

СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ГЦСК

В работе рассмотрена возможность создания системы мониторинга сейсмической обстановки на территории Украины и соседних государств с использованием комплекса геофизических наблюдений Главного центра специального контроля НКАУ. Вводится понятие системного предвестника землетрясения, которое позволит увязать последовательность возмущений контролируемых физических полей в единый геофизический процесс, идентифицировать сходное во времени поведение аномалий различной природы, как подготовку сейсмического события в ближней зоне, и оценить его прогнозные параметры – место, время, магнитуду.

Ключевые слова: землетрясение; магнитуда; сейсмическая опасность; прогноз землетрясений; мониторинг сейсмической обстановки; геофизические поля; системный предвестник землетрясения.

Введение

Землетрясения являются одной из наиболее опасных природных катастроф, они уносят десятки и сотни тысяч человеческих жизней, вызывают опустошительные разрушения на огромных территориях.

Землетрясения угрожают и Украине: землетрясения Карпатской зоны Вранча в 1940, 1977, 1986 и 1990 годах с глубокофокусными гипоцентрами ощущались на всей территории страны. В 1986 году сила толчков в городах Одессе, Болграде, Измаиле достигали 6–7 баллов, в Киеве – 4–5 балла [Чекунов и др., 1992]. В 1927 году в Крыму дважды в течении трех месяцев происходили толчки силой 8 баллов.

Землетрясения продолжают происходить на территории Украины как вследствие многовековых тектонических процессов, так и в результате техногенной деятельности. К последним можно отнести землетрясения в Кривом Роге в 1999, 2001, 2007 и 2010 годах.

Сейсмическая опасность в мире растет с каждым годом. Это связано с освоением сейсмоактивных территорий и воздействием человека на литосферную оболочку Земли – строительство крупных гидротехнических сооружений, добыча полезных ископаемых и т.п. Кроме этого, существуют факторы вторичной опасности, которые относятся к техногенному риску. На сейсмоопасных территориях находится ряд объектов, необходимых для нормальной жизнедеятельности, но представляющих реальную опасность для населения в случае сильного землетрясения. Это, в первую очередь, атомные электростанции, нарушения технологических процессов на которых могут привести к экологическим катастрофам регионального масштаба, это и топливозапасники, линии электропередач, газопроводы и т.д.

В связи с этим предпринимаются большие усилия в изучении природы землетрясений для их прогноза.

В соответствии с Постановлениями Кабинета Министров Украины № 728 от 1995 года и № 699 от 1997 года в Украине создается Национальная система сейсмических наблюдений (НССН), которая в свою очередь является составной частью Правительственной информационно – аналитической сис-

темы по вопросам чрезвычайных ситуаций. Одной из основных задач НССН, элементом которой является Главный центр специального контроля (ГЦСК) Национального космического агентства Украины (НКАУ) является прогноз землетрясений по результатам проведения комплексного анализа данных геофизических наблюдений [Негода, 1999].

В соответствии с Программой функционирования НССН и повышения безопасности проживания населения в сейсмоопасных регионах предусматривается проведение комплекса мероприятий по созданию и развитию специальной системы геофизических наблюдений, разработка методики прогноза землетрясений, переоснащение средств наблюдения унифицированным цифровым оборудованием, современными телекоммуникационными и программно-технологическими средствами ведения баз данных и обработки геофизической информации.

Применение цифровой регистрации и создание информационно-аналитической системы сбора, обработки и анализа геофизической информации даст возможность перейти на качественно новый уровень проведения мониторинга геофизических полей, а также расширить возможности систем специального контроля в целом, в том числе подойти вплотную к решению задач контроля и прогноза сейсмической обстановки в ближней зоне на основе комплексного анализа геофизической информации, и создать на базе информационной системы Главного центра подсистему контроля и диагностики сейсмической обстановки на территории Украины и сопредельных государств.

