

# СИНЕРГЕТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЙСМОКАТАСТРОФ

Оморов Р.О., Омуралиев М.  
Институт теоретической и прикладной математики НАН КР,  
Институт сейсмологии НАН КР,  
Кыргызская Республика, E-mail: romano\_ip@list.ru

В последние 20 – 30 лет огромный интерес многих ученых во всем мире вызывает изучение явлений и систем самой различной физической природы с позиций новой бурно развивающейся науки – синергетики [1-8]. Синергетика определяется как область науки, занимающаяся изучением явлений самоорганизации и самоорганизующихся систем самой различной природы. Синергетика таким образом является междисциплинарной наукой рассматривающей системы и явления с точки зрения идентичности математических описаний и свойств процессов происходящих в этих системах и явлениях.

Общность заключается в том, что в этих нелинейных и открытых системах и явлениях происходят неравновесные фазовые переходы, свойственные самоорганизующимся диссипативным явлениям и системам (структур). Движущей силой самоорганизации диссипативных структур является стремление открытых систем при нестационарных процессах к снижению процесса энтропии. Спонтанное образование диссипативных структур, предопределяя нарушение симметрии, возможно только в открытых системах, обменивающихся энергией веществом и информацией с окружающей средой [1,4,9,10]. Самоорганизующиеся структуры обладают свойством фрактальности, т.е. геометрически они могут быть оценены фрактальной (дробной) размерностью с помощью теории фракталов [1,4].

Одним из интересных явлений в синергетических системах, вызывающих значительное внимание исследователей в различных областях науки, служат так называемые «странные аттракторы», представляющие притягивающие многообразия в фазовом пространстве с хаотическим поведением (хаосом) траекторий в этих многообразиях [1-4]. Исследования странных аттракторов вызывает интерес и потому, что многие ученые видят в изучении этого феномена ключ к разгадке тайн природы турбулентности и хаоса в различных естественных и искусственных явлениях [4].

Исследования многих ученых в последние десятилетия показали, что науки о Земле также могут быть развиты на основе принципов и методологии синергетики [1 –16]. Земные сферы: мантия, литосфера, гидросфера, биосфера, атмосфера, ионосфера, магнитосфера Земли и т.д. являются открытыми нелинейными динамическими системами, которые обмениваются между собой и космосом веществом, энергией и информацией.

В данной работе рассматриваются возможности использование метода топологической грубости [17] для прогнозирования землетрясений [18,19].

Метод топологической грубости, разработанный на базе понятия грубости по Андронову – Понтрягину позволяет исследовать грубость и бифуркации синергетических систем различной физической природы. Основы теории и метода топологической грубости заложены в работе [20]. Важнейшей характеристикой метода является возможность единообразной непрерывной оценки грубости (негрубости) как для грубых, так и негрубых явлений и систем, в частности, для динамического хаоса. Метод также позволяет определять бифуркации синергетических систем на основе критериев, разработанных в ряде работ, в частности в работе [21].

Геофизическая среда представляет собой открытую самоорганизующуюся динамическую систему, а геофизические процессы, в том числе сейсмические являются нелинейными процессами [15]. Активные области Земли, в том числе Тянь-Шань и их тектонические структуры находятся и образуются в условиях геодинамической, в частности, напряженно-деформированной неустойчивости. Процесс самоорганизации связан с

возникновением в активной среде, например, сейсмоактивном слое, локализованных диссипативных структур, которые характеризуются нестационарностью, импульсивностью, сложностью и деградацией.

В сейсмических процессах наблюдаются такие типичные структуры самоорганизации как: спиральные волны или ориентированные треугольники; вихри или ориентированные многоугольники; сейсмические «дорожки», которые бывают однонаправленными («цепочками») и поступательно-возвратными («маятниками»); кольцевые сейсмичности (зоны затишья и сейсмические «бреши») и сейсмические рои. Более сложные структуры наблюдаются в полях плотности сейсмогенных разрывах ( $K_{cp}$ ) и суммарной сейсмической энергии.

В этих полях выделяются аномальные и межаномальные области. В поле  $K_{cp}$  аномальные области, разделенные межаномальной областью – «барьером», в целом представляются сплошной структурой, обладающей топологией «кренделя». Эти области после главного толчка и разрушения барьера приобретают топологию «тора», а после проявления главного толчка приобретают топологию «шара». В соответствии с теорией катастроф «торы» имеют 4 сборки, «кренделя» – 8 сборок. Соответственно, область подготовки сильных землетрясений имеет особенность (катастрофу) сборки [22,23].

Процесс формирования аномальных областей, разделенных барьером в поле  $K_{cp}$ , может быть описан при помощи двух управляющих и одного внутреннего параметров.

В качестве управляющих параметров могут быть приняты время ( $t$ ) и параметр плотности сейсмогенных разрывов ( $K_{cp}$ ), а в качестве внутреннего параметра – пространственная координата ( $x$ ).

При представлении на плоскости управляющих параметров по формулам

$$y_1 = K_{cp}^3 + K_{cp} t, y_2 = t, \quad (1)$$

система имеет катастрофу типа «сборка». В момент бифуркации происходит главный толчок сильного землетрясения.

