

УДК 551.24

Н.В. Короновский¹, А.А. Наймарк²**СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ В ДИСКРЕТНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

Теоретические основы структурно-парагенетического метода реконструкций геодинамических обстановок критически проанализированы в свете идей о нелинейной динамике и грубодискретной фрактальности геологической среды. Показаны некорректность реконструкций без учета бифуркационности структурообразования и его сильной зависимости от различий начальных условий, ненадежность распознавания конкретных парагенезов разного возраста, типа и ранга, а также нереализуемость непосредственной наблюдательной и экспериментальной проверки соответствия реконструкций реальным обстановкам геологического прошлого.

Ключевые слова: структурный парагенез, геологическая среда, динамическая обстановка, дискретность, фрактальность, сплошность, масштабный уровень (ранг).

Theoretical bases of the structurally-paragenetic method of reconstruction of geodynamic conditions are critically analysed in a view of ideas about nonlinear dynamics and coarsely-discrete fractality of the geological medium. Incorrectness of reconstruction without taking into account bifurcations of structurization and its strong dependence on distinctions of initial conditions, unreliability of recognition of concrete paragenetic ensembles of different age, type, rank and of direct observant and experimental examination of accordance of reconstruction to real conditions of the geological past are shown.

Key words: structural paragenesis, the geological medium, dynamic conditions, discreteness, fractality, continuity, a scale level (rank).

Введение. В начале 60-х гг. XX в. в отечественной геологии на основе полевых наблюдений, экспериментальных и теоретических моделей механики были выдвинуты утверждения о том, что различные геодинамические обстановки должны устойчиво порождать соответствующие им парагенетические наборы структурных форм, в частности разрывов, геометрически и кинематически взаимосвязанных тем или иным, но в каждом случае вполне определенным образом. К настоящему времени эти представления трудами прежде всего А.В. Лукьянова, а также П.М. Бондаренко, В.А. Галкина, О.Б. Гинтова, М.А. Гончарова, О.И. Гущенко, С.Ю. Колодяжного, М.Л. Коппа, Р.М. Лобацкой, В.С. Милеева, Ю.А. Морозова, Д.Н. Осокиной, Е.И. Паталахи, Л.М. Расцветаева, Ю.Л. Ребецкого, К.Ж. Семинского, Л.А. Сим, В.Г. Талицкого, Арк. В. Тевелева, Н.С. Фроловой, С.И. Шермана, Ф.Л. Яковлева и др. сложились в развитую концепцию, широко привлекаемую для решения фундаментальных и практических проблем. В работе [Гончаров и др., 2005] акцентированы закономерности структурообразования в условиях иерархической делимости геологической среды [Садовский и др., 1987]. В сочетании с концепциями нелинейной динамики и фрактальной геометрии природы они приводят к качественному пересмотру многих устоявшихся взглядов в теории, методологии и практике геодинамического реконструирования и прогнозирования [Короновский, Наймарк, 2009; Наймарк,

1996, 1997, 1998, 2009]. Распознаваемость ансамблей дислокаций, характер структурно-динамической геоэволюции оказываются намного сложнее, чем представлялось ранее.

Подробный анализ состояния проблемы и трудностей ее решения был дан авторами в электронном научном издании «ГЕОразрез» [Короновский, Наймарк, 2008]. Показано, что в свете представлений о грубой дискретности геосреды и чувствительности нелинейных процессов к начальным условиям возможности метода структурных парагенезов в его нынешнем виде требуют серьезной переоценки. Однако с 2011 г. упомянутый сетевой ресурс закрыт, публикация недоступна. В статье частично восстанавливается содержание утраченной работы и развивается теоретический анализ возникшей методологической коллизии.

Об определениях структурного парагенеза. Применение анализируемого метода начинается с распознавания определенного структурного ансамбля в наблюдаемой картине геологического строения. Но у исследователей нет единодушия относительно того, что такое структурный парагенез (СП), каковы признаки, необходимые и достаточные для надежного выявления генетической общности дислокаций.

По [Лукьянов, Щерба, 1972], СП — это устойчиво повторяющиеся, целостные комплексы *элементарных* структурных форм, составляющие морфологически сходные тектонические зоны и отличающиеся по

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, зав. кафедрой, проф., докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* koronovsky@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* fnaim@ya.ru

структуре от соседних участков. По Л.М. Расцветаеву [1987], дизъюнктивные СП — это естественные, многократно повторяющиеся и упорядоченные ассоциации закономерно сонаходящихся, тектонически одновозрастных, определенных по морфокинематике и ориентации дизъюнктивов *одного масштабного ранга*. По В.С. Милееву [1978], в отличие от вышесказанного, СП — это все формы, возникшие одновременно в едином генеральном поле напряжений, но *резко разномасштабные*, тип совокупности которых определяется морфологией складчатых форм первого порядка и генетически связанных с ними разрывов. По В.Д. Вознесенскому [1984], СП — это ассоциация *разновеликих* структурных форм, приблизительно одновозрастных и пространственно тесно связанных. В.И. Старостин [1988] полагает, что СП — совокупность разнотипных и *разномасштабных* складчатых и разрывных нарушений, возникших в одном и том же тектоническом режиме в определенном временном интервале. По М.А. Гончарову и др. [2005], СП — это совокупность структурных форм, сонаходящихся и сформировавшихся в «определенной единой» геодинамической обстановке.