Анализ исследований и публикаций, посвященных исследованию данной проблемы

Вопросы, связанные с прогнозом землетрясений, широко освещены в отечественной и зарубежной литературе [Рикитаке, 1979; Садовский, 1987; Агамирзоев и др., 1976; Ассада, 1984; Габриэлов и др. 1986]. Однако, эти работы посвящены либо отдельным предвестникам землетрясений, либо рассматривают ряд предвестников, не привязывая их к единой системе геофизических наблюдений. В связи с этим целью данной работы является рассмотрение возможности создания контрольно-диагностической подсистемы мониторинга сейсмической

обстановки в ближней зоне ($\Delta < 1000$ км) на базе системы геофизических наблюдений ГЦСК НАУ.

Изложение основного материала

Мониторинг геофизических полей в ГЦСК осуществляется техническими средствами радиотехнического, сейсмического, инфразвукового, магнитного и радиоизотопного методов обнаружения. Каждый метод обнаружения предназначен для контроля геофизической обстановки в определённой физической среде Земли. Сеть геофизических наблюдений ГЦСК приведена на рис. 1.

Следует отметить, что результаты измерения состояния геофизических полей являются основой информационной базы ГЦСК, поэтому существует возможность использования имеющейся измерительной сети ГЦСК в качестве информационного сегмента подсистемы прогноза землетрясений и оценки сейсмической опасности. В этом случае специфика получаемой системой контроля измерительной информации даст возможность открыть новые грани процессов подготовки землетрясений, осуществлять мониторинг и диагностику состояния сейсмических очагов.

Каждый метод обнаружения, реализованный в ГЦСК, сам по себе отражает в некоторой мере определенный этап развития физического процесса подготовки сейсмического события. Оценить же весь процесс в целом, а также дать прогноз сейсмического события возможно только лишь в

случае комплексного применения методов геофизического мониторинга.

Достоверность информации о сейсмической обстановке в ближней зоне будет зависеть от количества используемых геофизических методов, развитости сети наблюдений, а также качества проведения комплексной обработки и анализа получаемой информации.

Большинство геофизических эффектов, предвещающих землетрясения, связано с развитием дилатансии [Рикитаке, 1979; Ассада, 1984], когда напряжения в земной коре создают деформации, близкие к предельным. Земная кора разрывается не мгновенно (рис. 2), и этому предшествуют различного рода изменения свойств среды. Основные черты теории дилатансии можно резюмировать следующим образом. Под действием тектонических напряжений, вызванных движением плит или другими причинами, в горных породах, слагающих земную кору, при превышении напряжениями некоторого предела возникает дилатансия – лавинное образование микротрещин. Этим определяется различие характеристик поведения предвестниковых эффектов. Так, скорость сейсмической волны V_p возвращается к своему прежнему уровню перед главным толчком; первоначальное значение электросопротивления ρ не восстанавливается вплоть до момента землетрясения; эмиссия радона не уменьшается, пока не произойдет сейсмическое событие и т.д. [Рикитаке, 1979].



