

ОПЫТ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРЕДВЕСТНИКАМ И ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Щекотов А.Ю.², Чебров В.Н.¹, Берсенёва Н.Ю.¹, Смирнов А.А.²

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, *chebr@emsd.ru, nata@emsd.ru*

² Институт Физики Земли РАН, г. Москва, *sasha.schekotov@gmail.com*

Введение

Дискуссия по поводу возможности краткосрочного прогноза землетрясений, начавшаяся десятилетия назад, продолжается и в настоящее время, несмотря на обнаружение большого числа предвестников и а posteriori статистически доказанной их эффективности. Сегодня ясно, что разрешить этот спор может только эксперимент по прогнозу землетрясений, проведённый в реальном времени.

Землетрясение является комплексом разнообразных процессов в мантии и коре и процесс его подготовки находит отражение в различных параметрах геофизических полей в виде аномалий. Но не всегда даже самый эффективный предвестник сопровождается землетрясением, как и не перед каждым землетрясением он обнаруживается. Существует ряд методов для оценки эффективности предвестников, основанных на их статистических характеристиках. Один из них применен в данной работе.

С целью получения ответа на вопрос о возможности краткосрочного прогноза в декабре 2014 г. сотрудниками Института Физики Земли (ИФЗ) РАН и Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН был начат эксперимент по краткосрочному прогнозу землетрясений в Камчатской сейсмофокальной зоне с помощью данных трехкомпонентного индукционного магнитометра, установленного на комплексной геофизической обсерватории (КГО) «Карымшина». В качестве предвестников использовались два явления в магнитном поле, возникающие перед землетрясениями [2-4]:

- депрессия (уменьшение) вариаций поля на частотах 0.01-0.1 Гц,
- излучение на частотах от 1 до 30 и более Гц.

В работе так же использовались оперативные данные регионального сейсмического каталога КФ ГС РАН.

Одной из основных задач эксперимента на данном этапе являлась оптимизация алгоритма обработки. В настоящей статье будут рассмотрены методика исследования, обработка и полученные результаты, а также будет предпринята попытка их объяснения.

С марта 2015 г. еженедельно, при необходимости чаще, прогноз о сейсмической опасности в Камчатском регионе предоставлялся для рассмотрения в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (КФ РЭС).

Методика эксперимента

В соответствие с ранее разработанными методиками, представленными в статьях [2-4] с декабря 2014 г. начался эксперимент по выявлению признаков подготовки сильного землетрясения в Камчатском сейсмоактивном регионе по данным индукционного магнитометра, установленного на КГО «Карымшина».

Трёхкомпонентный индукционный магнитометр включает в себя три датчика, горизонтальные Н и D, ориентированные вдоль магнитного меридиана и перпендикулярно к нему соответственно, и Z, регистрирующий вертикальную компоненту поля. Подробное описание системы геомагнитных наблюдений приведено в работе [1]. Ежедневно целые суточные файлы трёх компонент геомагнитного поля передаются в КФ ГС РАН и ИФЗ РАН и обрабатываются совместно с оперативными данными локального сейсмического каталога КФ ГС РАН (<http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/>).

Исследовалась эффективность двух типов электромагнитных предвестников:

- УНЧ депрессии – уменьшения амплитуды вариаций поля в полосе 0.01-0.1 Гц.
- УНЧ-КНЧ излучения на частотах 1-30 Гц.

Обработка данных заключалась в анализе эволюции характеристик геомагнитного поля в окрестности землетрясений с локальной магнитудой $M_L > 5$. Эти события показаны на карте региона, представленной на рис. 1

