

*С.С. ШАКИН, И.Г. САВИНА*

## **СКЕЙЛИНГ-АНАЛИЗ ЗАПАСОВ ОЛОВА НА ДЕПУТАТСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Осуществлен поиск подобия пространственного распределения олова в двух масштабах: горизонт б61 и и штуф. Составлена программа поиска подобия всевозможных сечений штуфа заданному эталону, в качестве которого использованы как образ всего горизонта отработки, так и его фрагменты. Максимальное подобие установлено в штуфе брекчиевой текстуры.

Скейлинг — явление подобия способов организации вещества при разных масштабах рассмотрения — используется геологами достаточно давно. С одной стороны, это — малые структурные формы, главным образом складчатые, которые часто подобны крупным формам, недоступным для непосредственного наблюдения. С другой стороны — зональность геологических объектов, например метасоматическая, как правило, одинаковая как в шлифе, так в рудном районе [8]. В этот же класс явлений попадают и одинаковые формы кристаллов различного размера, например алмаза [6].

В связи с использованием в геологии идей самоорганизации и синергетики явления скейлинга получили новую философско-методологическую интерпретацию. Наличие скейлинга трактуется как свидетельство самоорганизации, а степень скейлинга как уровень такой самоорганизации. Скейлинг отмечен и в математических моделях геологических структур [4]. На основе представлений о самоорганизации выявлены другие проявления геологического скейлинга: подобие разномасштабных текстур в горных породах [2], форм геологических тел в рудных залежах и рудных районах [3, 7, 9—11, 13].

Однако связать установленные факты скейлинга в какую-либо обобщенную схему трудно. Если и существуют геометрически подобные разномасштабные структуры, то не ясно: какова степень подобия и динамика изменения в ряду масштабов, окружает ли самоподобную структуру «несамоподобная» матрица, как выглядит самоподобный объект в «промежутке» между масштабами подобия? На эти и другие вопросы о строении самоподобных объектов ищет ответы наука. Геологи сформировали схему «уровней структурирования» в особых масштабах, в которых структура объекта проявлена наиболее четко [2, 13]. В математике такими свойствами обладает модель детерминированного фрактала [5].

Цель настоящей работы — поиск подобия разномасштабных геохимических полей на Западном участке в Депутатском оловорудном месторождении, являющимся достаточно самоорганизованной геологической структурой. В [14] авторы показали наличие статистического самоподобия в изучаемом объекте на уровне штуф—рудное тело. Однако скейлинг, или детерминированное самоподобие, — качественно другое свойство, поэтому существуют иные ограничения. Статистическое подобие характеризуется подобием содержания в данной структуре элементов того или другого вида (например, черных и белых поровну, белых в два раза больше, чем черных и т.п.) Детерминированному подобию присуще подобие в расположении (узоре) элементов разного вида. В [5] показано подобие оруденения на горизонте б61 м и в его части. Максимальная сте-

пень подобия достигается при определенном соотношении масштабов (дискретные масштабные уровни), подобные фрагменты на разных масштабных уровнях необязательно параллельны один другому [5].

В работе авторы показали подобие рудных тел на горизонте 661 м и рудных штуфов. Исследованы девять штуфов, отобранные на разных горизонтах из четырех рудных тел, причем в одном случае отдельно обработаны две половинки единого крупного штуфа. В пластинках, полученных из штуфа (10 × 10 × 10 см) при распиливании, проведены рентгенорадиометрические анализы (40—130) на олово по сети 2 × 2 × 1 см.

Для поиска подобия составлена специальная компьютерная программа в среде Delphi. Данные опробования горизонта преобразованы в матрицу: план горизонта, включающий несколько рудных тел, разбили на определенное количество ячеек, в которых по рудным пробам рассчитали средний метропроцент. Подобное преобразование с учетом, что сеть опробования на горизонте близравномерная и установлены практически все участки рудолокализации, дает соотношение продуктивностей в выделенных ячейках.

