

УДК 622.831

**А.М. Павлов**

## **ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СЛОЖНОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Приведены результаты исследования фрактальных свойств геологической среды, являющихся ключевым показателем сложности условий эксплуатации золоторудных месторождений.*

*Ключевые слова: месторождения, геологическая среда, фрактальные свойства, иерархичность компонентов среды.*

Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых во многом зависит от того насколько правильные представления мы имеем об особенностях внутреннего строения непосредственно объекта эксплуатации и геологической среды, в которой он локализован.

С позиции недропользования под геологической средой мы понимаем доступную для изучения самую верхнюю литосферную оболочку – земную кору, самую неустойчивую в геодинамическом отношении, чрезвычайно сложную многокомпонентную и неоднородную по вещественному составу, по совокупности протекающих в ней процессов природную систему, которая находится в постоянном саморазвитии. Составными частями геологической среды, как системы, являются многоуровневые и многокомпонентные геологические подсистемы и их монопризнаковые подсистемы. Подсистема геологической среды - это пространственно структурированное распределение одного из свойств, либо вещества, либо признака.

При освоении месторождений полезных ископаемых для обоснования эффективных технологических решений, в первую очередь, необходимы

объективные и достоверные данные о характере поведения руды в пространстве и геомеханического состояния вмещающих пород. Традиционное геологическое обеспечение принимаемых решений не всегда является достаточно эффективным, поскольку не учитывает ключевых особенностей геологической среды, которые могут быть установлены на основе новых представлений о закономерностях её развития.

В последнее время в науках о Земле появилось новое направление исследований, которое основано на использовании концепции самоорганизации в развитии геологической среды. Первые результаты этих исследований в области геологии рудных месторождений опубликованы в работах Поспелова Г.Л., Нарсеева В.А., Филонюка В.А., Летникова Ф.А., Горяинова П.М. и др.

В горном деле это направление также нашло своё развитие главным образом при изучении геомеханического состояния горных массивов и в литературе обрело статус «нелинейной геомеханики». Эти идеи в разной степени нашли отражение в опубликованных работах Садовского М.А., Курлени М.В., Опарина В.Н., Иофи-

са М.А., Батугиной И.М., Батугина А.С., Рассказова, Сашурина А.Д., Зубкова А.В., Хачай О.А., Сосновского Л.И. и других исследователей.

В основу новых представлений о структурном состоянии геологической заложено приоритет «дискретного» над «непрерывным». Это в большей мере соответствует действительности, поскольку результаты выполненных за последнее время специальных исследований достаточно объективно подтверждают это.

На основе результатов исследования в рамках обозначенного выше направления установлено, что отдельные компоненты геологической среды (пространственное распределение золота в рудных телах золоторудных месторождений, распределение интенсивности проявлений разрывной тектоники и трещиноватости в горных массивах, структура зон расланцевания и др.) имеют сложный закономерно-прерывистый характер. Данное обстоятельство входит в существенное противоречие с традиционными представлениями, которые постулировали непрерывность во всём и не учитывали этот существенный аспект сложности объекта эксплуатации.

К наиболее характерным свойствам геологической среды необходимо отнести также иерархичность всех её компонентов. Иерархические уровни (иерархическая система уровней) – это системные формирования, в которых дискретные элементы последующего более высокого масштабного уровня выступают в качестве объектов, рассматривавшихся в качестве систем на предыдущем масштабном уровне. Это главный элемент структурной организации признакового пространства геологической среды как пространственно упорядоченной совокупности элементов, которые

придают ей устойчивость и таксономическую определённую за счёт геометрически формализованного порядка пространственного вхождения друг в друга дискретных элементов разного масштаба.

В данном случае таксон (от греч. *taxis* – порядок, ряд) рассматривается как пространственно обособленное объединение группы дискретных объектов, связанных определённой степенью пространственной общности. Таксономический анализ конкретной подсистемы геологической среды представляет собой процесс выделения в пространстве последовательно входящих друг в друга, т.е. иерархически взаимосвязанных, разномасштабных таксонов. Каждый из них представляет собой ограниченное в пространстве скопление участков определённого масштаба с повышенной концентрацией золота или трещин, расположенных примерно на одинаковом расстоянии друг от друга. Например, в подсистеме пространственного размещения золота последовательно входящие друг в друга таксоны – это агрегаты золотин – гнезда – малые рудные столбы – средние рудные столбы – крупные рудные столбы и т.д.