Рис. 1. Система геофизических наблюдений ГЦСК

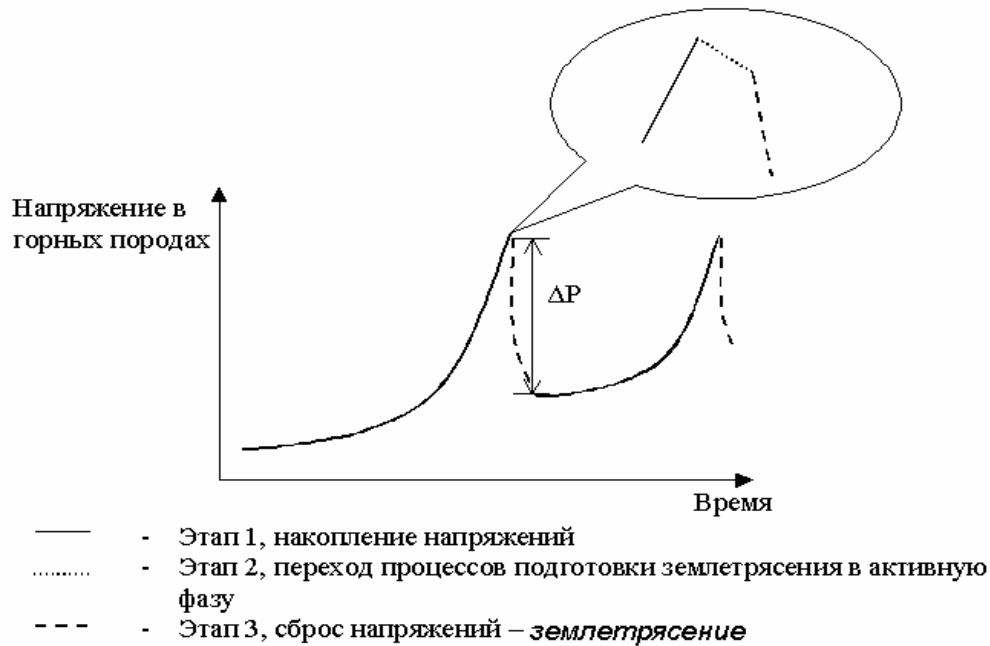


Рис. 2. Этапы подготовки землетрясения

Величина скачка напряжений ΔP (рис. 2) пропорциональна энергии землетрясения:

$$E \sim \Delta P. \quad (1)$$

В свою очередь, известно [Садовский, 1987] что энергия E , высвобождаемая при землетрясении, связана с его магнитудой M следующим образом:

$$\ln E = 1,5 M + 11,8, \quad (2)$$

где E – в эргах.

Именно на выделении средствами обнаружения реакции возмущения геофизических полей, соответствующих второму этапу (рис. 2), и осно-

ван физический подход к построению контрольно-диагностической подсистемы мониторинга сейсмической обстановки, реализованной на информационной базе центра специального контроля.

Исходя из состава методов наблюдений и характерных особенностей аномальных эффектов в геофизических полях, соответствующих переходу процессов подготовки землетрясения в активную фазу [Агамирзоев и др., 1976; Ассада, 1984], можно сформировать общую модель предвестника, или так называемый системный предвестник для комплекса геофизических наблюдений ГЦСК (рис. 3).