Реконструкция динамики развития аномальных областей и барьера между ними по методике, разработанной в работе [3] по временной последовательности значений  $K_{cp}$  показывает, что размерности фазового пространства и аттрактора аномальных областей и барьера разные. Так, аномальные области Исфара-Баткенского землетрясения (1977 г., с магнитудой  $M = 6.5$ ), Южно-Ферганской сейсмической зоны имели размерности аттрактора  $d = 1.1$  и  $1.4$ , а минимальная размерность фазового пространства  $n = 2$  и  $3$  соответственно в западной и восточной аномальных областях.

В барьере размерность аттрактора составляла  $\alpha = 5.2$ , а минимальная размерность фазового пространства  $n = 9$ , т.е. размерность аттрактора – фрактальная.

Для исследования сейсмических явлений, на основе анализа физических процессов, происходящих в твердом теле, получена математическая модель

$$K_{cp} = \alpha K_{cp}^2 - \beta K_{cp} + \gamma \quad (2)$$

где  $\gamma$  – скорость притока,  $\beta$ ,  $\alpha$  – коэффициенты возникновения (развития) и залечивания (исчезновения) трещин соответственно.

Как альтернативная к модели (2) предложена модель, составленная на основе ретроспективного анализа множества землетрясений, характерных для территории Кыргызстана:

$$\begin{cases} \dot{x} = \alpha (\beta - z) / (4 a_0 x^3 + 3 a_1 x^2 + 2 a_2 x + a_3), \\ \dot{y} = \alpha (\beta - z) / (2 b_0 y + b_1), \\ \dot{z} = \alpha (\beta - z) \end{cases} \quad (3)$$

где  $x, y, z$  – пространственные координаты,  $a_i, i = \overline{0,3}$ ,

$b_0, b_1$  – коэффициенты полиномов знаменателей.

Анализы моделей (2) и (3) проведенные на основе метода топологической грубости и данных ряда землетрясений, произошедших на территории Кыргызстана подтвердили

возможности использования критериев возникновения бифуркаций (катастроф) динамических систем для эффективного прогнозирования места и времени землетрясений. При этом исследования показывают, что точность прогнозирования зависит от шага дискретизации съема сейсмической информации во времени и пространстве.

### Литература

1. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. / Пер. с англ.- М.: Мир, 1985. – 423 с.
2. Синергетика: Сб.статей. Пер. с англ. / Сост. А.И.Рязанов, А.Д.Суханов. Под ред. Б.Б.Кадомова. – М.: Мир, 1984.- 248 с.
3. Николис Г. Пригожин И. Познание сложного: Введение / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 342 с.
4. Странные аттракторы. Сб.пер. с англ. / под ред. Я.Г.Синая, Л.П.Шильникова - М.: Мир, 1981 – 253 с.
5. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории./ Пер. с англ.- М.: Мир, 1999. – 335 с.
6. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. -461с.
7. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.:Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.
8. Оморов Р.О., Омуралиев М., Омуралиева А. Введение к исследованиям синергетических систем геологии, геофизики и геоэкологии // Известия НАН КР, 2005, №3. С. 90-97.
9. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Ком.книга, 2005. – 248 с.
10. Бакиров А.Б. Ноосферология. – Бишкек:2006, – 412 с.
11. Садовский М.А., Лукк А.А., Сидорин А.Я. Сидорин И.А. Проблемы интерпретации временной структуры геофизических полей. – М.: ОИФЗ. РАН, 1993.
12. Садовский М.А., Болховитдинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 100 с.
13. Кейлис – Борок В.И. динамика литосферы и прогноз землетрясений // Природа, 1989, №12. С. 10 -18.
14. Серебряный А.Н. эффекты нелинейности во внутренних волнах на шельфе // Изв. АН. Сер. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. С. 285-293.
15. Оморов Р.О., Мамыров Э.М., Омуралиев М.О., Мамбетов А.А. Прогнозирование землетрясений на основе критериев бифуркации синергетических систем // Вестник Института автоматики.1996, №1. С.155-159.
16. Оморов Р.О., Омуралиев М., Омуралиева А. Введение к исследованиям синергетических систем геологии, геофизики и геоэкологии // Известия НАН КР, 2005, №3. С. 90-97.
17. Оморов Р.О. Метод топологической грубости: Теория и приложения. 1. Теория // Изв.НАН КР, 2009, №3. С.144-148.
18. Оморов Р.О. Прогнозирование землетрясений: синергетический подход// Проблемы автоматики и управления.1997, №1. С. 103-111.
19. Оморов Р.О., Омуралиев М., Омуралиева А. Природно-техногенные землетрясения и синергетические системы геодинамики // В сб. Развитие инженерных методов в геомеханике: оценка, прогноз, контроль (Авершинские чтения). – Бишкек, 2005. С. 16-23.
20. Оморов Р.О. Максимальная грубость динамических систем // А иТ.-1991. №8 с. 36-45.
21. Оморов Р.О. Мера грубости динамических систем и критерии возникновения хаотических колебаний и бифуркаций в синергетических системах.// В межведомствен. сборн. Синтез алгоритмов стабилизации систем. Вып.8. Таганрог. 1992. с.128 – 134.
22. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
23. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – М.: Кн.дом «ЛИБРКОМ», 2009. – 312 с.