

Рис. 5. Прогнозное поведение аттрактора Ресслера реконструированного по координате x (глубина прогноза 30 шагов)

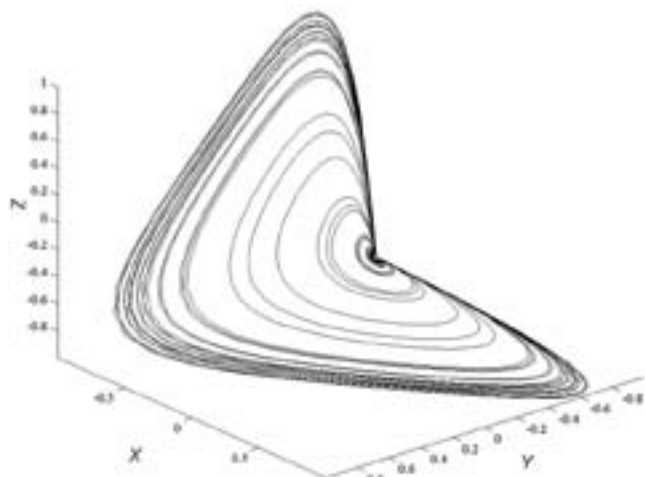


Рис. 6. Аттрактор Ресслера, реконструированный по координате z

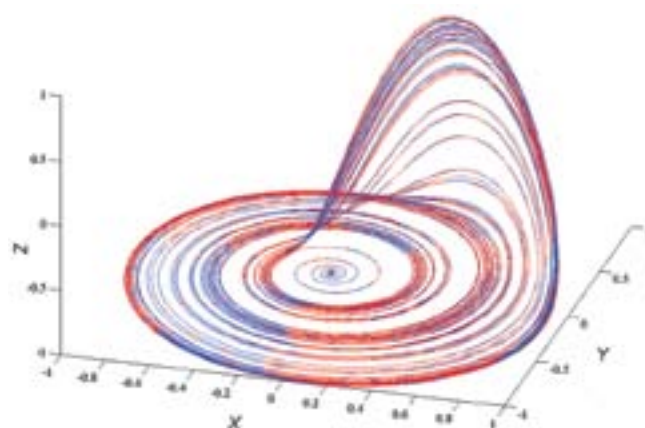


Рис. 7. Сопоставление исходного (синий) и реконструированного по координате x (красный) аттракторов Ресслера (глубина прогноза 30 шагов)

В рассмотренном случае прогноз на 30 шагов приводит к явному отклонению реставрированного аттрактора от исходного (рис. 5). Но если в качестве скалярного ряда выбрать наблюдения по координате z , то полученный в результате реконструкции аттрактор внешне существенно отли-

чается от исходного (рис. 6), хотя в соответствии с теоремой Такенса и наследует его основные динамические свойства.

Таким образом, для адекватной с точки зрения связей между параметрами системы реконструкции существует проблема выбора подходящего временного ряда.

По-видимому, наиболее рациональным решением этой проблемы является использование совокупности m скалярных рядов $\{y_i^j\}_{j=1, \dots, m}$, определяемой с помощью факторного анализа и метода корреляционных интегралов из общей совокупности измеренных параметров.

При этом мы получаем m систем типа (1) в каждой из которых для получения аттрактора используется только одна составляющая. Устойчивость реконструкции аттрактора в этом случае существенно повышается. Так на рис. 7 показаны прогнозные значения с шагом 30, полученные по указанной схеме, в сравнении с исходным аттрактором Ресслера. Из сравнения с рис. 5 видно преимущество такого варианта реконструкции. Соответственно этот подход дает и достаточно устойчивые связи между различными параметрами.

Итак, по измеренным значениям совокупности геолого-геофизических данных реально реконструировать определенное состояние аттрактора геодинамической системы и с помощью полученного функционала прогнозировать если не грядущее состояние системы в целом, то возможные значения любого из параметров по распределению остальных.

Учитывая отсутствие мониторинговых наблюдений, характеризующих реальный геологический процесс, аттракторы приходится строить по комплексу площадных данных, которые представляют собой своеобразный слепок установившегося состояния системы. Вариант формирования временных рядов по таким данным приведен в работе [8].

Упорядоченность как критерий прогноза

Необходимо отметить один существенный факт. Помимо того что поведение аттрактора является показателем самоорганизации системы, оно иллюстрирует еще одно важное свойство геологических систем. В работе, исследующей основные принципы строения самоорганизованных рудных комплексов [3], сформулировано положение, которое может иметь большое значение для развития прогнозно-поисковой технологии: *месторождения – наиболее упорядоченные участки земной коры.*

Вообще, понятие «упорядоченность», «порядок», равно как и «хаос», в абсолютном смысле не имеют строгого определения. Но в прикладных задачах важно не абсолютное определение, а умение сравнивать относительную степень хао-

тичности (или упорядоченности) различных состояний систем.

С этой точки зрения указанное на рис. 2 отличие в поведении аттракторов можно рассматривать как признак упорядоченности системы. И именно так можно трактовать схему использования аттракторов. Чем геометрия многомерного аттрактора более четкая, тем более тесно связаны параметры системы и, соответственно, выше степень ее упорядоченности.

Можно предложить еще целый ряд критериев относительной упорядоченности, рассматриваемых в физике открытых систем, например, таких как сравнение значений показателей Ляпунова, энтропии Крылова – Колмогорова – Синяя, а также фрактальных размерностей рассматриваемых систем. Но на этих критериях в данной работе останавливаться не будем.

