

УДК 612.843.7:62–506.001:55

## СПОНТАННОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ; ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

© 2004 г. Э. Я. Островский, С. В. Румянцев

Представлено академиком В.В. Адушкиным 12.02.2004 г.

Поступило 17.03.2004 г.

Рассматривается решение проблемы прогнозирования полезных ископаемых на основе спонтанного формирования непротиворечивой (уникальной) структуры на объектах цифровой матрицы с данными наблюдений геофизических параметров (магнитных, гравиметрических, радиоактивных и др.) исследуемого природного комплекса\*. Создана технология (концепция, алгоритм, компьютерная версия) формирования такой структуры в виде совокупности непересекающихся устойчивых многомерных однородностей – “ассоциаций по смежности”. Последние суть области адекватной экстраполяции (прогнозирования) для образующих их объектов.

На практическом примере показана эффективность технологии при поиске редкометального оруденения по данным комплексной геофизической съемки в одном из районов Южного Тянь-Шаня.

### КОНЦЕПЦИЯ СПОНТАННОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ: САМООРГАНИЗАЦИЯ ХАОСА В УСТОЙЧИВЫЕ ОДНОРОДНОСТИ – ЧАСТИ СТРУКТУРЫ

Структура произвольной цифровой матрицы событий (DME) это совокупность непересекающихся сообществ однородных объектов (однородностей) – инструмент превращения DME в информацию об исследуемой реальности и прогнозирования ее объектов. В рамках данного определения очевидно существование структур, обусловленных

\*Цифровое геофизическое изображение – это 2D–3D-матрица событий, объектам которой поставлены в соответствие цифровые значения (дискретные отсчеты) непрерывной функции, определенной на исследуемом природном комплексе.

Институт микропроцессорных  
вычислительных систем  
Российской Академии наук, Москва

двумя типами однородностей: наделенных только им п р и с у щ и м и свойствами – признаками;

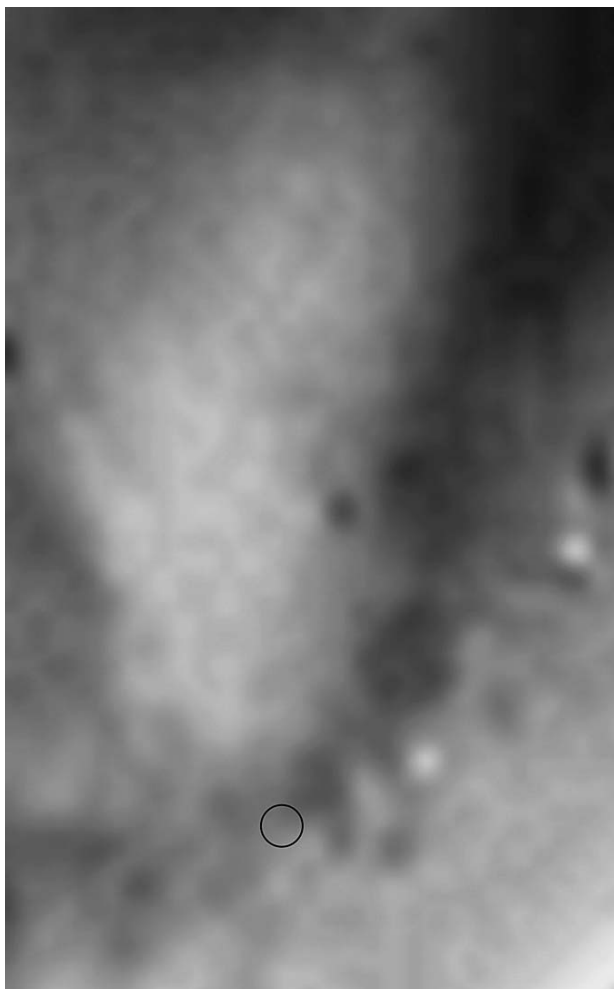
наделенных только им п р и с у щ и м и с т а б и л ь н ы м и свойствами – признаками.

Традиционные технологии формируют на объектах DME первый тип однородностей и, следовательно, сколь угодно много разнообразных (противоречивых) структур в зависимости от той или иной субъективной предустановки конкретного эксперта (его знаний, опыта, интуиции, ожиданий, предпочтений и т.п.). В терминах зрительного восприятия такой предустановочный подход к структурированию означает: видеть известное или желаемое в неизвестном, – подход в духе известного принципа дополнительности, постулирующего существование неустранимой множественности точек зрения на одну и ту же реальность\*.