Из сказанного выше вытекает смысл понятия «фрактальность» как ключевого свойства внутреннего строения природной монопризнаковой подсистемы геологической среды. Оно характеризуется равномерно-неравномерной пространственной упорядоченностью в размещении разномасштабных дискретных элементов монопризнаковой подсистемы по принципу самоподобия.

Согласно новой концепции признаковые подсистемы геологической среды оптимально сочетают в себе категории «дискретного» и «непрерывного», поскольку геологическая среда иерархична и системно объе-

диняет дискретные элементы в последовательно входящие друг в друга разномасштабные условно непрерывные элементы по принципу самоподобия или фрактальности. Безусловно, это значимый признак сложности осваиваемого объекта, неучёт которого негативно сказывается на эффективности применяемых геотехнологий. Поэтому проблеме оптимального выделения условно непрерывных объектов должно уделяться особое внимание.

Таким образом, технология геоинформационного моделирования для глубокого изучения естественных системных свойств геологической среды включает необходимость корректного решения ключевой методической задачи – установление фрактальных свойств изучаемых монопризнаковых подсистем. Здесь необходимо иметь достаточное количество разномасштабной информации, которое позволит найти оптимальные границы таксономических элементов при составлении уровневых карт распределения признака [1].

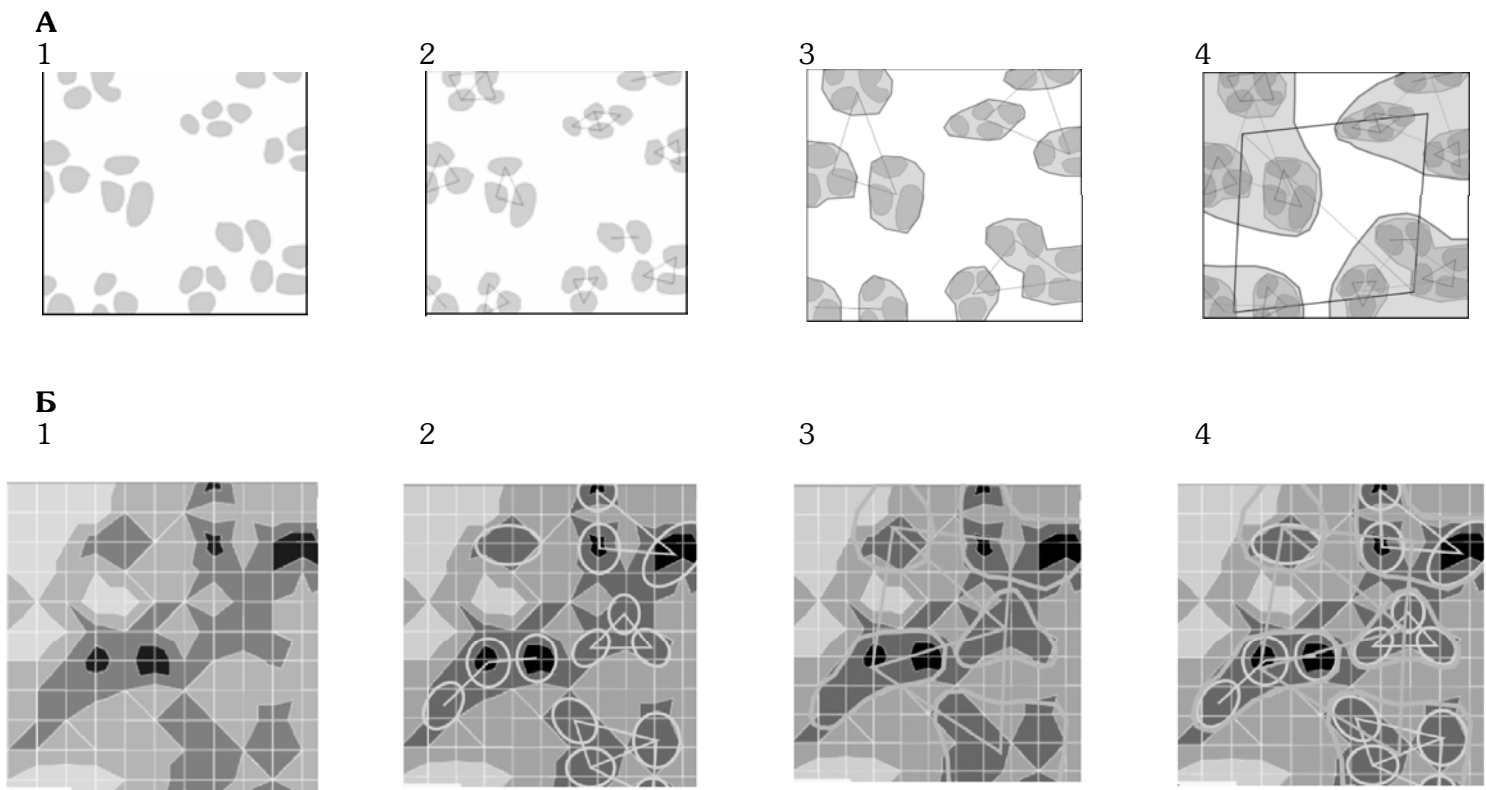
Рассмотрим фрактальные свойства конкретных подсистем геологической среды, имеющих наиболее важное значение для геологического обоснования планирования качества добываемой руды и выбора подземных геотехнологий на золоторудных месторождениях.

