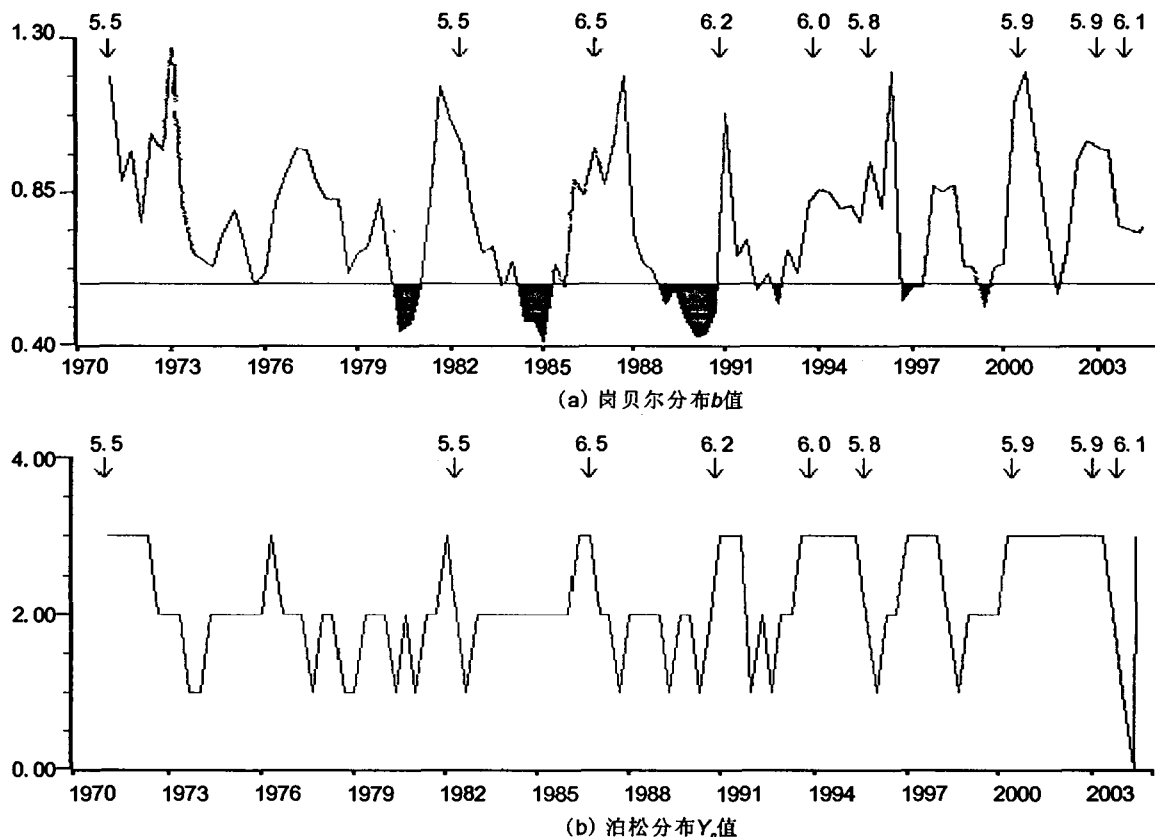


图 3 祁连山—六盘山地震带岗贝尔分布 b 值和泊松分布符合度 Y_n 值时序曲线

Fig. 3 Curves of b -value conforming to Gumbel distribution and coincident degree Y_n -value of poisson distribution for Qilian Mt.-Liupan Mt. seismic belt.

在研究区 9 次 5.5 级以上地震前有 6 次 2 项参数均出现了异常,3 次仅 1 项参数出现了异常。用同一标准进行预报评分,岗贝尔分布 b 值对在祁连山—六盘山地震带 9 次中强地震中报对 6 次,漏报 3 次,虚报 1 次。若用同一目录、窗长和步长,对最小二乘法计算求得的 b 值用同一标准来衡量,则 9 次地震

中亦有 6 次出现了异常,但出现虚报 3 次,仅 1980—1995 年出现异常 6 次,最长一次持续时间近 3 年,恢复后紧接着又出现了异常^[4],这给异常判别带来了极大的困难。岗贝尔分布 b 值仅在地震前出现异常,虚报率低,优于用最小二乘法计算求得的 b 值。泊松分布符合度 Y_n 值在 9 次中强地震中报对 8 次,漏报