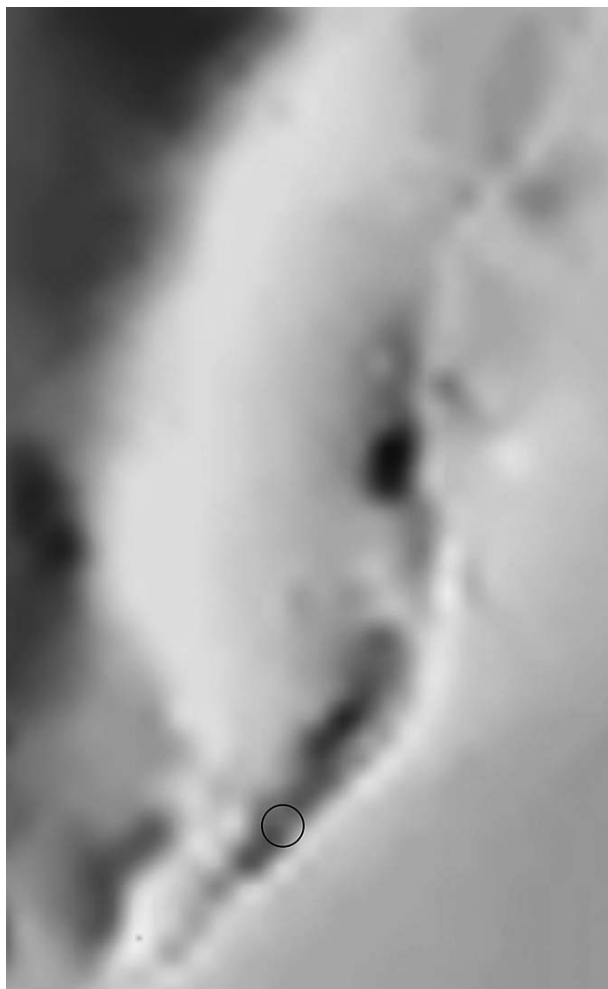
Однако он же становится причиной неадекватных структур – фантомов, артефактов типа слуховых или зрительных галлюцинаций. Разработанная технология спонтанного структурирования, альтернативная традиционному, выявляя однородности второго типа, создает непротиворечивую уникальную (единственно возможную) структуру. Если в качестве основного информационного признака любого изображения принять однородность (сообщество эквивалентно идентифицированных объектов), то любую DME можно представить хаосом однородностей, которые стохастически образуются на ней и ее функционально разнообразных проекциях. Такие неравновесные изолированные системы спонтанно эволюционируют к стационарному состоянию, совместимому с наложенными граничными условиями (числом объектов, сетью наблюдений, наблюдаемыми параметрами и т.д.) [1].

Индикаторами этого состояния являются скрытые в стохастическом шуме последовательности высококогерентных (взаимовложенных) однород-

\*Принцип дополнительности был впервые введен в квантовую физику Н. Бором как обобщение соотношений неопределенности Гейзенберга.



**Рис. 1.** Исходная цифровая матрица карты поля силы тяжести ( $\Delta g$ , мГл). Здесь и на рис. 2–4 кружком обозначен объект прогнозирования (центр круга).



**Рис. 2.** Исходная цифровая матрица карты напряженности магнитного поля ( $\Delta T_{\alpha}$ , нТл).

ностей, где каждая последующая вложена в предыдущую (является ее подмножеством с числом объектов  $\geq 0.5$  числа объектов предыдущей) [2].

Эти высококогерентные однородности характеризуются минимальным производством энтропии и, следовательно, наиболее устойчивы. Поэтому они могут использоваться в качестве стабильных признаков DME, ее специфичных многомерных идентификаторов. Эквивалентно идентифицированные ими объекты образуют “ассоциации по смежности”, поскольку для них справедливо утверждение: появление одного из объектов “ассоциации” в составе того или иного идентификатора означает появление в нем остальных объектов “ассоциации”.

Другими словами, объект DME может принадлежать одной и только одной “ассоциации по смежности”, которая в силу этого является областью адекватной пространственной экстраполяции (прогнозирования) для составляющих ее объектов.