Данные рентгенорадиометрических анализов в объеме штуфа, полученные для прилегающих одна к другой пластин (2 × 2 × 1 см), также преобразованы в матрицы. Для этого через штуф провели плоскости, ориентированные различным образом. Когда плоскость формирования матрицы параллельна плоскости распила, легко выполнить оцифровку при последовательном переписывании результатов анализа в виде прямоугольной таблицы. При косом сечении, если центр пластины находился на расстоянии менее 0,5 см от плоскости сечения, то считали, что пластина принадлежит данной плоскости в точке максимальной близости центра пластины от плоскости сечения.

Матрицу опробования горизонта с помощью коэффициента похожести сравнивали с матрицей анализа штуфа. Коэффициент степени похожести [5] вычисляли как сумму трех

Таблица 1

### Пример расчета похожести

Матрица 1	Матрица 2	Расчет похожести
4 3 5 1	3 1 6 1	Разность = 2, {1 + 2 - 1 + 0}; Сумма матрицы 1 = 13, {4 + 3 + 5 + 1} Сумма матрицы 2 = 11 Похожест = 35,75 {1/(2 × 2/(13 × 11))}

Для разности по строкам:

-1	-3	Разность = 4; сумма матрицы 1 = 1;
2	0	Сумма матрицы 2 = -3; похожест = -0,19

Для разности по столбцам

1 4	2 5	Разность = -2; сумма матрицы 1 = 5 Сумма матрицы 2 = 7 Похожест = 8,7
Общая похожест = 35,75 - 0,19 + 8,7 = 44,26		

слагаемых оценок похожести: цифры в матрицах + разности цифр по строкам + разности цифр по столбцам. Для оценки похожести цифр двух матриц находили суммы членов в каждой ( $C_1$  и  $C_2$ ) и суммы членов матрицы, полученной при вычитании одной матрицы из другой ( $C_p$ ). Для оценки похожести разностей цифр матриц по строкам и столбцам вычисляли новые соответствующие матрицы, для которых также находили величини

$C_p^2/C_1C_2$ . Пример расчета коэффициента подобности для двух матриц размером  $2 \times 2$  приведен в табл. 1.

По описанному алгоритму сопоставляли матрицу-эталон (фрагмент горизонта 661 м) со всеми матрицами, полученными при сечении штуфа. Следует учитывать, что результат меняется не только при изменении ориентировки сечения относительно фиксированных осей штуфа (в двух плоскостях), но и при повороте сравниваемых матриц одна относительно другой в плоскости сечения. Кроме того, центр такого поворота может располагаться в любой из клеток матрицы, что дополнительно увеличивает число вариантов сравнения. В соответствии с идеей В.В. Филонюка [12] при сравнении учтена возможность подбора к данным масштабного коэффициента. Прямой перебор всех вариантов (если углы поворотов изменяются с шагом  $12^\circ$ ) требует 150 ч работы компьютера IBM-486. С целью оптимизации процесса для первого сравнения углы ориентировки сечения относительно фиксированных осей штуфа и поворота матрицы в плоскости сечения выбирали случайным образом из возможных значений с помощью генерации компьютерного случайного числа в заданном диапазоне. Значение масштабного коэффициента, принимающего 10 дискретных значений от 0,1 до 10, принимали равным единице. Центр вращения помещали в пластину с первым номером. Затем рассчитывали степень подобия сечения штуфа эталону для выбранной точки, и для ее восьми соседей (по двум углам ориентировки сечения — четыре, по углу поворота в плоскости — два, по масштабному коэффициенту — два). Если какой-либо из соседей давал лучшее подобие, то центральная точка переходила к нему, и операцию повторяли. Процесс завершали при отсутствии соседей с лучшим подобием. Центр вращения перемещали на следующую пластину, и операция повторялась до «посещения» центром вращения всех пластин, составляющих штуф. Далее следовал случайный выбор следующей точки, и весь процесс повторяли в ней и т.д. Таких случайных точек для каждого вида эталона и каждого штуфа использовано 5 тыс.