1次,虚报3次,其中2004年出现的异常预报尚未到期。预报研究总时间为412个月,岗贝尔分布 b 值预报占用时间为80个月,其 R 值评分为0.47;泊松分布符合度 Y_n 值预报占用时间为132个月,其 R 值评分为0.56。

4 两种参数的不确定性探讨与结论

如同其它参数一样,岗贝尔分布 b 值和泊松分布符合度 Y_n 值在扫描中存在不确定性:岗贝尔分布 b 值缩短扫描窗长会出现异常次数增加,异常时间缩短,虚报率提高;增加窗长则会出现异常次数少,异常持续时间长的弊病。泊松分布符合度 Y_n 值在缩短窗长后异常出现率降低,异常时间缩短;加大窗长则会出现大面值异常,很难将异常和发生的地震相对应。

尽管这两种新参数还存在一定的不确定性,还需在实践中进一步检验和完善,但从我们将其应用

于银川—河套地震带5级以上地震前和祁连山—六盘山地震带5.5级以上地震前进行预报检验的结果来看,两种参数在两个地震带均通过检验,对强地震的映震效果较好,显示了应用前景。

[参考文献]

- [1] 邵辉成,李炳乾,赵卫明,等.强震前大小地震比例关系及在地震预报中的应用[J].地震,2003,23(4):37-42.
- [2] 时振梁,张少泉,等.地震工作手册[M].北京:地震出版社,1990.342-354.
- [3] 复旦大学数学系.概率论与数理统计[M].上海:上海科技出版社,1964.334-344.
- [4] 柴炳章,马禾青,金春华.祁连山—六盘山地震带中强地震活动特点及震前异常特征[J].西北地震学报,2003,25(4):354-358.
- [5] 梅世蓉,冯德益,等著.中国地震预报概论[M].北京:地震出版社,1993.

(上接127页)

[References]

- [1] Savarensky E F. Seismic waves[M]. Moscow: Nedra, 1972. 293. (in Russian).
- [2] Recommendations on seismic microzoning for engineering surveys[Z]. Moscow: Stroiizdat, 1985. 73. (in Russian).
- [3] Dzhurik V I, Drennov A F, Basov A D. Prediction of seismic effects in terms of cryolite zone[M]. Novosibirsk: SO RAN Publ. House, 2000. 272. (in Russian).
- [4] Riznichenko, Yu V, ed. Small earthquakes[M]. Moscow: IL, 1961. 300. (in Russian).
- [5] Dzhurik V I, Drennov A F. Influence of the deep-seated and near-surface inhomogeneities on dynamics of seismic signals[J]. Geol. Geophys., 1991, 10: 115-122 (in Russian).
- [6] Dzhurik V I, Drennov A F, Basov A D. Influence of regular and irregular inhomogeneities of the earth's crust on dynamics of seismic signals[J]. Volcanology and seismology, 2002, 4: 44-56 (in Russian).
- [7] Pavlov O V, Drennov A F, Drennova N N, et al. Analysis of seismic ground motions[M]. Novosibirsk: Nauka, 1983. 97. (in Russian).
- [8] Drennov A F. Statistical characteristics of seismic wave fields[J]. Geol. Geophys., 1987, 9: 99-109 (in Russian).
- [9] Isakovich M A. General acoustics[M]. Moscow: Nauka, 1973. 495. (in Russian).
- [10] Jenkins G M, Watts D G. Spectral analysis and its applications[M]. Moscow: Mir, 1972. 273. (in Russian).
- [11] Bendat J S, Pirsol A G. Random data: analysis and measurement procedures[M]. Moscow: Mir, 1984. 463. (in Russian).
- [12] Pavlov O V. Interpretation of seismic survey data. Reference book. Moscow: Nedra, 1990. 448 (in Russian).
- [13] Pavlov O V, Rogozhina V A. Seismic microzoning. [Z]. 1984. 236. (in Russian).
- [14] Gurvich I I, Nomokonov V P. Seismic survey. Reference book for the geophysicist[M]. Moscow: Nedra, 1981. 464. (in Russian).