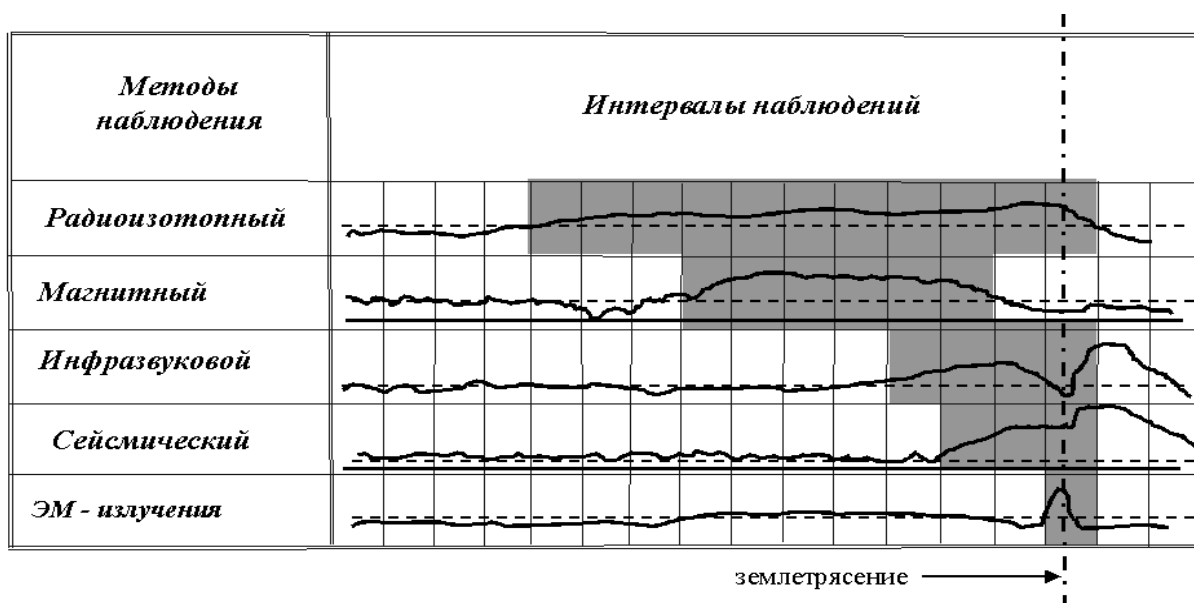


Рис. 3. Общая модель предвестника для измерительной системы ГЦСК

Указанная последовательность возмущений геофизических полей, регистрируемая средствами обнаружения, позволит, во-первых, увязать их к единому геофизическому источнику и, во-вторых, идентифицировать подобное распределение во времени аномалий различной природы, как подготовку сейсмического события в ближней зоне.

Пространственно-временные характеристики аномальных возмущений контролируемых физических полей, связанных с переходом процессов подготовки сейсмических событий в активную фазу, позволяют разделить предвестники на два типа:

- предвестники, у которых информационный параметр возвращается к своему обычному значению непосредственно перед землетрясением (предвестник типа P_1);
- предвестники, информационный параметр которых принимает обычное значение после землетрясения (предвестник типа P_2).

Условие, когда значение одного параметра возвращается к нормальному состоянию, а возмущения физических полей другого типа только начинаются, может служить признаком, по которому возможно проведение оценки времени землетрясения [Рикитаке, 1979; Ассада, 1984].

С другой стороны, пространственно-временные характеристики предвестников будут зависеть от энергетического класса готовящегося землетрясения.

Для предвестников первого типа (P_1) наблюдается линейная зависимость между логарифмом длительности по времени T аномалии контролируемого параметра и магнитудой землетрясения M (рис. 4):

$$M \sim \ln T. \quad (3)$$

Так для предвестника, связанного с изменением отношения скоростей сейсмических волн V_p/V_s , выражение (3) имеет вид

$$\ln T = 0,76 M - 1,83, \quad (4)$$

где T измеряется в сутках.

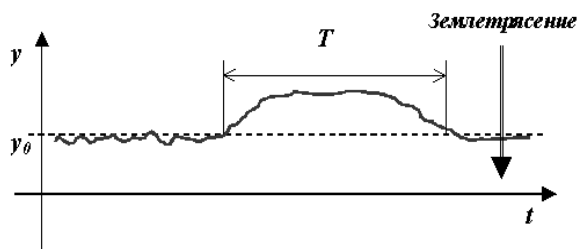


Рис. 4. Изменение во времени контролируемого параметра, связанного с предвестником землетрясения. Продолжительность аномальных возмущений зависит от энергетического класса готовящегося землетрясения

Для предвестников второго типа (P_2) магнитуду будущего землетрясения можно оценивать по размерам области, в которой наблюдается предвестник (рис. 5) [Рикитаке, 1979].

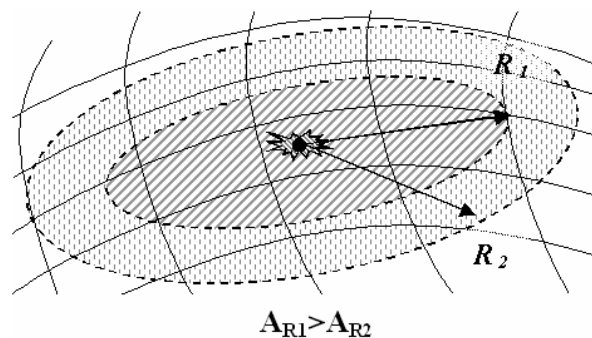


Рис. 5. Зависимость пространственной протяженности зоны проявления предвестника от магнитуды сейсмического события

Например, для деформационного предвестника зависимость между средним радиусом области наблюдения аномальных движений земной коры R , который связан с готовящимся землетрясением, и его магнитудой имеет следующий вид [Рикитаке, 1979; Соболев, Тюпкин, 1996]:

$$M = 1,96 \times \lg R + 4,45. \quad (5)$$

Решение об энергетическом классе прогнозируемого землетрясения должно приниматься на основе комплексного анализа пространственно-временных характеристик всех предвестниковых эффектов:

$$M = \begin{cases} F(R_1, R_2, \dots, R_K), \\ \Phi(T_1, T_2, \dots, T_N), \end{cases} \quad (6)$$

где N – число предвестников первого типа, K – число предвестников второго типа.