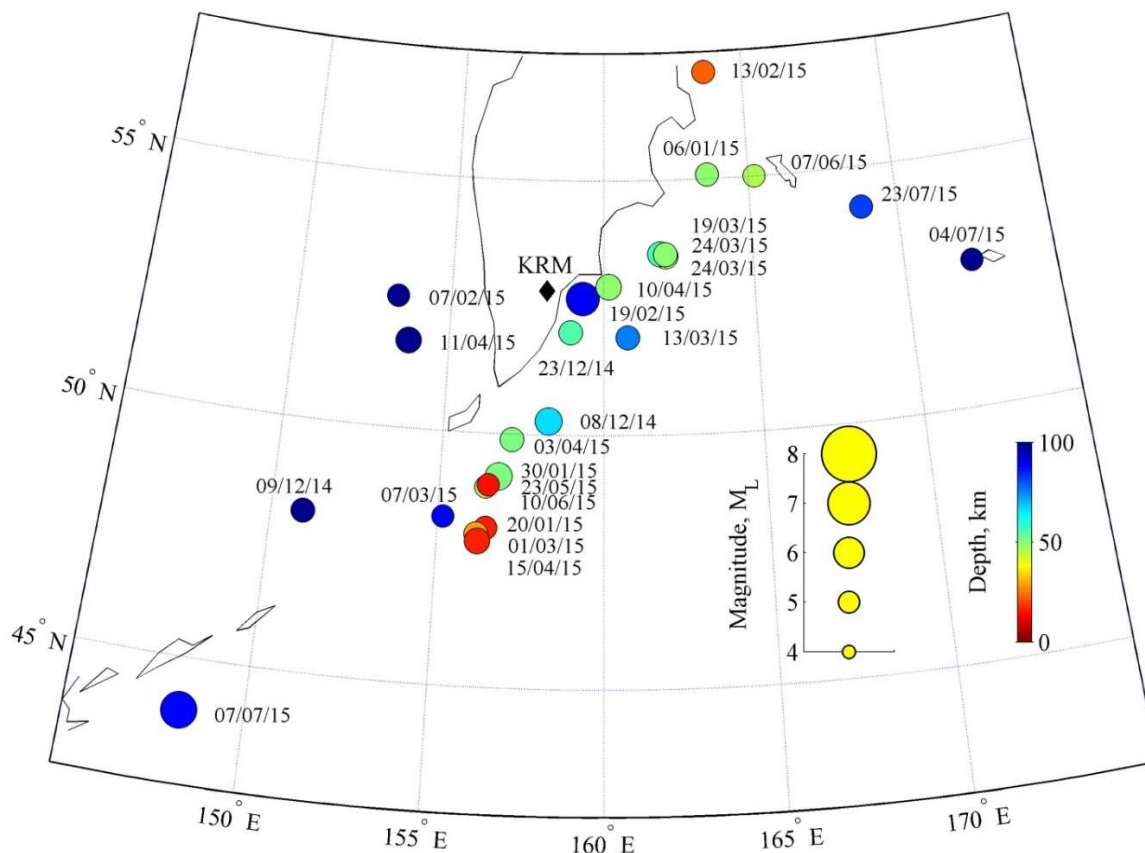


Рис. 1. Землетрясения с $M_L > 5$, которые произошли с 05.12.2014 по 31.07.2015. Ромбом обозначена КГО «Карымщина».

В течение эксперимента ежедневно вычислялись и совместно анализировались следующие параметры:

- Индекс локальной сейсмичности [2]

$$K_{LS} = \frac{10^{0.75M}}{10(R+100)},$$

где M – магнитуда землетрясения, R – расстояние до эпицентра.

- Депрессия поля

$$Dep = \frac{1}{S_H},$$

где S_H – спектр H -компоненты геомагнитного поля в диапазоне частот 0.01 - 0.1 Гц.

- Характеристика излучения [3]

$$\Delta S = \frac{\left(\frac{P_{tt}}{P_{rr}} - 1 \right)}{rms(\tan(\beta))}$$

где P_{tt} , P_{rr} – тангенциальная и радиальная компоненты. В знаменателе дисперсия эллиптичности.

- Азимут источника излучения [4]

$$\alpha = 180 - \theta, \quad \tan(2\theta) = \frac{2A_d A_h}{A_d^2 - A_h^2} \cos(\varphi_h - \varphi_d)$$

- Плотность потока импульсов, превышающих заданный порог N

На основе анализа перечисленных выше параметров, с марта 2015 г. еженедельно, при необходимости чаще, в КФ РЭС предоставлялся прогноз о сейсмической опасности в Камчатском регионе.