Подсистема пространственного распределения золота в рудных телах характеризуется закономерно-прерывистым распределением аномальных концентраций золота, зафиксированных по данным эксплуатационного опробования. На основе анализа планов детального опробования при выемке руды из блока вначале выделяются участки аномальных концентраций металла, а затем, путём последовательного таксономирования их в более крупные обособления, выявля-

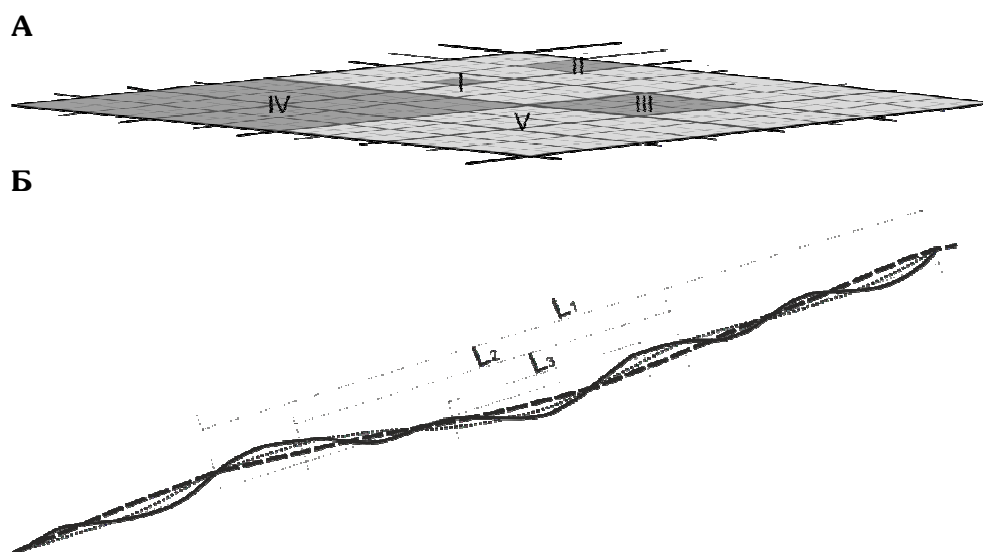
ется фрактальная структура распределения металла в блоке (рис. 1, А).