Из приведенных определений следует, что множество структурных элементов с устойчивыми взаимосвязями — *пространственной* (сонахождение), *временной* (одновозрастность), *системной* (упорядоченность, целостность) — должно иметь некоторую общую причину происхождения. Вместе с тем значимость разных признаков СП оценивается неодинаково. Так, примечательны и, как будет показано далее, не случайны различные мнения относительно «тектонической одновозрастности», одномасштабности или разномасштабности структурных элементов в составе СП.

Для решения *прямых* геодинамических задач было бы достаточно определить СП как совокупность дислокаций, непосредственно получаемую (или аналогичную ей) в механической обстановке, которая задается в конкретном эксперименте. Генезис таких совокупностей определяется их устойчивым появлением именно в заданной ситуации. Чтобы решить *обратную* задачу, т.е. восстановить механическую обстановку по заданной структуре, нужно сначала распознать некоторый конкретный СП, руководствуясь его определением, из которого, однако, известно лишь то, что он порождается некоторой конкретной обстановкой. Но ее-то как раз и предстоит восстановить... по парагенезу! Это логический порочный круг, а *существующие определения не содержат универсальных и практически применимых указаний для распознавания именно парагенетических наборов дислокаций*. Экстраполяции же результатов экспериментов с квазисплошной модельной средой на процесс структурообразования в реальной геосреде во многом остродискуссионны.

Об «определенных», «единых» механических обстановках, о «целостности» и ранговости связанных

с ними структурных парагенезов. Главным признаком любого из весьма разнообразных СП называют (или подразумевают по смыслу самого понятия) его целостность, обусловленную той или иной, но в каждом случае некоторой «определенной, единой» механической обстановкой. Она, однако, может быть элементарной или неэлементарной, однородной или неоднородной, одноранговой или неодноранговой, стационарной или нестационарной.

Элементарность динамической обстановки устанавливается по очевидным и простым соответствиям наблюдаемой картины и одной из теоретических моделей элементарного (неразложимого) парагенеза. *Неэлементарность* обстановки может быть проявлена и вызвана в макрообъеме дискретной среды трансформацией динамических условий на вмещаемых мезо- и микронеоднородностях. Возникающий парагенез включает: а) ансамбль элементов наинизшего ранга, *непосредственно* связанных с динамической обстановкой, общей для макрообъема в целом; б) ансамбли элементов подчиненных рангов, усложняющие и маскирующие низкоранговый ансамбль, в общем случае отличные от него и различающиеся между собой, но тем не менее также *связанные* с генеральной обстановкой, хотя и все более опосредованно на каждом более высоком ранге.

Сказанного уже достаточно для предположений о том, что *в натуральных неэлементарных и неоднородных обстановках разного типа и ранга распознаваемость структурных ансамблей, их сопоставимость с экспериментальными, а значит, и их генетическая идентифицируемость не могут быть ни простыми и очевидными, ни заведомо достоверными*. Необходим сравнительный анализ наблюдаемых структур и различных теоретических моделей парагенезов. Только после проверки гипотез о сходстве между ними натурные ансамбли можно (или нет) признать парагенезами определенных типов, и лишь после этого они станут (или нет) основой палеогеодинамических реконструкций.

Выявление СП осложняется неоднозначностью оценок возрастных и ранговых соотношений и разновременностью как отдельных реальных нарушений, так и их ансамблей. Так, *разрывообразование, развиваясь в целом от «микроструктурных» нарушений к мезо- и макроструктурным, после возникновения каждого из них, т.е. на закрытой стадии, повторяет эту последовательность локально, в зонах их динамического влияния*, — вновь начиная с образования наиболее высокоранговых, но уже «вторичных» дислокаций (по отношению к более ранним, первичным), а затем «третичных» и еще более поздних. Рассмотрим это подробнее.

О «тектонической одновозрастности» элементов структурного парагенеза. Один из традиционных критериев выделения парагенеза — «относительная одновозрастность» его элементов как следствие возникновения в ходе некоторого «одного этапа» деформирования. В реальности же *один этап*, за-

вершившийся формированием ансамбля наинизшего ранга, скрывает на каждом из более высоких рангов последовательно возрастающие *множества этапов*, а внутри них — докритических и закритических стадий с появлением ансамбля разноранговых, разновозрастных, разностадийных парагенезов [Наймарк, 1998]. Они последовательно накладываются на более ранние дислокации и вместе с ними вовлекаются в позднейшие деформации и перемещения. Итог — многоранговый «парагенез парагенезов», возникший в ходе одного этапа деформирования в поле напряжений наинизшего ранга, но за разное число этапов на более высоких рангах.

В таком понимании *многоранговый парагенез* — категория не только структурно-генетическая, но и историческая. Накопление разноранговых, разноэтапных дислокаций и их наборов, претерпевающих затем повороты, искривления, перегруппировки, создает гетерогенную, гетерохронную, необратимо самоперестраивающуюся и пополняемую новыми элементами структуру, эволюция которой чувствительна к малейшим изменениям начальных условий. Не прост и путь к ее геодинамическим интерпретациям. Первый шаг к этому — уяснение того, что представляет собой элементарный парагенез, лежащий в основе такой структуры.