В качестве эталона, образ которого выбирают в пределах штуфа, использовались матрицы размером  $3 \times 3$  ячейки, одна из которых соответствовала всему горизонту 661 м (эталон 00) (рис. 1), а остальные — фрагментам горизонта (гори-

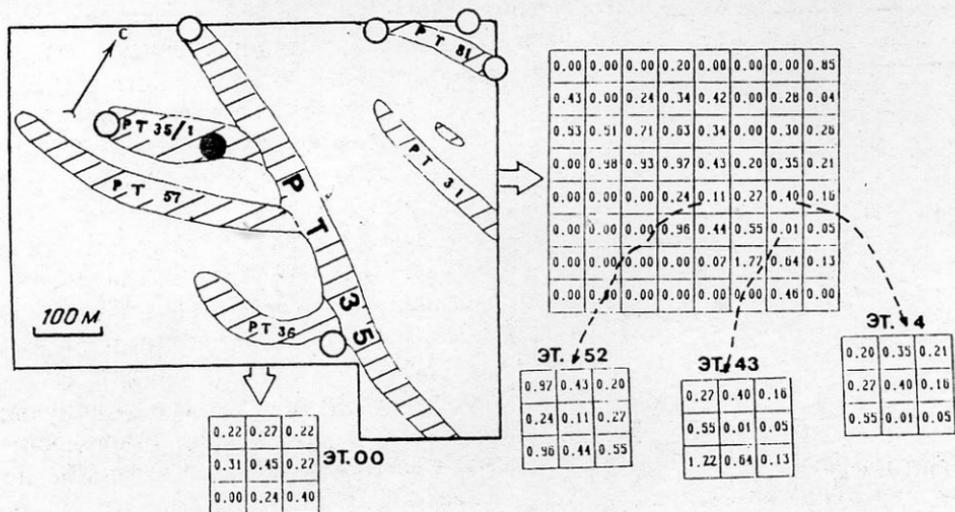


Рис. 1. Схема формирования матриц-эталонов (ЭТ) для поиска подобных матриц в штуфах: заштрихованы участки рудных жил, кружки — проекция на горизонт точек отбора штуфов, закрашенный кружок — штуф 661-35/1-4, РТ — рудное тело

зонт 661 м описывается матрицей  $3 \times 8$  ячеек). Таких фрагментов было 22 (исключены варианты, где число нулей в эталонной матрице превышало два).

Работу по определению степени самоподобия разбивали на три этапа: определение степени подобия участка штуфа и всего горизонта, определение степени подобия участка штуфа и фрагмента горизонта, прогноз по данным самоподобного штуфа. На первом этапе осуществлен поиск подобия штуфов эталону 00. В табл. 2 показано, что максимально возможная степень подобия горизонту в це-

Т а б л и ц а 2

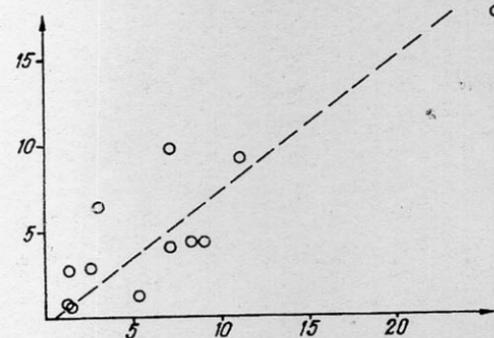
**Максимальная  
степень подобия  
структуры штуфов  
структуре горизонта  
661 м**

Штуф	Степень подобия
711-35-8	0,93
711-35-8в	0,47
607-35-6	1,22
661-35/1-4	1,78
661-35/1-7	1,13
661-81-1 + 2	0,56
661-81-9	0,40
761-33-3	0,98
761-33-3п	0,47

лом весьма различна для разных штуфов, и максимальна в штуфе 661-35/1-4. На втором этапе выяснили, что штуфы из одного рудного тела максимально подобны одному фрагменту горизонта 661 м. При этом для разных рудных тел такие фрагменты различны: для тела 81 — эталон 52 (рис. 1); 35 — эталоны 43 и 14; 35/1 — эталон 4. Причем как в двух половинах одного штуфа, так и в отдельных штуфах из одного рудного тела, распределение максимальной степени подобия между разными фрагментами горизонта 661 близко.