Результаты

На рис. 2. показана эволюция сейсмичности, которая представлена индексом локальной сейсмичности K_{LS} и показана на верхней панели. Эволюция депрессии показана на второй панели, а эволюция излучения представлена характеристикой излучения ΔS и показана на нижней панели. Отсюда видно, что характеристика излучения ΔS слабо связана с локальной сейсмичностью для большинства событий, а депрессия достаточно хорошо с ней коррелирует. Пунктирными красными линиями отмечены землетрясения, перед которыми наблюдалась депрессия.

На рис. 3 показана зависимость депрессии от логарифма коэффициента локальной сейсмичности, а значит и от магнитуды и класса землетрясения. Видно, что эта зависимость приблизительно линейная. Это даёт возможность оценки величины события по величине предшествующей ему депрессии.

На рис. 4 и рис. 5 показана эволюция предвестников перед землетрясением с $M_L=6.2$ в течение недели и 4-х недель соответственно. Депрессия появляется за ~10 дней и достигает максимума одновременно с ΔS за 5 дней до события. Наибольшая мода в азимутальных распределениях наблюдается за день до события и направлена примерно на эпицентр будущего землетрясения.

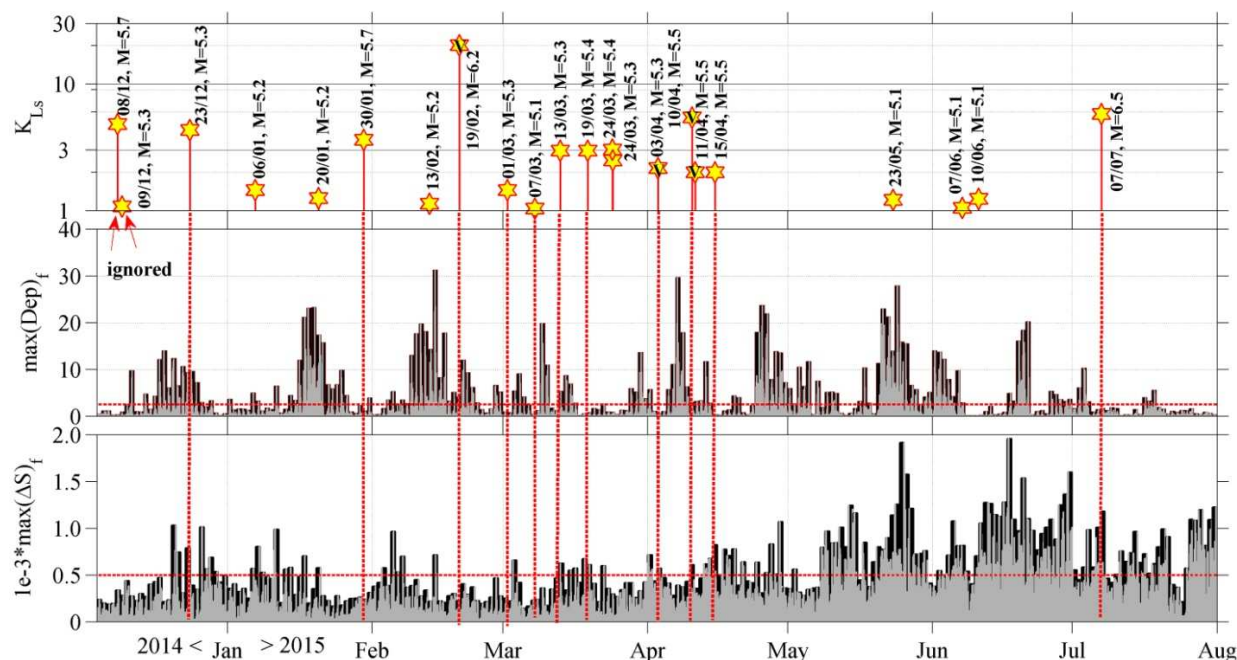


Рис. 2. Эволюция характеристик геомагнитного поля и сейсмичности в период с 05.12.2014 по 31.07.2015. На верхней панели представлен индекс локальной сейсмичности K_{LS} , на средней - значение максимальной суточной депрессии поля Dep_f , на третьей - максимального суточного значения характеристики излучения ΔS .

Эффективность депрессии в качестве предвестника подтверждена статистикой по методике, представленной в работе [5]. Рассчитаны следующие параметры:

$$PG = [Te / (TaNA)](NS/NE),$$

где Te – полное время наблюдений, Ta – время ожидания события после предвестника, NA – количество предвестников, NS – количество успешных прогнозов, NE – количество землетрясений с выбранными параметрами на интервале наблюдения.