Элементарная обстановка, элементарный объем и структурный парагенез. По И.В. Баклашову [1988], понятие «элементарный объем» связано с основополагающей математической гипотезой о сплошности тела, которая, не ограничиваясь требованием «отсутствия пустот» или «непрерывности минерального заполнения», подразумевает *непрерывность поля напряжений и деформаций*. Изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) в бесконечно малых элементарных объемах, а затем их соединение в строгом соответствии с уравнениями непрерывности деформаций, т.е. без нарушения математической сплошности, лежит в основе механики твердого деформируемого тела. В идеально однородном теле можно было бы выделить сколь угодно малые элементарные объемы, чтобы физическое и математическое понятия сплошности не противоречили одно другому. Но возможно ли это в реальном породном массиве? При каких условиях выделяемые в нем объемы допустимо полагать математически элементарными? Таких условий два.

Во-первых, элементарный объем должен сохранять свойства массива и в то же время быть настолько малым по сравнению с исследуемой областью, чтобы его НДС можно было относить к точке и при анализе НДС переход от элементарного объема к исследуемой области не нарушал бы математическую сплошность в пределах допустимой погрешности.

Во-вторых, объем, рассматриваемый в качестве элементарного, сам должен быть велик настолько, чтобы составляющие его структурные элементы (например, зерна породы) в свою очередь оказались бы

сводимы к точкам, т.е. чтобы *их структурностью* и различиями *их НДС* внутри элементарного объема можно было пренебречь. Таким требованиям, по И.В. Баклашову, удовлетворяли бы, например, при среднем характерном размере *структурного элемента 1 мм*, минимальные линейные размеры *элементарного объема 10 мм*, а *исследуемой области массива 450 мм*. Подобную модельную среду и называют математическими или механически сплошной.

Что же должен представлять собой СП в элементарной обстановке? Любая из них теоретически способна порождать характерный для нее набор определенных типов нарушений, в частности разрывных (например, сколов). Они как возникшие в общих для них динамических условиях должны составлять парагенетический ансамбль. Но последний в элементарном объеме может быть только виртуальным, чисто теоретическим, реализуемым лишь единичным нарушением, поскольку одновременные скальвания по двум или нескольким плоскостям, проходящим через одну точку, физически неосуществимы. Перейдем к более сложным соотношениям.

Структурные парагенезы в сплошной и дискретной средах, в пространственно-временных комбинациях обстановок. По И.В. Баклашову [1988], в механике твердого деформируемого тела принимается математическое понятие сплошности с описанием механических процессов в такой среде непрерывными функциями. Подобная математическая трактовка не исключает физической аналогии, по крайней мере трехрангового строения (изучаемая область тела — элементарный объем — структурный элемент), с достаточно большим, не меньшим чем 10:1, контрастным различием линейных размеров на смежных рангах. В подобной иерархии объем ранга 3 элементарен по отношению к вмещающему объему ранга 2, а объем ранга 2 элементарен относительно объема ранга 1. В такой среде в объеме любого ранга можно обнаружить, хотя и вырожденный, парагенез, созданный динамической обстановкой *только этого же ранга*. Более высокоранговые нарушения механически неактуальны из-за пренебрежимо малых размеров.

Последовательная во времени смена элементарных динамических обстановок в некотором объеме приводит к наложению позднего СП (тоже вырожденного) на более ранний, а при неоднократности этого явления — к чисто суммарному накоплению в материальной среде однородных, но разновозрастных *генетически невязанно связанных* нарушений, образующих некоторый, возможно, упорядоченный, структурный рисунок, но не СП. Для реконструкции истории геодинамических обстановок нужно определить относительный возраст нарушений.

Одновременное влияние (взаимосложение, суммирование) элементарных разнотипных, но однородных динамических обстановок (например, одноосного сжатия и сдвига) порождает, однако, структуру, неидентичную простому суммированию нарушений,

свойственных обстановкам сжатия и сдвига по отдельности. Вновь подчеркнем, что одноранговость парагенеза (вырожденного, в форме единичного нарушения) есть свойство лишь *модели*. Это вовсе не исключает физического наличия в том же объеме более высокоранговых реальных структур, которыми из-за их малости целесообразно пренебречь.

Как уже отмечалось, независимый от априорного знания динамической обстановки и практически применимый для распознавания признак реального СП — его целостность, т.е. его *геометрическое и кинематическое соответствие теоретической модели структуры, формирующейся в динамических обстановках*: а) *элементарной, принадлежащей к одному из 5 известных (и теоретически могущих быть заданными) типов*; б) *неэлементарной, созданной одной комбинацией из бесконечно разнообразных теоретически возможных элементарных обстановок*.

Ясно также, что парагенез как ансамбль дислокаций более чем одного ранга реален и визуально распознаваем только в иерархически устроенной, по меньшей мере двухранговой среде, притом с непреенебрежимо большой (подробнее об этом — ниже) величиной вмещающих структурных элементов относительно вмещающего объема. В такой среде и динамическая обстановка не может быть элементарной, неразложимой, она также заведомо включает разноранговые составляющие. Тем не менее системность, целостность, парагенетичность такой разноранговой, разновременной, разностадийной структуры обеспечивается стационарным в течение того или иного интервала времени генеральным напряженным состоянием наинизшего ранга.