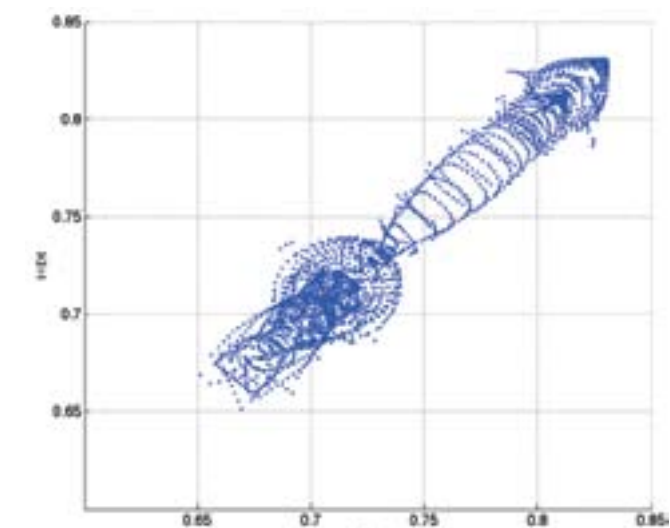


Рис. 8. Аттрактор в фазовом пространстве, реконструированный по реальным данным

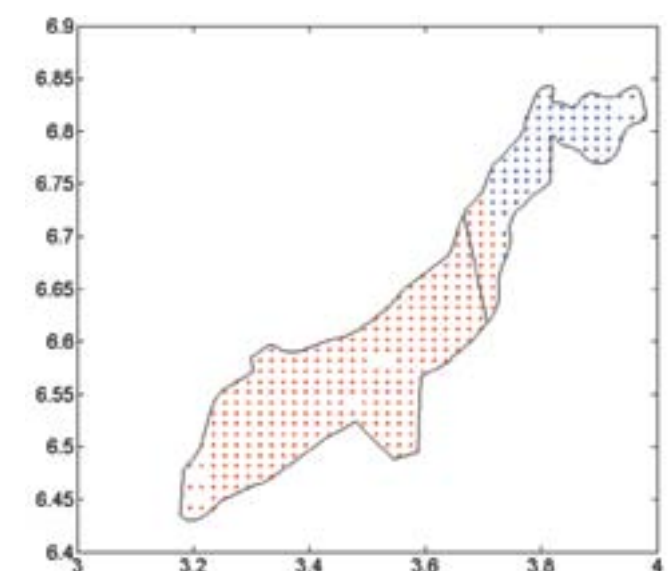


Рис. 9. Сравнение структурных элементов, выделяемых по фазовым кластерам в пределах известной площади (красные и синие точки) с реальным разбиением площади (черная линия) на различные месторождения в условных координатах

Использование предложенной схемы прогноза

Аттракторы, построенные по реальным данным, могут иметь достаточно причудливую форму (рис. 8), обусловленную структурными особенностями геолого-геофизических данных, по которым строился аттрактор. Даже аттрактор, реконструированный по одному параметру, может отражать такие особенности. Так, на рис. 8 показан аттрактор, реконструированный по площадным данным, полученным над месторождением углеводородов, разделенном на два отдельных месторождения. В аттракторе можно достаточно уверенно выделить две части, в каждой из которых точки фазового пространства связаны по-своему. Можно назвать такие области «фазовыми кластерами».

Этим кластерам соответствуют области на площади измерений, которые можно сравнить с реальным выделением на этой площади двух различных месторождений (рис. 9). Провести такое разбиение по исходному распределению измеренных параметров практически невозможно.

Итак, мы видим, что геометрия аттрактора имеет достаточно тесные связи с реальной геологией.

В качестве другого примера, иллюстрирующего предлагаемую схему, рассмотрим модельную задачу прогноза залежей углеводородов на известном участке.

Соответствующий прогнозный параметр для определения положения залежи углеводородов формировался путем моделирования многомерного аттрактора гипотетической динамической системы, связывающей изменение различных геолого-геофизических данных в пределах месторождения. Трехмерный вариант такого аттрактора, связывающий три параметра (наблюдаемое гравитационное поле dG , комплексный геофизический показатель Q и содержание урана по данным аэроспектрометрии U показан на рис. 10.

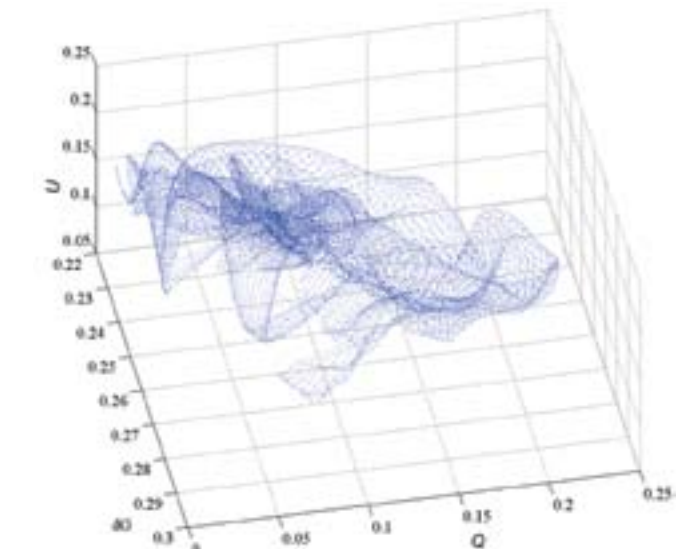


Рис. 10. Аттрактор, связывающий значения трех геофизических параметров, измеренных на исследуемом участке