Предвестник считается эффективным, если параметр $PG > 1$

В нашем случае:

$$Te=240; Ta=7; Ne=20; Na=15; NS=12;$$

Рассчитанная величина $PG=1.4$ свидетельствует об эффективности депрессии как предвестника для прогноза времени землетрясений.

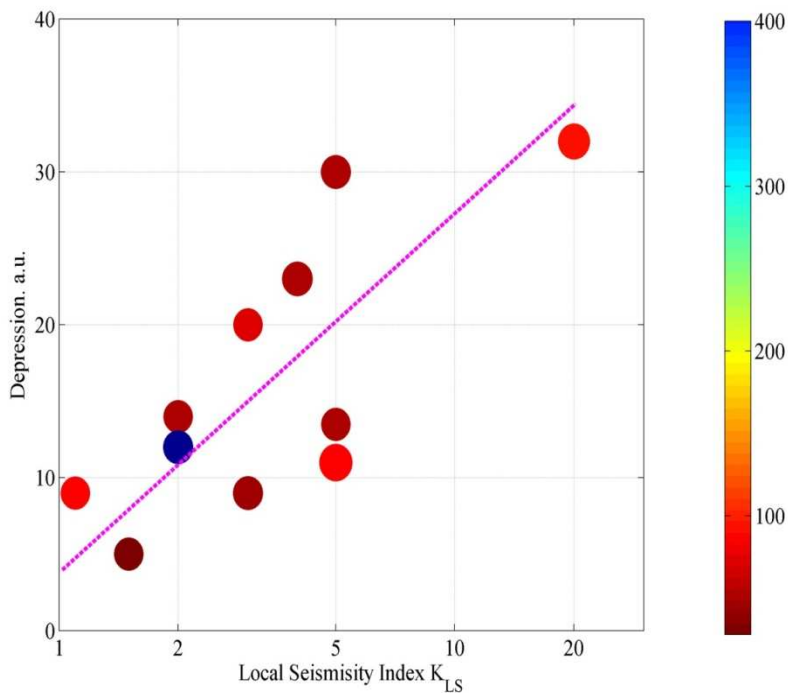


Рис.3. Зависимость депрессии от логарифма индекса локальной сейсмичности для землетрясений с $K_{LS} > 1$. Землетрясения отмечены кружками, цвет которых зависит от глубины, а размер от магнитуды, которая в данном случае меняется в пределах 5.1-6.5