Итак, *«определенность» динамической обстановки СП должна состоять в том, что известно или теоретически задано некоторое конкретное сочетание конечного числа базовых элементарных обстановок*. Для определения типа СП недостаточно зрительного впечатления об упорядоченности и повторяемости его элементов, датированных геологически. *Необходимо обоснованное распознавание целостности ансамбля структурных элементов — его соответствия той или иной теоретической модели парагенеза среди возможно большего числа априорно выделенных сочетаний элементарных обстановок*. Распознаваемость зависит от обоснованности базовых моделей и характера структуры среды (глубины иерархии, соотношений меж- и внутриранговых размерных различий структурных элементов и пр.).

Из сказанного ясно: для распознавания природного СП нужно располагать некими *эталонными моделями* (структурными рисунками). Но откуда взять эталон? Он по определению должен быть универсальным. Следовательно, он не может быть:

а) взятым непосредственно из самой природы, потому что, во-первых, в ней любой структурный рисунок — всегда частный случай; во-вторых, ни для какого из них природа не указала породившие его

динамические условия, т.е. требуется интерпретация исследователя; в-третьих, любая интерпретация всегда исходит из некоторых, принятых исследователем допущений, а значит, она заведомо неабсолютно достоверна и объективна. Остаются еще два возможных источника эталонов:

б) теоретические модели механики деформирования и разрушения. Но они дают лишь теоретические варианты и в принципе не отвечают на конкретные вопросы о том, какой именно вариант, где именно и когда именно реализуется;

в) физические эксперименты, где начальные структурные и динамические условия задаются (адекватно конкретной решаемой задаче) исследователем, но опять-таки на основе теоретических моделей исследователя. Отдельный вопрос: можно ли задать такие условия в эксперименте? Но если и можно, то из этого еще не следует, что реальная картина, пусть и похожая на экспериментальный результат, порождена заданными условиями: приходится считаться с известной конвергентностью признаков в геологии, неоднозначностью и неустойчивостью решения обратных задач.

«Устойчивая повторяемость» как признак структурного парагенеза. Проблема распознаваемости требует уточнить и конкретизировать свойство «устойчивой повторяемости» элементов СП: что именно повторяется, в чем выражена повторяемость, чем она обусловлена, о чем свидетельствует и чем может быть полезна?

Пусть некоторый макрообъем двухранговой структуры подвергается разрушению в условиях сжатия. Возникновение разрывного парагенеза начнется с раскалывания какого-то из вмещаемых объемов ранга 2 с образованием в нем вырожденного парагенеза, например единичного скола; затем то же будет последовательно происходить в других объемах того же ранга. Множество таких сколов во вмещающем объеме ранга 1 — неполный парагенез этого же ранга 1. Появление сквозного макроскола завершает формирование парагенеза ранга 1, делая его полным. Но в нем ансамбль дислокаций ранга 2 может остаться неполным, притом что все эти нарушения — лишь вырожденная, неполная реализация *теоретических парагенезов*.

Таким образом, в иерархически построенных макрообъемах, испытавших *один цикл* макродеформирования, повторяемость обеспечивается множественностью лишь единичных элементов вырожденных парагенезов отдельных (не обязательно всех) объемов каждого ранга. Любые отступления от этого, например часто отмечаемые «взаимопересечения тектонофизически сопряженных сколов» в некотором одном объеме, даже при неразличимости их геологического возраста, — признак *«тектонической разновозрастности»*, принадлежности таких нарушений к *разным циклам деформирования*, что, как покажем ниже, может свидетельствовать о большей или меньшей

переориентации осей напряжений. Отсюда — суммативность, а не системность, не парагенетичность подобного ансамбля. Реконструирование на основе формально-геометрической «сопряженности» дислокаций может дать некое фиктивное, мнимо единое поле напряжений.

Распознаваемость структурных парагенезов и определяющие ее факторы. Экспериментальное исследование разрывообразования нередко начинают, задавая в модельном сплошном (квазисплошном) материале (или в подложке) некий инициирующий макродиэзонктив (рис. 1, 2). Это в корне нарушает подобие исходной модельной и реальной структур, а значит, и ход последующего структурообразования. В естественных условиях никакой макроразрыв не мог бы возникнуть без опережающего самоорганизованного, существенно непредсказуемого микро- и мезо-растрескивания с формированием разномасштабных, разнотипных и разновозрастных СП. Изначальное же предопределение местоположения и ориентации формирующейся разломной зоны в целом, исключение возможностей ее взаимосвязей с другими, возникшими ранее, также после соответствующего предразрушающего структурирования, делает этот процесс не самоорганизованным, а существенно организованным. Заметим, из приводимых схем модельных и натуральных СП (рис. 3–5) для наглядности обычно устраняют частично или полностью элементы строения среды, существовавшие к началу формирования выявляемого парагенеза. В реальности же любой парагенетический ансамбль каждого очередного цикла деформирования непременно накладывается на ту или иную уже существующую, разновозрастную и гетерогенную тектоническую, а также седиментогенную, магматогенную, метаморфогенную структуру. По каким же критериям в подобной сложной картине можно обоснованно и воспроизводимо выделять элементы ансамбля того или иного определенного генезиса, типа и возраста, на каком структурном фоне теоретически может возникнуть некоторый *единичный* макроразрыв, будет ли он одним из структурных элементов какого-либо конкретного парагенеза?