Общая модель предвестника, или системный предвестник позволит выделить активную фазу подготовки землетрясений в ближней зоне как при проведении прогностических наблюдений отдельным пунктом наблюдения, так и системой специального контроля в целом.

В зависимости от состава средств наблюдения, состояния системы контроля в целом, от сейсмоактивного района, в котором началась активная фаза сейсмического процесса, а также энергетического класса готовящегося землетрясения, на основе общей модели предвестника можно сформировать частные модели.

На рис. 6 представлены варианты частных моделей предвестников землетрясений для сети наблюдений в зависимости от сейсмоактивного района (САР), в котором процесс подготовки землетрясения переходит в активную фазу.

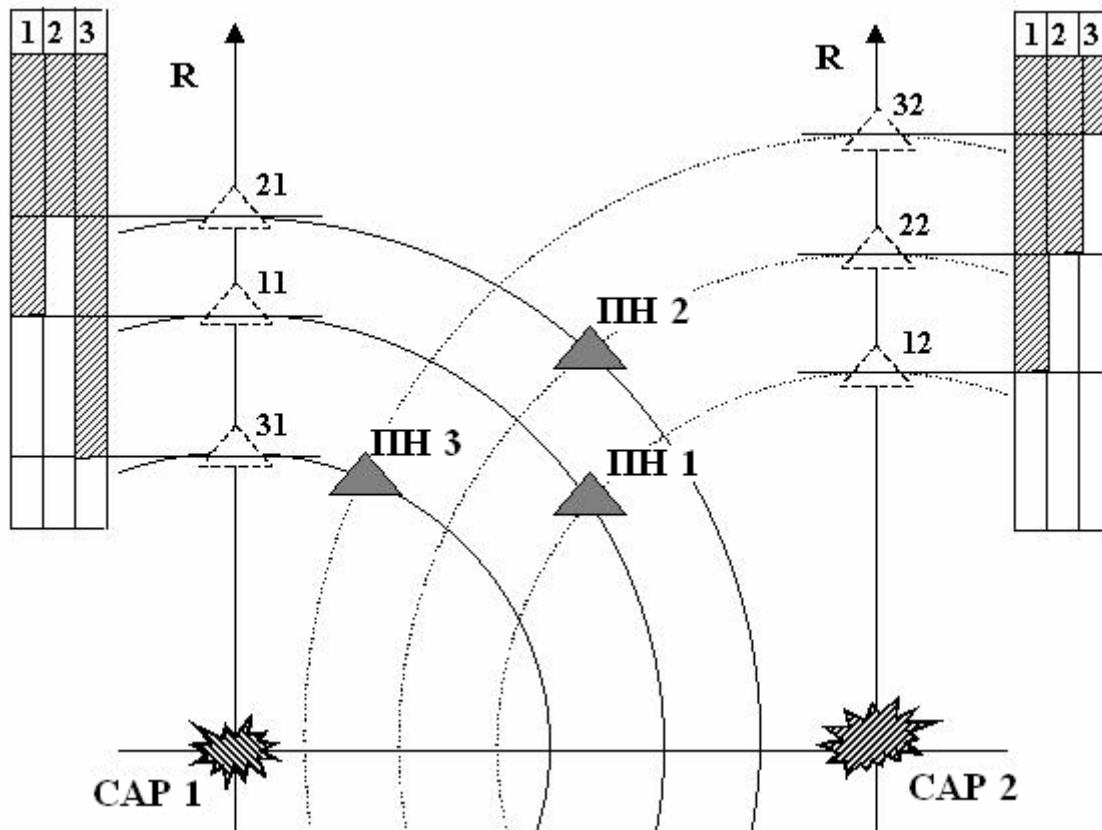


Рис. 6. Частые модели предвестников землетрясений для сети наблюдений

Можно предположить, что в силу идентичности тектонических процессов, происходящих в конкретных очаговых зонах (сжатие, разрыв, сдвиг), характер предвестниковых аномалий будет повторяться, а следовательно будет повторяться общий характер последовательности возмущения в соответствующих физических полях. При этом он будет обладать достаточными признаками для идентификации активизированной очаговой зоны, а также для оценки местоположения готовящегося очага, или хотя бы района, в котором процессы подготовки землетрясения перешли в активную фазу.

