

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ РАСЧЁТА СМЕШАННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РАЗМЕРНОСТИ И МЕРЫ ТАНИМОТО- РОДЖЕРСА ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М. В. Родкин

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
ул. Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Российская Федерация
Институт проблем нефти и газа РАН,
ул. Губкина 3, 119333 Москва, Российская Федерация; rodkin@mitp.ru

Рудные месторождения являются сложными природными объектами. Каждое месторождение по-своему уникально. Но для эффективной обработки информации о большом числе месторождений и для лучшего понимания процессов рудогенеза необходима их содержательная кластеризация, оценка степени близости между разными типами месторождений, интерпретация выявленных взаимосвязей. Известен ряд схем кластеризации (классификации) месторождений в зависимости от набора в них рудных компонент и других характеристик [1]. Однако все эти классификации являются экспертными, т. е., в определённой степени субъективными. Отсюда представляется актуальной задача разработки формально-математических методов кластеризации месторождений.

Ниже представлены два подхода к решению этой задачи – на основе расчёта меры близости Танимото-Роджерса [2, 3], и на основе расчёта величин смешанной корреляционной размерности [4]. На основе обоих этих подходов определяются значения меры близости между двумя типами месторождений, а затем, на основе совокупности значений мер близости, реализуется та или иная процедура кластеризации месторождений. Два используемых метода различаются не только методом расчёта величин мер близости, но и набором используемых при этом данных о месторождениях. Полученные результаты расчёта мер близости сравниваются между собой и с ранее предложенными экспертными классификациями месторождений. Большая часть результатов кластеризации ожидаемо хорошо отвечает ранее предложенным экспертным классификациям, однако некоторые результаты являются новыми. Эти результаты обсуждаются ниже более детально. Расчёты реализованы по данным ГИС КСКМ [5] о крупных и суперкрупных рудных месторождениях мира.

Использованы два метода расчёта степени близости месторождений разных видов рудного сырья – на основе расчёта значений меры близости Танимото (по данным о вероятности сонахождения в одном месторождении двух сравниваемых рудных компонент) и на основе расчёта значений смешанной корреляционной размерности (по данным о взаимном пространственном расположении месторождений данных двух типов рудного сырья). Полученные этими двумя способами оценки степени близости оказались тесно связанными, что свидетельствует в пользу корректности обоих использованных подходов (рис. 1).

Обсудим чуть подробнее каждый из двух методов расчёта степени близости (или условного расстояния) между разными группами месторождений. Первый вариант кластеризации базируется на расчёте мер близости Танимото (T), реализуемом по данным о наборе рудных компонент, добываемых в разных месторождениях. Конкретно рассчитывается доля месторождений, в которых два данных рудных ком-

понента (например, Zn и Cu) встречаются совместно среди общего числа месторождений, содержащих рудные компоненты А и Б, $T = (A \cap B) / (A \cup B)$, пересечение множеств А и Б, делённое на их объединение. Как уже отмечалось выше, этот метод представляется более робастным и потому был использован для более полного расчёта модели кластеризации.