Из всего сказанного ясно: реальные структурные ансамбли, в отличие от теоретических моделей, нигде и никогда не могут быть проявлены в чистом, эталонном виде. Составляющие их элементы всегда в большей или меньшей степени осложнены и замаскированы нарушениями и их ансамблями иных типа, ранга, цикла, стадии деформирования. Между тем надежность

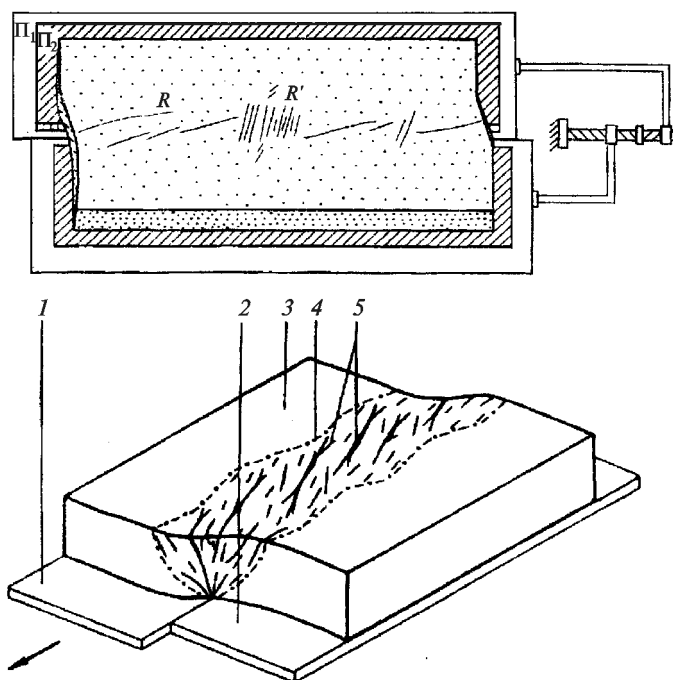


Рис. 1. Физическое моделирование сдвиговых структур (принципиальные схемы): сверху — сдвиговый парагенез, по [Стоянов, 1977]; внизу — сдвиговая зона: 1, 2 — штампы, 3 — упруго-пластичный материал, 4 — граница зоны, 5 — разрывы [Разломообразование..., 1991]

реконструкций геомеханических условий зависит в первую очередь от распознаваемости именно конкретных СП среди прочих структурных форм и их разнообразных комбинаций, всегда присутствующих в породном массиве.

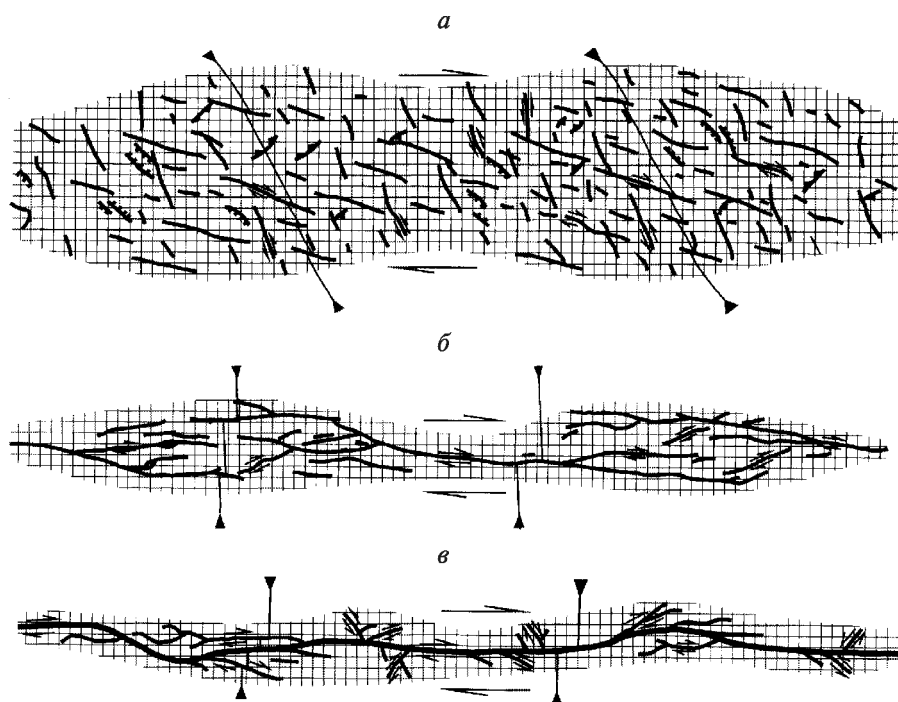


Рис. 2. Стадии формирования структуры правосдвиговой зоны (сверху вниз): ранняя, средняя, поздняя. Физическое моделирование (принципиальная схема, фрагмент), по [Семинский, 2003]