### АЛГОРИТМ СПОНТАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНОЙ ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОЙ СТРУКТУРЫ

Созданная компьютерная версия спонтанного структурирования осуществляется р-а л г о р и т м о м, включающим:

формирование функционально разнообразных преобразований – проекций цифровых данных на объектах входной DME (энтропия, дисперсия, градиенты, кривизна и др.), с помощью которых выявляются всевозможные границы – контуры однородных областей цифрового изображения;

формирование матриц-проекций по каждому функциональному преобразованию DME;

формирование бинарных проекций (базовых дихотомий) путем разбиения множества объектов каждой матрицы-проекции на два равномогущих несовместных подмножества;



**Рис. 3.** Имманентная структура цифрового комплекса.

отбор наиболее значимых (наименее коррелируемых) базовых дихотомий в соответствии с условием

$$2^N < K < 2^{N+1},$$

где  $K$  – число объектов DME;  $N$  – число отбираемых для структурирования базовых дихотомий;

образование многообразия (хаоса) элементарных однородностей путем всех возможных пересечений базовых дихотомий; число элементарных однородностей при этом равно  $3^N - 1$ ;

отбор устойчивых однородностей – высококогерентных, взаимовложенных элементарных однородностей;

идентификацию объектов DME устойчивыми однородностями, в которые эти объекты входят;

объединение эквивалентно идентифицированных объектов в “ассоциации по смежности”;

визуализацию результата в виде: а) уникальной (непротиворечивой) высокоинформативной структуры DME – совокупности непересекаю-



**Рис. 4.** Прогнозирующая “ассоциация по смежности” с объектом прогноза.

щихся “ассоциаций по смежности”; б) отдельных “ассоциаций по смежности”, содержащих объекты, заданные экспертом для прогнозирования.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СПОНТАННОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ\*

Демонстрируется пример использования разработанной технологии для структурного анализа данных комплексной геофизической съемки (магнитометрия, гравиметрия) в масштабе 1 : 25000.

Участок съемки расположен в пределах Зеравшаноалайской структурно-формационной зоны Южного Тянь-Шаня. Участок сложен вулканогенно-осадочными и метаморфогенными породами, которые прорваны штокообразным Аррабандским гранитоидным массивом, перекрытым рыхлообло-

\* Материалы были любезно предоставлены И.Г. Кремневым, начальником геофизической партии ОАО “Регионал-геология” при Госкомгеологии Узбекистана.

мочными четвертичными отложениями. Для прогнозирования был выбран объект на DME, пространственно совпадающий с редкометальным рудопоявлением, расположенным в зоне экзоконтакта Аррабандского массива с осадочно-метаморфогенными образованиями. На рис. 1 и 2 показаны исходные цифровые матрицы: карты поля силы тяжести ( $\Delta g$ , мГл) и напряженности магнитного поля ( $\Delta T_a$ , нТл). Кругом на всех картах обозначен объект прогнозирования (центр круга).

Получены наиболее устойчивые однородности исследуемого цифрового комплекса ( $\Delta T_a$ ,  $\Delta g$ ), т.е. те, что завершают последовательности высококогерентных (взаимовложенных) однородностей – идентификаторов. На рис. 3 – уникальная высокоинформативная структура цифрового комплекса. Отчетливо выделяются геолого-структурные особенности, контролирующие пространственное размещение основных пород и тектонических элементов участка. На рис. 4 – прогнозирующая “ассоциация по смежности”, содержащая объект прогноза (цель). Наземными геолого-геофизическими работами была подтверждена ее перспективность на редкометальную минерализацию.

Таким образом, создана технология (концепция, алгоритм, компьютерная версия) спонтанного структурирования произвольной цифровой матрицы событий: непредустановочное упорядочивание

объектов матрицы в уникальную (непротиворечивую) структуру, составленную из непересекающихся устойчивых сообществ однородных объектов. В основе технологии фундаментальное свойство неравновесных изолированных систем (хаоса однородностей) спонтанно эволюционировать к стационарному состоянию, характеризующему минимумом производства энтропии.

Взаимообусловленное единство структуры и составляющих “ассоциаций по смежности” делает последние наиболее вероятными при данных граничных условиях наблюдений областями пространственной экстраполяции (прогнозирования) для входящих в них объектов. Объективный, непредустановочный характер формируемой структуры DME позволяет рассматривать ее в качестве эффективного средства исследований не только при геофизических поисках полезных ископаемых, но и в медицинской диагностике, анализе данных спутниковых и аэрофотосъемок, биометрическом тестировании, дефектоскопии и др.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гленсдорф П., Пригожин И.* Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973.
2. *Ostrovski E. Y.* US Pat. N 5, 606, 499. Feb. 25. 1997.