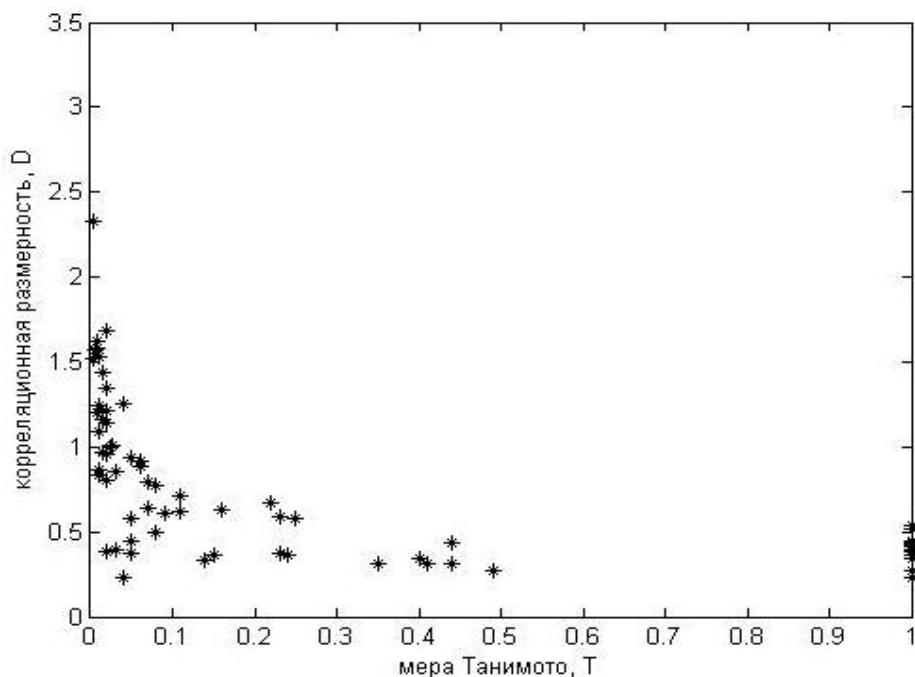


Рисунок 1 – Соотношение величин меры близости Танимото (T) и смешанной корреляционной фрактальной размерности (D)

Видно, что большим значениям меры близости T отвечают малые значения корреляционной размерности D и наоборот.

Второй метод расчёта величин условного расстояния между двумя группами месторождений основан на расчёте величин корреляционной фрактальной размерности D . Реализованный метод расчёта отличается от обычно используемого (например, при расчётах корреляционной размерности множества эпицентров или гипоцентров землетрясений) по ряду существенных моментов. Во-первых, демонстрируется целесообразность и возможность получения разных величин размерности для разных пространственных масштабов. Такое разделение оказалось полезным в плане различения закономерностей взаимного расположения месторождений на разных пространственных масштабах – на масштабе рудного узла, рудной провинции, ..., целого континента. Для случая месторождений сделана попытка интерпретации получаемых различий величин корреляционной размерности в масштабах рудного узла, рудной провинции, целого континента. Во-вторых, вводится и используется новое понятие смешанной корреляционной размерности для объектов двух разных типов (например, для месторождений Au и Ag). Обычная формула расчёта корреляционной размерности тривиальным образом обобщается на этот случай. Показано, что значения смешанной корреляционной размерности бывают как меньше, так и больше размерности вмещающего пространства. Случаи корреляционной размерности, большие размерности вмещающего пространства интерпретируются как отвечающие «взаимному отталкиванию» месторождений данных двух типов. Напротив, малые

значения размерности указывают на тенденцию пространственно-сближенного расположения месторождений соответствующих видов. Таким образом, можно ожидать, что случаи больших значений меры близости T будут соответствовать малым значениям смешанной корреляционной размерности D , и наоборот, большие значения D , будут отвечать малым значениям меры близости Танимото T . Данные рис. 1 подтверждают такие предположения. Расчёты реализованы с учётом сферичности Земли, что существенно, если расчёты проводится для пространственных объектов масштаба континентов. Различные типы поведения иллюстрируются рассмотрением искусственных модельных примеров.

Заметим, что сценарий взаимного отталкивания может реализовываться в определённом (с двух сторон ограниченном) диапазоне масштабов также и для объектов только одного вида, что легко показать на модельном примере. Но для ранее исследовавшегося случая сейсмичности сценарий взаимного отталкивания эпицентров (гипоцентров) землетрясений не реализуется, наоборот, возникновение землетрясения повышает вероятность реализации поблизости также и следующего толчка. Поэтому случаи, чтобы получаемое в некотором диапазоне масштабов значение корреляционной размерности D превышало размерность вмещающего пространства при анализе сейсмического режима, ранее никогда не наблюдались, и их возможность даже не обсуждалась.