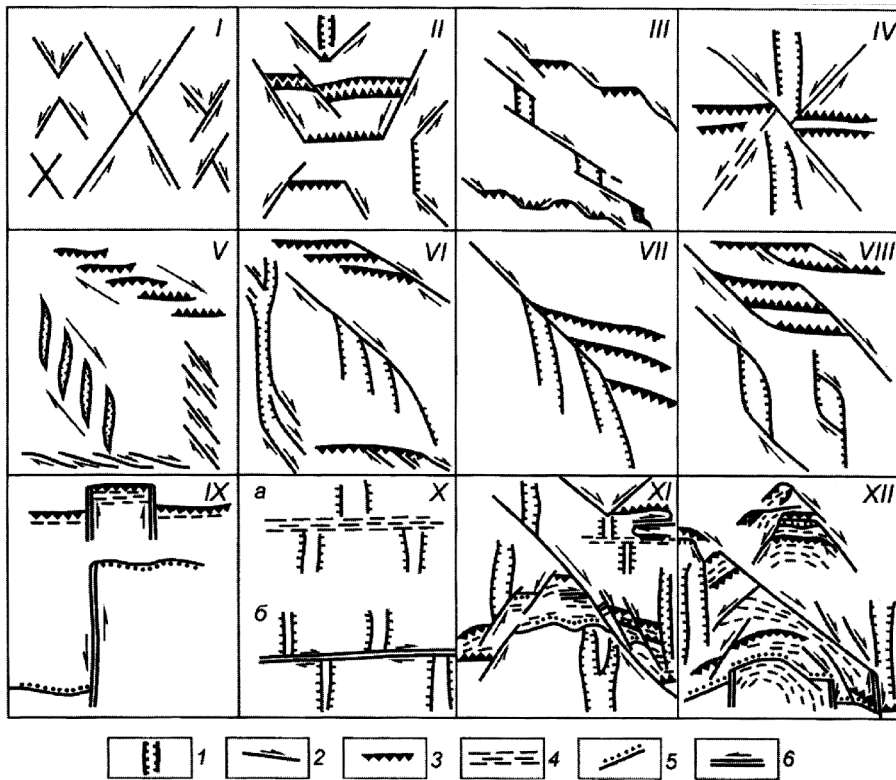


Рис. 3. Структурные рисунки некоторых типовых парагенезов тектонических нарушений, по [Расцветаев, 1987]: 1 — раздвиги, 2 — сдвиги, 3 — надвиги, 4 — зоны сплющивания, 5 — тектонические покровы, 6 — зона сдвига

При анализе разрывных парагенезов принципиально важны три момента. Во-первых, в ненарушенной среде любой макроразрыв возникает только после опережающего предразрушения — многорангового и многостадийного растрескивания, зарождающегося и распространяющегося от множества всегда изначально имеющих в реальных массивах микроструктурных ослаблений. На начальной стадии дезинтеграции кинематика каждого формирующегося независимо от других мелкого нарушения статистически определяется непосредственно характером однородного генерального макронапряжения в соответствии с теоретиче-

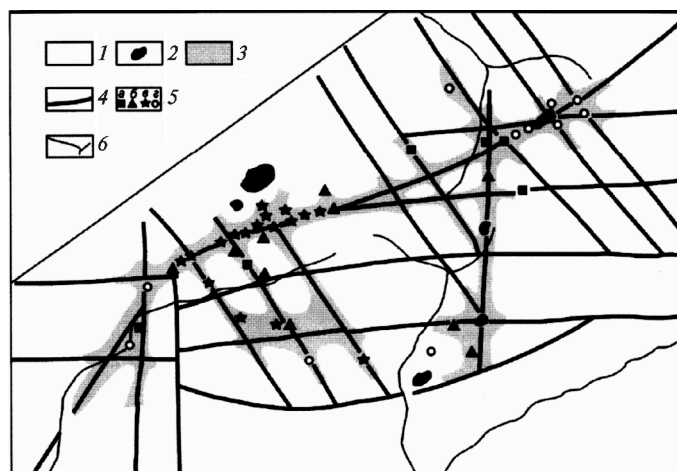


Рис. 4. Разломы и рудопроявления на одном из участков Баджалской вулканической зоны (Приамурье), по [Кулиш и др., 1982]

ской моделью разрывообразования в сплошной среде. На последующих стадиях по мере разрастания и взаимосочленения трещин процесс структурирования среды идет — даже при сохранении характера генерального нагружения — в условиях постоянной перестройки разномасштабных локальных полей напряжений. Исходной генеральной ориентации осей макронапряжений в тот или иной момент будут отвечать только наиболее крупные макроразрывы из успевших сформироваться, и то лишь пока они остаются взаимно разобщенными, не взаимодействующими. Ориентации же нарушений более высокого ранга должны в соответствующих локальных полях напряжений группироваться на розах-диаграммах в пары сопряженных (симметрично оси σ_3 макронапряжений) вееро- и левосдвиговых сколов со случайным разбросом значения углов. Ориентации еще более мелких сколов — под действием сомасштабных им высокоранговых

локальных напряжений — будут образовывать собственные веера сколов, накладывающиеся на ранее образовавшиеся разрывы.