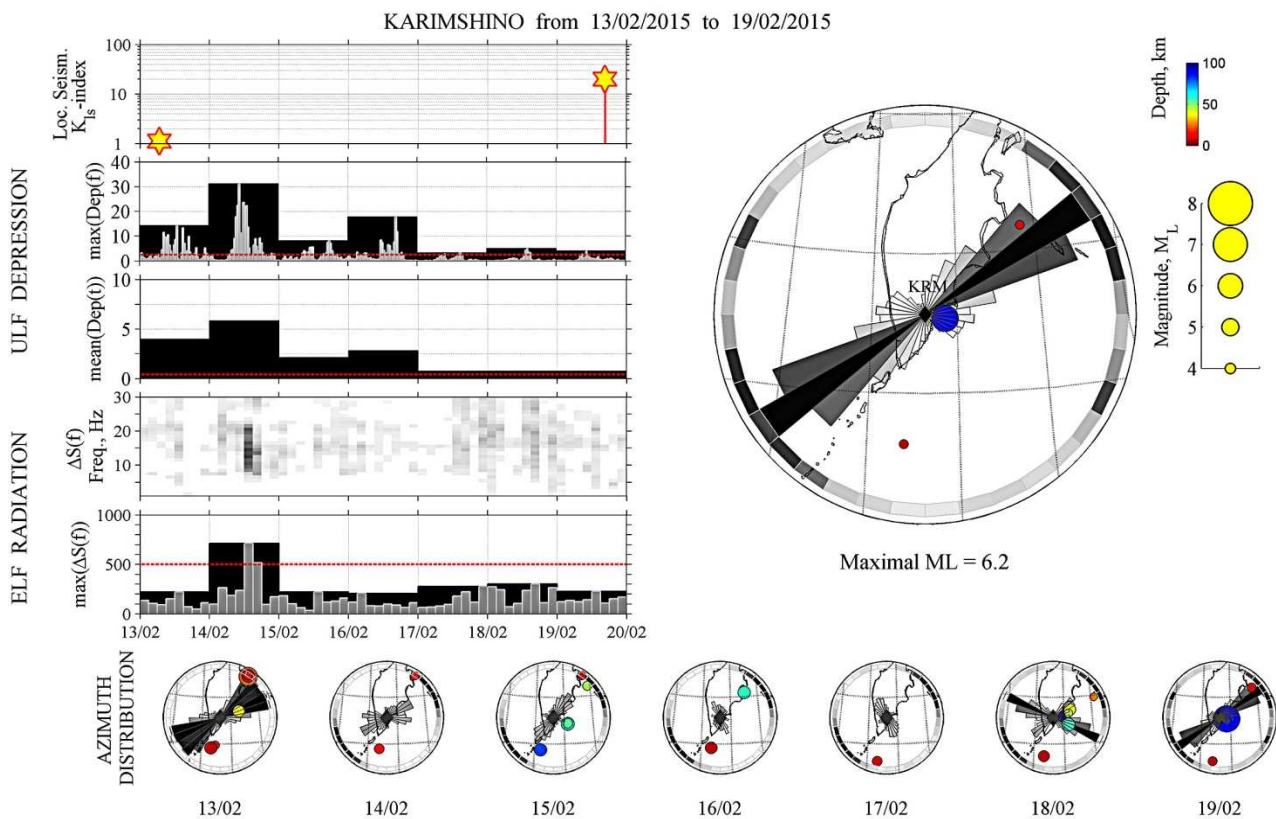


Рис. 4. Эволюция предвестников в течение недели перед землетрясением с магнитудой $M_L=6.2$ 19.02.2015 г. На верхней панели – индекс локальной сейсмичности. Далее, максимальная и среднесуточная депрессии. На двух нижних панелях – спектр и максимальные суточные значения характеристики излучения ΔS . Эволюция азимутальных распределений показана на семи нижних панелях, для последнего дня – на большой круглой панели справа.