Подсистема распределения максимумов удельной концентрации трещин и других тектонических нарушений также характеризуется закономерной прерывистостью. Карты удельной трещиноватости, которые используются для прогнозирования геомеханического состояния горного массива, составляются на основании перевода в топоповерхность данных расчётов отношений суммарной длины трещин и тектонических нарушений в ячейке наброшенной сетки к её площади. На полученной топоповерхности выделяются максимумы, которые отображают неоднородность интенсивности проявленной тектонической нарушенности изучаемого участка массива горных пород. Выделившиеся максимумы являются объектами дальнейшего последовательного таксономирования и установления фрактальной структуры изучаемой подсистемы геологической среды (рис. 1, Б).

Зоны расланцевания пород в горном массиве, как разновидность его тектонической нарушенности, особенно в приконтактных зонах рудных тел, характеризуются наличием линзово-чешуйчатой отдельности разных размеров (от долей сантиметров до 10 и более метров). При этом проявляется высокая степень неоднородности в сочетаниях элементов разных размеров по степени расланцевания. Крупные, практически не расланцованные линзы пород, могут граничить с мелкими и весьма мелкими породными линзами и чешуйками. Размеры этих элементов геометрически и статистически упорядочены и нередко отмечаются случаи их последовательного пространственного расположения с постепенными переходами от крупных к



**Рис. 1. Модельные примеры последовательного (1, 2, 3, 4) установления иерархически упорядоченной кластерной структуры, обладающей фрактальными свойствами: А – карта распределения участков аномальных концентраций золота в эксплуатационном блоке. Б - карта максимумов проявления интенсивности трещиноватости (размер ячейки 1 м)**



**Рис. 2.** Фрактальные модели внутренней структуры зоны расланцевания (А), (где римскими цифрами показаны последовательно входящие друг в друга линзово-чешуйчатые элементы, соответствующие интенсивности расланцевания), и поверхности рельефа в разрезе по линии падения всячего контакта наклонно залегающей золотокварцевой жилы (Б), (где показаны нелинейно уменьшающиеся длины периодов последовательно усложняющих друг друга продольных изгибов кровли)

мелким и самым мелким отдельностями. В такой ситуации очень чётко проявляется фрактальная структура зоны расланцевания. Модель формирования фрактальной структуры зоны расланцевания показана на рис. 2, А.

Рельеф поверхности всячего контакта пологозалегающей рудной жилы часто имеет сложную конфигурацию. Она обусловлена сочетанием последовательно усложняющих друг друга изгибов с разной величиной периодов (рис. 2, Б). Здесь, также как и в предыдущих модельных примерах, общая конфигурация поверхности обретает фрактальный мотив, поскольку наблюдаются сочетания изгибов, периоды которых последовательно на-

ложены друг на друга, т.е. отображают иерархию масштабных уровней деформированной поверхности.

Как видно из приведённых примеров, фрактальная структура отображает последовательное вхождение друг в друга разномасштабных дискретных элементов в монопризнаковой подсистеме по принципу самоподобия (принцип скейлинга или принцип «похожести» структур независимо от масштаба элементов). По геометрическим соотношениям элементов этой структуры можно установить характер фрактального роста (фрактального расширения структуры). Он выражается в специфике увеличения скейлинговых коэффициентов (коэффициентов подобия), отображаю-



**Рис. 3. Поведение масштабного (скейлингового) коэффициента (СК) в иерархическом ряду уровней структурной организации поля деструктивных элементов Зун-Холбинского месторождения**

ших численно выраженные отношения геометрических параметров структуры, контролирующей пространственное положение элементов смежных иерархических уровней в монопризнаковой подсистеме. Фрактальный рост всех природных монопризнаковых подсистем в среднем подчиняется принципу удвоения, что предопределяет наличие нелинейности как ещё одного фундаментального свойства структурно организованных подсистем геологической среды (рис. 3).

Таким образом, основными признаками фрактальных структур являются масштабное самоподобие по всему иерархическому ряду выделенных таксонов, фрактальное расширение структуры каждой из рассмотренных признаковых подсистем по принципу удвоения и, как следствие этого, нелинейный характер этого расширения.

Фрактальные свойства структурной организации признаковых подсистем были изучены нами по целому ряду золоторудных месторождений Сибири и Дальнего Востока (Зун-

Холбинское, Ирокиндинское, Дарасунское, Ново-Широкинское, Майское, Биркачан и др.). На всех этих объектах выявлены структурные закономерности, подобные описанным выше.