Выводы:

1. Сформированная на базе информационной системы центра специального контроля контрольно-диагностическая подсистема мониторинга сейсмической обстановки в ближней зоне позволит проводить сейсмопрогностический мониторинг территории Украины и сопредельных государств, при этом не снижая эффективности выполнения других задач специального контроля.
2. Комплексный анализ данных всех методов наблюдений позволит выделить этап перехода процессов подготовки сейсмических событий в активную фазу, а также провести предварительную оценку параметров готовящегося землетрясения – местоположение очага, энергия и время.
3. Для повышения достоверности результатов наблюдений необходимо формирование “галереи” частных моделей предвестников для всех сейсмо-

активных районов в ближней зоне, а также уточнение параметров, определяющих зависимость между характеристиками регистрируемых возмущений контролируемых геофизических полей и параметрами готовящегося землетрясения (местоположение очаговой зоны, глубина и магнитуда).

Литература

Агамирзоев Р.А. Золотовицкая Т.А., Исмаил-Заде Т.А. и др. Поиски предвестников землетрясений в Азербайджане // Поиски предвестников землетрясений. – Ташкент: ФАН, 1976. – С. 213.

Ассада Т. Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии. – М.: Недра, 1984. – 312 с.

Габриэлов А.М. и др. Долгосрочный прогноз землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – 125 с.

Негода О.О. Космічне право України. Збірник нормативно-правових актів та міжнародних документів. – К.: Видавничий дім “Ін Юре”, 1999. – 264 с.

Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 390 с.

Садовский М.А. Поиск геофизических предвестников землетрясений на Кавказе. – Тбилиси: Мецниереба, 1987. – 242 с.

Соболев Г.А, Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1996. – № 4. – С. 64–74.

Чекунов А.В., Кутас В.В., Харитонов О.М. Сейсмичность Киева / Геологич. журн. – 1992. – № 2. – С. 24–33.

**СЕЙСМОПРОГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ
НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ГЦСК**

Ю.О. Гордієнко, Ю.А. Андрущенко, О.І. Солонець

У роботі розглянута можливість створення системи моніторингу сейсмічної обстановки на території України та сусідніх держав з використанням комплексу геофізичних спостережень Головного центру спеціального контролю НКАУ. Вводиться поняття системного провісника землетрусу, яке уможливить ув'язати послідовність збурень контрольованих фізичних полів у єдиний геофізичний процес, ідентифікувати подібну в часі поведінку аномалій різної природи як підготовку землетрусу в ближній зоні та оцінити його прогностичні параметри – місце, час, магнітуду.

Ключові слова: землетрус; магнітуда; сейсмічна небезпека; прогноз землетрусів; моніторинг сейсмічної обстановки; геофізичні поля; системний провісник землетрусу.

**SEISMOPROGNOSTIC MONITORING
ON THE BASIS OF GEOPHYSICAL SUPERVISIONS SYSTEM OF MCSC**

Yu.O. Gordienko, Yu.A. Andruschenko, A.I. Solonec

In the article the possibility of creation of seismic situation monitoring system on territory of Ukraine and adjacent countries by using of complex of geophysical system of the Main center of special monitoring of NSAU is considered. It is entered the concept of system precursor of earthquake which will allow to correlate the sequence of disturbances of controlled physical fields to unique geophysical process and to identify the similar in time behavior of anomalies of various nature as preparation of the seismic event in the near area and to estimate his prognostic parameters – location, time, magnitude.

Key words: earthquake; magnitude; seismic danger; earthquakes prognosis; monitoring of seismic situation; geophysical fields; system precursor of earthquake.