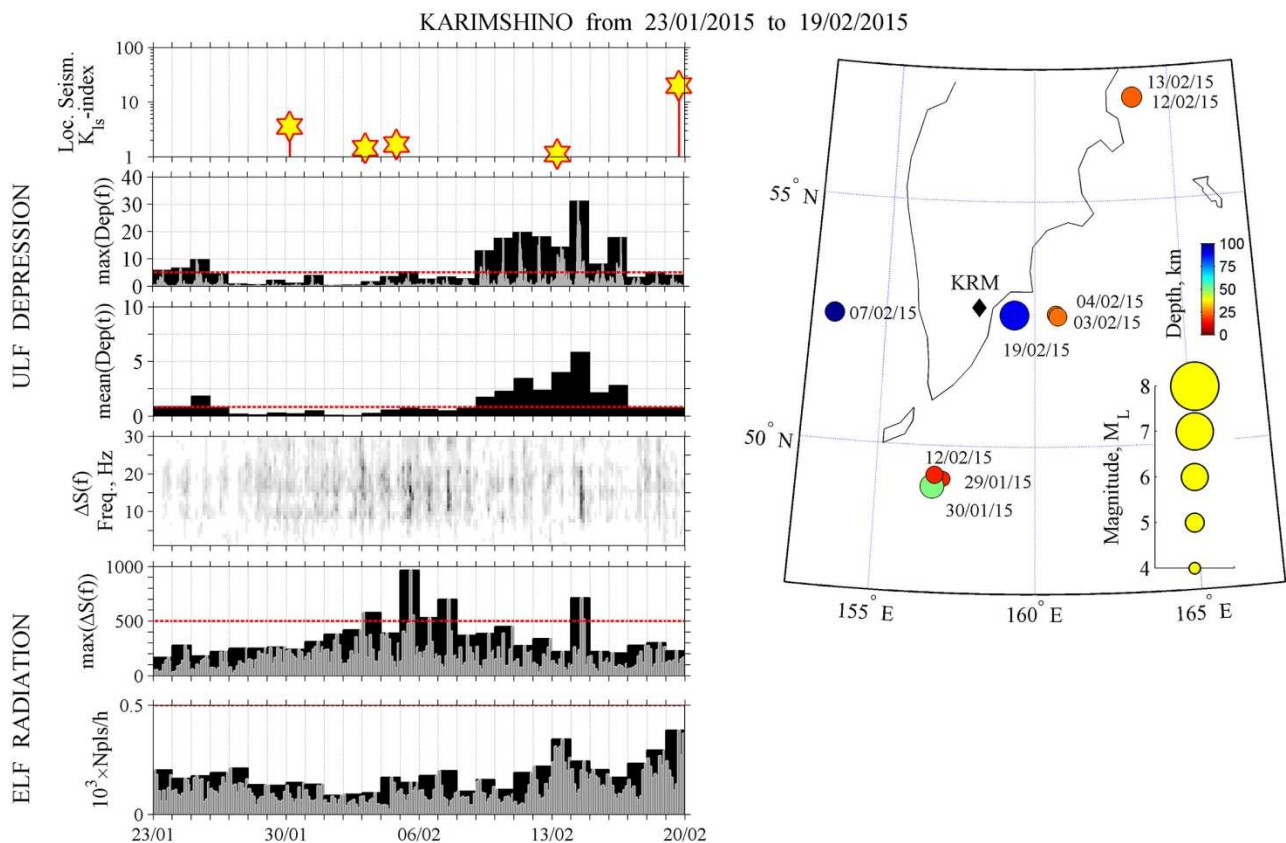


Рис. 5. Эволюции предвестников в течении 4-х недель перед землетрясением с магнитудой $M_L=6.2$ 19.02.2015 г. На верхней панели – индекс локальной сейсмичности. Далее, максимальная и среднесуточная депрессии. На 4-й и 5-й панелях – спектр и максимальные суточные значения характеристики излучения ΔS . Эволюция плотности потока импульсов показана на нижней панели, карта региона с землетрясениями - справа. Горизонтальные пунктирные линии отражают фоновые значения характеристик.

Обсуждение результатов и выводы

На основе апостериорного анализа подтверждена эффективность депрессии в качестве предвестника. Её возникновение, возможно, связано с извержением нейтральных газов в процессе подготовки землетрясений, что, в свою очередь, возбуждает гравитационные волны, которые изменяют свойства ионосферы, как источника излучения или как поглощающей среды для магнитосферных источников.

Излучение менее эффективно в качестве предвестника, т.к. оно в летние месяцы маскируется грозовой активностью. Само же излучение, возможно, связано с извержением радона, который способствует изменению свойств атмосферы, косвенно провоцируя локальные атмосферные разряды. Не исключено появление спрайтов, т.к. это излучение иногда наблюдается на больших расстояниях.

Попытка реального прогноза с документальным его оформлением, была предпринята с середины февраля до конца июля. Из пятнадцати землетрясений на этом интервале с магнитудой не менее 5, для четырёх (они помечены на рис. 2 знаком “V” на маркерах-звёздочках землетрясений) было предсказано время события, даны грубые оценки величины и направления на эпицентр.

Список литературы

1. Берсенёва Н.Ю. Автоматизация обработки данных геомагнитных наблюдений на КГО «Карымшина», Камчатка // Исследования в области наук о Земле. Матер. XII региональной молодежная научн. конф. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В. Беринга, 2014. С. 85-94.
2. Schekotov A., Molchanov O., Hattori K., et al. Seismo-Ionospheric Depression of the ULF Geomagnetic Fluctuations at Kamchatka and Japan // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2006. №31. P. 313-318.
3. Schekotov A., Molchanov O., Hayakawa M. et al. ULF/ELF magnetic field variations from atmosphere induced by seismicity // *Radio Science*. 2007. №42. doi:10.1029/2005RS003441.
4. Schekotov A., Molchanov O., Chebrov V. et al. About possibility to locate an EQ epicenter using parameters of ELF/ULF preseismic emission // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2008. №8. P. 1237-1242.
5. Console, R. Testing forecast earthquake hypotheses // *Tectonophysics*. 2001. №338. P. 261-268.