Во-вторых, подобное структурирование происходит и в смежных объемах, и во вмещающем их макрообъеме. Порождаемые этим внешние возмущения напряженного состояния в исследуемом объеме дополнительно к внутренним флуктуациям каждый раз меняют ориентацию плоскостей скалывания в нем на всех рангах. В результате к моменту завершения уже первого цикла макроскалывания возникает сложная, иерархически построенная сеть многочисленных, разновременных и разномасштабных разрывов, сместители и направления подвижек которых могут иметь разнообразную ориентацию [Наймарк, 1998]. И

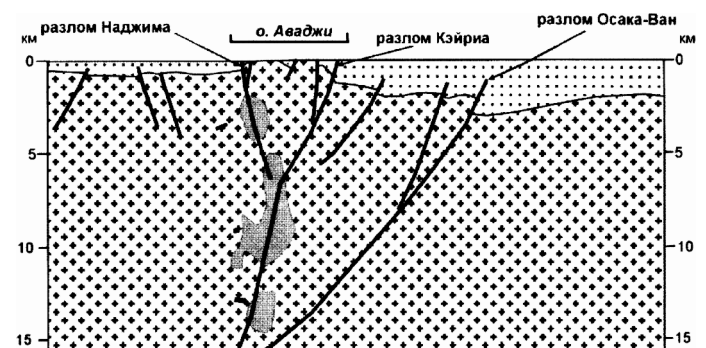


Рис. 5. Взбросовая зона, активизированная землетрясением 1995 г. (г. Кобе, Япония; затенены ареалы афтершоков), по [Sato et al., 1998]

среди них, особенно при достаточной длительности деформирования и разрушения, всегда будут существовать формально геометрически и кинематически «сопряженные» (разобщенные или пересекающиеся) сколы с биссектрисами углов между ними, ориентированными по каким угодно направлениям. Очевидно, что *подобная «сопряженность» разноименных сколов недостаточна для вывода об их парагенетичности, а реконструируемое на такой основе поле напряжений может оказаться фиктивным.*

В-третьих, в теоретической модели механизма разрывообразования имеется в виду ранговость не разрывов как структурных форм, и не подвижек, суммированных за несколько циклов движения по разрывам, а одноцикловых (одноактных, однонаправленных, непрерывных) смещений, для которых потребовалось бы корректное выявление статистически достоверной и значимой дискретности спектра площади их реализации. Получить достоверную информацию об этом в полевых наблюдениях нереально. Ранговая разбраковка была бы возможна хотя бы при приблизительном соответствии соотношения амплитуд смещений соотношениям размеров структурных элементов на смежных рангах — 10:1 или более, т.е. в условиях квазисплошности среды. В реальности же, когда подобные соотношения составляют около 3,5:1, т.е. в грубодискретной среде, это требует специальных исследований.

Трудности распознавания СП и реконструкции динамической обстановки возникли бы и при корректном выделении геологически одновозрастных, одноранговых разноименных (правых и левых) сколов, взаимопересекающихся под углом около 90°, так как при величине угла реального скальвания около 45°, единственная теоретически допустимая общая для них ориентация оси σ_3 точно совпадает с биссектрисой угла между ними. Отклонение в сторону одного из сколов указывало бы на величину угла скальвания по другому сколу более 45°, что в условиях сжатия нереально. Поскольку одновременное скальвание по двум таким взаимопересекающимся сечениям физически невозможно, подобные сколы должны быть — при их одномасштабности и геологической одновозрастности — обязательно разновременными. Но тогда для каждого из упоминавшихся «сопряженных» разрывов ориентация оси напряжений σ_3 могла отклоняться от биссектрисы теоретически на $\pm 45^\circ$, причем именно вероятность строго биссекторной ориентации минимальна.

При взаимопересечении разноименных сколов в диапазонах 90–45 и 45–0° вероятность их образования в условиях общей для них оси σ_3 возрастает, но точность ее определения уменьшается. Наконец, при их взаиморазориентации 45° вероятность формирования при общей для них ориентации оси σ_3 максимальна, но точность ее определения минимальна: $\pm 22,5^\circ$ относительно биссектрисы угла между сколами. Следовательно, лишь в этой последней ситуации параге-

нетический анализ приводит к наиболее достоверной реконструкции общей для обоих сопряженных сколов геодинамической обстановки, хотя и с невысокой точностью. В остальных же случаях реконструкция теоретически допустимой общей ориентации оси σ_3 хотя и точнее, но неоднозначнее. Выбор реального варианта реконструкции из теоретически допустимых потребовал бы в подобных ситуациях большего усложнения методики парагенетического анализа.

Необходимо учитывать и то, что поля напряжений, а значит, и теоретически отвечающие им ориентации сместителей разрывов способны даже на низких рангах более или менее значительно перестраиваться геологически мгновенно — за сотни и даже десятки лет, например, в связи с землетрясениями соответствующей энергии. В случаях подобных перестроек сколы, принадлежащие к различным СП, могут восприниматься как геологически одновозрастные и при их соответствующей взаиморазориентации и кинематике могут быть ошибочно отнесены к единому СП. Но, как уже отмечалось, даже в рамках единого СП смещения по взаимопересекающимся сечениям должны быть обязательно разновременными.

В этих обстоятельствах актуален, но трудно выполним учет постсдвиговой пластической деформации, в результате которой даже истинные парагенетические сколы, возникшие приблизительно одновременно и разориентированные на 90°, (но не пересекающиеся), могут затем разориентироваться еще больше, и предположение об их образовании в общем поле напряжений станет *исходя из наблюдаемой картины* теоретически недопустимым. В других случаях, напротив, возможно угловое сближение ранее образовавшихся разноименных, парагенетически невзаимосвязанных сколов, такое, что ошибочный вывод об их образовании в общем поле напряжений окажется формально теоретически допустимым.