Третий этап — попытка прогноза продуктивности оруденения, для чего взяты матрицы  $3 \times 3$  из сечения штуфа и из ячейки фрагмента горизонта. В случае установления максимального подобия указанных матриц, для данного штуфа исследовали поведение продуктивности оруденения в ячейках вне найденного подобного образца  $3 \times 3$  клетки. Сравнивались внешние клетки в штуфе с аналогично расположенными клетками образа горизонта 661 м при его размере  $3 \times 8$  ячеек. В результате выяснили, что только штуф 661-35/1-4 можно использовать для прогноза (рис. 2). Коэффициент корреляции величин равен 0,89 и значим при двенадцати использованных данных. Остальные штуфы хотя, вероятно, и являются подобными какой-то структуре на месторождении (иначе не было бы единства схемы подобия для нескольких штуфов одного тела), но она пока не известна.

Чем определен эффект подобия в штуфе 661-35/1-4, без специального геологического исследования штуфов сказать нельзя. Авторы предполагают, что этот эффект связан с брекчиевой текстурой штуфа. По данным [1] и др. авторов, такие породы структурно самоподобны в пределах пяти порядков, что примерно охватывает изученный интервал масштабов. Таким образом, в хорошо самоорганизованных месторождениях существуют фрагменты, структура которых подобна структуре месторождения.



**Рис. 2. Связь продуктивности оруденения в ячейках матрицы на горизонте 661 м: по вертикали — продуктивность ячеек на этом горизонте; по горизонтали — в аналогично расположенных ячейках штуфа 661-35/1-4; пунктирная линия — функция прогнозирования**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гульбин Ю. Л. и др. Опыт количественного генетического анализа структур жильного кварца на основе фрактального приближения // Зап. ВМО. 1997. № 6.
2. Индутный В. В. Количественная оценка пространственного строения минеральных агрегатов и текстур горных пород. Киев: Препринт ИГФМ АН УССР. 1987.
3. Кочемасов Г. Г. Кольцевое структурирование, скейлинговая инвариантность, симметрия-антисимметрия в геологии как проявление волновых процессов (синергетические аспекты) // Геол. изученность и использование недр. 1997. № 2.
4. Летников Ф. А., Балышев С. О. Петрофизика и геоэнергетика тектонитов. Новосибирск, 1991.
5. Лир Ю. В., Шакин С. С. Детерминированные фрактальные модели. Опыт применения // Зап. СПГИ. 1997.
6. Лунев Б. С., Осовецкий Б. М. Модели морфологических типов мелких алмазов Урала, их генетическое и поисковое значение // Моделирование геологических систем и процессов: Матер. регион. конф. Пермь, 1996.
7. Милеев В. С. Разломы, зоны смятия и их строение // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994.
8. Рундквист Д. В., Неженский И. А. Зональность эндогенных рудных месторождений Л., 1975.
9. Ручкин Г. В., Лихачев А. П., Нарсеев В. А. и др. Рудообразующие процессы и системы: состояния и проблемы // Обз. инф. Геол. методы поисков, разведки и оценки МПИ. 1992. № 9.
10. Соколов С. В. Структуры геохимических полей разноуровневых золоторудных систем и их поисковое значение // Тихоокеан. геология. 1990. № 2.
11. Филонюк В. А. Структурные признаки саморазвития рудогенных процессов во времени и пространстве // Докл. АН СССР. 1984. № 2.
12. Филонюк В. А. Структурная организация месторождений и фактор риска при их освоении (на примере золоторудных месторождений средних и малых масштабов): Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Иркутск, ИТУ, 1993.
13. Шкарин В. Е. Дискретность размеров геологических объектов и дистанционные методы // Автоматизированный анализ природных линейных систем. Л., 1988.
14. Шакин С. С., Савина И. Г. Фрактальный анализ запасов олова Депутатского месторождения // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 1.