Практическое использование выявленных свойств фрактальности геологической среды в системе геологического обеспечения горно-эксплуатационных работ, связанных с освоением золоторудных месторождений, снимает многие проблемы и повышает эффективность этих работ.

Так, на Зун-Холбинском золоторудном месторождении на основании использования фрактальных свойств распределения золота в рудных телах была установлена основная причина «неотхода» планируемого качества добываемой руды в сравнении с фактическим, определяемым по данным обогатительной фабрики и предложена более эффективная методика определения планового качества руды по геолого-маркшейдерским данным [2]. На этом же месторождении была предложена методика технологического оконтуривания промышленных руд, учитывающая фрактальное распределение золота в рудных телах. Это позволило применить более производительные геотехнологии и свести к минимуму приконтурные потери руды и металла [3].

На целом ряде месторождений, на основании составления ранжированного ряда размеров иерархически соподчинённых ячеек структурных матриц, контролирующих пространственное размещение участков интенсивной тектонической нарушенности на конкретных масштабных уровнях,

и прослеживания в данном ряду величины коэффициента самоподобия, была определена степень напряжённости пород (высоконапряжённые и средненапряжённые участки) или степень естественной устойчивости массива. По существу этот коэффициент явился ключом для районирования и прогнозирования его естественного геомеханического состояния [4].

На Ирокиндинском золоторудном месторождении были выявлены фрактальные свойства структуры зон расланцевания со стороны висячего контакта разрабатываемых золоторудных жил, которые были учтены при разработке классификации зон расланцевания по степени устойчивости. Кроме этого, на этом же месторождении были установлены

фрактальные свойства поверхности висячего контакта жил, что позволило оптимизировать конструктивные параметры подземной геотехнологии и обосновать параметры регулируемого самообрушения кровли очистного пространства в отработанных блоках [5].

Таким образом, фрактальные свойства всех составных компонент геологической среды фактически являются ключевым показателем сложности условий эксплуатации золоторудных месторождений. Выявление и учёт этих свойств позволяет повысить эффективность управления процессом промышленной разработки месторождений и существенно повысить показатели полноты и качества выемки запасов полезных ископаемых из недр.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геоинформационное моделирование* фундаментальных свойств геологической среды для создания систем управления её геомеханическим состоянием / Филонюк В.А., Сосновский Л.И., Сосновская Е.Л. // Геодинамика и напряжённое состояние недр Земли. Труды научной конференции с участием иностр. учёных. – Новосибирск, изд-во ин-та горного дела СО РАН. 2008 С. 469-476.

2. *Причины систематического неподтверждения оценок качества руды по данным эксплопробования на Зун-Холбинском руднике и обоснование методики достоверного определения среднего содержания золота в руде при планировании добычи* / Филонюк В.А., Павлов А.М., Мильшин Е.А., Сосновский Л.И., Сосновская Е.Л. // Информационно-рекламный бюллетень «Золотодобыча», Иргиредмет, №120, ноябрь 2008, с.19-23.

3. *Геометризация* промышленных рудных тел и определение показателей ка-

чества отработки запасов в условиях закономерно-прерывистого распределения металла на Зун-Холбинском золоторудном месторождении / Павлов А.М., Мильшин Е.А., Филонюк В.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Из-во Московского гос. горного университета. 2008 - №12. с. 90-105.

4. *Геометрические модели* естественного напряженного состояния массива горных пород золоторудных месторождений / Филонюк В.А., Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Павлов А.М. // Известия вузов Горный журнал, №5, 2010. С. 41-45.

5. *Павлов А.М.* Параметры погашения очистного пространства способом самообрушения кровли при отработке наклонных жил золоторудных месторождений. Павлов А.М., Семёнов Ю.М., Сосновский Л.И., Филонюк В.А., Сосновская Е.Л. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Из-во Московского гос. горного университета. 2009 - №4. с. 42-48. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Павлов Александр Митрофанович* – кандидат технических наук, докторант ИрГТУ, e-mail: v10@istu.edu