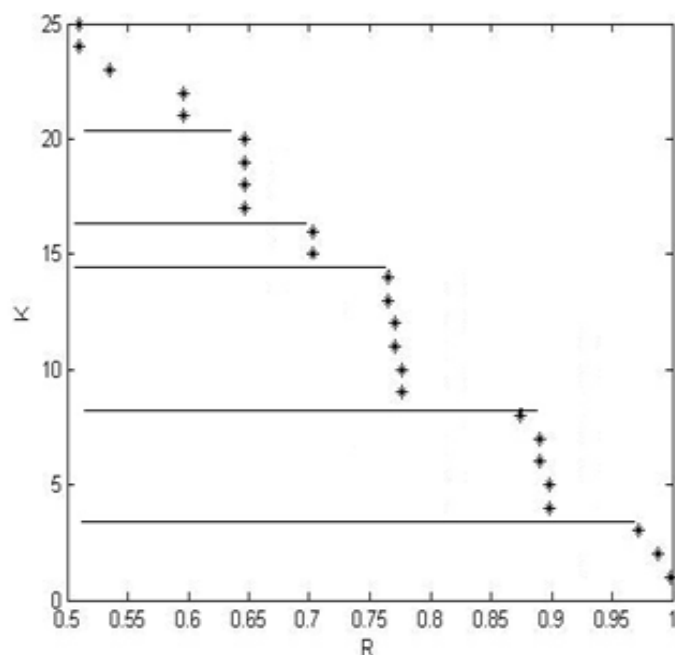


Рисунок 2 – Зависимость числа кластеров K от величин расстояния Танимото R . Звёздочками отмечены точки объединения старых кластеров в новый, происходящих с ростом R . Горизонтальные линии – диапазоны устойчивости схемы кластеризации с изменением величин расстояния R .

Предлагается предварительная интерпретация ряда формально выявленных статистических закономерностей. Большинство из формально полученных выводов о степени близости месторождений разных видов рудного сырья и о составе формирующихся из них кластеров отвечают известным закономерностям и вполне ожидаемы (таковы, например, кластеры, объединяющие Ag, Au, Cu и Pb и Zn). Отсюда

можно заключить об адекватности предложенных новых формальных количественных методов расчёта степени близости и кластеризации. Некоторые результаты кластеризации являются, однако, новыми и достаточно неожиданными. Так оказывается, что уменьшение числа кластеров с увеличением условного расстояния происходит немонотонно. Как видно на рис. 2, интервалы быстрого уменьшения числа кластеров K разделяются довольно широкими областями изменения условного расстояния R на которых число кластеров K не меняется (условное расстояние R определено здесь как $R=(1-T)^2$, где T – мера близости Танимото). Этот результат можно интерпретировать как отражение иерархичности множества месторождений.