В реальной, глубоко иерархически устроенной и длительно деформируемой геологической среде на основании лишь натуральных наблюдений и замеров сложно определить, результатом перемещений каких ранга, амплитуды, знака, цикла является наблюдаемая разориентация тех или иных конкретных разрывов. Использованию же осредненных оценок, эффективному в условиях квазисплошности, препятствует грубо неоднородная на всех рангах структурированность среды.

Между тем к дислокациям, сформировавшимся якобы парагенетически в едином поле напряжений некоторого *одного ранга*, нередко относят такие нарушения, размеры которых различаются больше чем на порядок. При этом не указывается, наблюдались ли разрывы, не укладываемые в такой парагенез по своей геометрии и кинематике. Если не наблюдались, то возникают сомнения в достаточной изученности структуры, непонятно, какой физический механизм мог породить в грубодискретной геосреде однородное поле напряжений и целостный СП со столь разнообразными дислокациями. Если же «неподходящие»

разрывы отмечались, то по каким признакам одни нарушения включались в СП, а другие исключались? Возможно, к СП неправомерно относили разноранговые и разновозрастные разрывы, осознанно или неосознанно отбирившиеся по формальному соответствию их ориентаций и кинематики теоретическому эталону для сплошной среды, вольно или невольно подстраивая картину наблюдаемой реальности к такой априорной схеме.

Заключение. Теоретические основы методов реконструкции геодинамических обстановок по СП сформулированы десятилетия назад. Нынешние представления о зарождении, развитии и группировании дислокаций принципиально отличаются от прежних; совершенствуются и методы геодинамических реконструкций. Но влияние традиционных теоретико-методических подходов, не учитывающих грубодискретную фрактальность геологической среды, бифуркационность структурообразования, его сильную зависимость от малейших различий начальных условий, проявляется нередко. Между тем непосредственная опытная проверка адекватности

получаемых реконструкций реальным обстановкам геологического прошлого — нереальна. Косвенные же признаки интерпретируются в зависимости от существующих представлений о характере структурированности геосреды, о физических механизмах структурообразования в ней. Давно назревший пересмотр этих взглядов еще далек от завершения.

То что СП разных типа, возраста, масштаба существуют в земной коре, не может вызывать сомнений. Но надежное, не полуинтуитивное, а теоретически доказательное и подтверждаемое практикой распознавание конкретного СП в грубодискретной среде в весьма общем случае столь затруднительно, что это может обесценивать преимущества данного метода, существовавшие в замысле. Нельзя исключить возможность в каких-то отдельных, благоприятных ситуациях выявить, может быть интуитивно, истинный СП. Однако к эмпирическим подтверждениям и особенно к теоретическим обоснованиям того, что, несмотря на вышеизложенные трудности, выявить СП удалось, необходимо предъявлять теперь новые, повышенные требования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баклашов И.В.* Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988. 271 с.
- Вознесенский В.Д.* Структурные парагенезисы // Изучение тектонических структур: Метод. пособие по геологич. съемке м-ба 1:50 000. Вып. 16. Л.: Недра, 1984. С. 84–101.
- Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С.* Введение в тектонофизику: Учеб. пособие. М.: КДУ, 2005. 496 с.
- Короновский Н.В., Наймарк А.А.* Концепция структурных парагенезов в свете идей о дискретности геологической среды // ГЕОразрез. Электронное научное издание. Университет «Дубна». 2008. Вып. 1. С. 1–25.
- Короновский Н.В., Наймарк А.А.* Прогноз землетрясений — реальная научная перспектива или вызов науке? // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 1. С. 12–22.
- Кулиш Е.А., Бондаренко Е.И., Воеводин В.Н.* и др. Роль разломов в локализации магматизма и оруденения в Баджальской вулканической зоне (Приамурье) // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона. М.: Наука, 1982. С. 138–151.
- Лукьянов А.В., Щерба И.Г.* Парагенетический анализ структур как основа тектонического районирования и составления среднемасштабных структурных карт складчатых областей // Тектоника Сибири. Т. V. М.: Наука, 1972. С. 15–24.
- Милев В.С.* Структурный парагенез — основа корреляции структурных форм, сформированных в единых динамокинематических условиях // Принципы и методы изучения структурной эволюции метаморфических комплексов. Л.: Наука, 1978. С. 44–55.
- Наймарк А.А.* Структурированность геологической среды и физический механизм разрывообразования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. Ст. 1. 1996. № 3. С. 27–35; Ст. 2. 1997. № 1. С. 10–15.
- Наймарк А.А.* Реверс-каскадная модель процесса разрывообразования и структурные парагенезы // Изв. вузов. Геология и разведка. 1998. № 3. С. 3–9.
- Наймарк А.А.* Грубодискретная фрактальность геологической среды и проблемы тектонофизического моделирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 5. С. 3–11.
- Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. Новосибирск: Наука, 1991. 202 с.
- Расцветаев Л.М.* Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. Ч. 2. М.: Наука, 1987. С. 173–235.
- Садовский М.А., Нерсесов И.Л., Писаренко В.Ф.* Иерархическая дискретная структура литосферы и сейсмический процесс // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука, 1987. С. 182–191.
- Семинский К.Ж.* Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 244 с.
- Старостин В.И.* Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 261 с.
- Стоянов С.С.* Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 с.
- Sato H., Hirata H., Ito T.* et al. Seismic reflection profiling across the seismogenic fault of the 1995 Kobe earthquake, southwestern Japan // Tectonophysics. 1998. Vol. 286. P. 19–30.