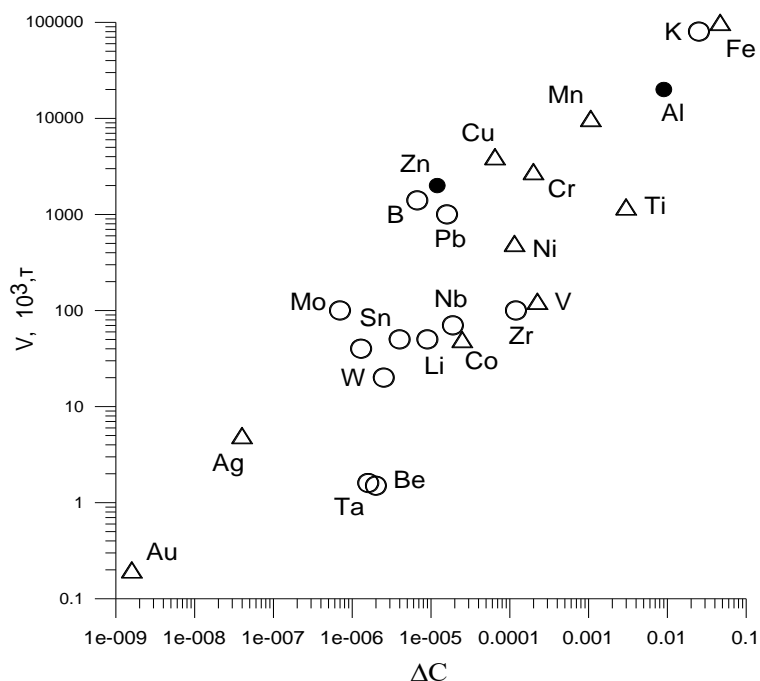


Рисунок 3 – Связь разницы ΔC средних концентраций элементов в верхней и нижней коре с характерными значениями запасов крупных месторождений V
 Кружками даны случаи сильного обогащения в верхней континентальной коре, треугольники отвечают обогащению в нижней коре, точки – случаи отсутствия существенных изменений концентрации.

Другим важным новым результатом является аномально частое выделение кластеров, состоящих исключительно (чаще, преимущественно) из элементов с обогащением или только в верхней, или только в нижней континентальной коре. Полученный результат интерпретируется нами как указание, что формирование крупных и суперкрупных рудных месторождений может являться попутным продуктом преобразования (превращения) вещества тектоносферы между основными физико-геохимическими резервуарами тектоносферы (такими как верхняя континентальная кора, нижняя континентальная кора, океаническая кора, верхняя мантия, иные резервуары). Энергия таких превращений и обеспечивает реализацию мощных негэнтропийных процессов по концентрации рудного вещества в месторождения. В пользу предложенной интерпретации свидетельствует достаточно тесная корреляция между характерными величинами запасов разных видов рудного сырья по данным [1] и разницей в концентрации этих компонент между средним химическим составом верхней и нижней континентальной коры [6]. Принято полагать (и это статистически подтверждается), что объёмы разных видов минерального сырья связаны с

концентрацией соответствующих элементов в земной коре, естественно, месторождения Fe больше по тоннажу запасов, чем месторождения Au. Но оказывается, что статистически не менее надёжна связь объёмов месторождений со средней разницей концентрации данной компоненты в верхней и нижней коре (рис. 3).

Завершая обсуждение, заключаем, что два предложенных метода кластеризации месторождений дают результаты, хорошо согласующиеся между собой и с ранее предложенными экспертными классификациями месторождений. При этом, кроме известных ранее, выявлены соотношения указывающие на иерархичность множества рудных месторождений и на связь процессов формирования месторождений с преобразованием вещества тектоносферы между разными георезервуарами. Источником энергии для формирования высоких негэнтропийных концентраций рудных компонент в месторождениях является энергия геотектонических процессов.

Библиографические ссылки

1. Рундквист Д. В., Ткачёв А. В., Черкасов С. В. и др. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых: В 3 т. М.: ИГЕМ РАН, 2006.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
3. Родкин М. В., Шатахьян А. Р. Исследование рудных месторождений методами анализа динамических систем. II. Кластеризация рудных месторождений и её интерпретация // Физика Земли. 2015. № 3. С. 112–121.
4. Родкин М. В., Шатахьян А. Р. Исследование рудных месторождений методами анализа динамических систем. I. Расчёт корреляционной размерности // Физика Земли. 2015. № 3. С. 102–111.
5. Largest Mineral Deposits of the World, CD-ROM, Commission on Geological Map of the World, 2006.
6. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора, её состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 383 с.

УДК 550.8:552.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫХ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ

В. Л. Коломиец

Геологический институт СО РАН,
ул. Сахьяновой 6а, 670047 Улан-Удэ, Российская Федерация; kolom@ginst.ru

В процессе проведения геологических съёмок разного масштаба, поисковых работ и аэрофотогеологического картирования впадин Байкальской рифтовой зоны производственными и научными организациями получен большой объём данных по гранулометрии плейстоценовых отложений.

Популярность гранулометрического метода неоспорима – простота применения в полевых условиях, быстрое получение характеристик, позволяющих наполнить числовыми значениями описания, на первый взгляд, литологически-однородных разрезов и осуществить первичную оценку площадей, пригодных в качестве нерудного сырья. К сожалению, дальнейшего глубокого осмысления грану-