

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УЗОРЫ И СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА
АРХЕЙСКИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ПРИНЦИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. Статья 2****П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк***КНЦ РАН, Апатиты**Поступила в редакцию 27 февраля 2012 г.*

Аннотация. Структурные узоры уникальных геологических ансамблей с железистыми кварцитами обычно экстраполируются исключительно эвклидовыми геометрическими фигурами (линиями, призмами и т.п.). Подчеркнуто, что линейные генетические модели, опирающиеся на аксиоматику слоеобразования в водной среде, не отвечали реально наблюдаемым контурам тел железистых кварцитов. Реальные структурные узоры представляют собой фракталы, много полнее отражающие и геометрию, и, как показали дальнейшие исследования, – динамические параметры среды зарождения геологических объектов самого разного генезиса. Использование фрактальных свойств структурных ансамблей расширило поле зрения геологов. В него стали попадать выявленные, но обычно не востребуемые свойства железистых формаций. Это потребовало изменить стереотип успешного исследования проблемы ПЖФ, базирующегося на причинах, силах и механизмах. Предпочтение отдается реально наблюдаемым отношениям, связям и времени, т.е. структурам, минеральным ассоциациям, геометрическим формам и временным соотношениям пород, как это рекомендует теория структур или теория самоорганизации.

Ключевые слова: фрактальные мотивы, перколяционные кластеры, упорядоченность сложных систем, синергетика и синергетический принцип ограничения, рудные месторождения.

Abstract. Structural patterns of unique geological ensembles with ferriferous quartzites are usually extrapolated exclusively эвклидовыми geometrical figures (lines, prisms, etc.). It is frequently the typical linear genetic models, based on layerforming axiomatics in the water medium, did not agree with really observable contours of iron ore bodies. Real structural patterns represent the fractals, which are reflecting much more full both geometry and dynamic parameters of the of the origin environment of geological objects of the most different genesis. Use fractal properties of structural ensembles has expanded a field of vision of geologists. In it began to get revealed, but it is usual, unclaimed properties of B.I.F.s. It has demanded to change a stereotype of successful researche of problem B.I.F.s based on the reasons, forces and mechanisms. The authors is given the preferences for really observable relations, connections and time, i.e. structures, mineral associations, geometrical forms and temporal relations of rocks as it is recommended with the complexe structures theory or the self-organizing theory.

Key words: fractal motives, percolation clusters, orderliness of complex systems, synergetics and synergetical restriction principle, ore deposits

Введение

Геометрическое описание объектов, безусловно составляющее основу геологии, как структурной, так, несомненно, и рудной, нашло отражение в таких ее базовых понятиях, как морфология, структура, текстура, дислокация и др. По традиции основной интуитивного понимания геометрии геологических структур служат Евклидовы фигуры: прямые, окружности, сферы, плоскости и т. д., – а любые отклонения от этих форм объясняются некими наложенными деструктивными процессами

(складчатость, разломы, пластические течения в породе и пр.). Вместе с тем, математикой уже давно разработано множество понятий, выходящих за рамки традиционной геометрии. Назовем, к примеру, множества Кантора, рассыпающиеся в пыль при все больших увеличениях, кривые фон Коха с бесконечным периметром, удивительные по красоте «ковры» и «салфетки» Серпинского, «чудовища» Пеано и Жулиа, – много полнее отражающие и геометрию, и, как показали дальнейшие исследования, – динамические параметры среды зарождения геологических объектов самого разного генезиса. Справедливости ради отметим, что эти

понятия долгое время не находили применения не только в геологии, но и в более «продвинутых» областях естествознания в силу своей кажущейся абстрактности и слишком уж разительных отличий от традиционных представлений об устройстве Вселенной.

Геологам неплохо известны «фрактальные» мотивы в организации таких объектов, как складки, полосчатость, зональность вещественных комплексов – от кристалла до многометровой породной серии. Однако фрактальный анализ становится неотъемлемой частью геологического анализа лишь в самое последнее время [6]. К сожалению, наблюдаются примеры, когда геологам с их традиционным профессиональным интересом к различным узорам навязывается сугубо формальная трактовка фракталов: дескать, последние сами по себе никакого физического, а значит, и геодинамического, смысла не несут. В упомянутой выше работе мы подчеркнули узорность такого понимания геологических фракталов. В частности, фрактальная размерность береговых линий, изрезанность которых является результатом конкуренции и компромисса эндогенных и экзогенных факторов, содержит важнейшую информацию о геодинамической активности территорий. Так, фрактальная размерность береговой линии Ю. Америки и Скандинавии с их высокой геодинамической нагрузкой достигает 1,5, а Ю. Африки и Австралии с самой слабой сейсмической нагрузкой – не более 1,1.

Подчеркнуто, что линейные генетические модели, опирающиеся на аксиоматику слоеобразования в водной среде, не отвечали реально наблюдаемым контурам тел железистых кварцитов. И такое несоответствие контуров рудных тел и привычных схем «осадконакопления» трактовалось как последующее искажение под воздействием наложенной тектоники.

Поскольку в таких конструкциях узоры и размещенное в них вещество считались разновозрастными (вещество – это этап образования, а структура – преобразования!), акцент в разработке генезиса делался на веществе. Здесь и коренятся кризисные следствия. С бесконтрольным «размножением» вариантов структурно-геодинамических и генетических трактовок и построений противоречия не устранялись, а лишь подчеркивали физическую неадекватность этих моделей.

«Ландшафтно-климатический» (актуалистический) подход к проблемам раннего докембрия, разрабатываемый в 50–70-е годы [1–6], главный упор делал на восстановлении палеогеографических

обстановок терригенно-хемогенных железорудных осадков и выявлении климатической зональности в их распределении. Но полное отсутствие такой зональности – ПЖФ Гренландии и Бразилии, КМА и Канады не имели явных различий, указывавших бы на их формирование в разных климатических зонах или же в разных ландшафтных обстановках, – вызвало к жизни вулканогенно-осадочную доктрину.

Очень скоро дискуссия между сторонниками «терригенного» и «вулканогенного» подходов к интерпретации одних и тех же данных по геологии ПЖФ переросла в хроническую вялотекущую форму, поскольку в ходе нее так и не появился тот решающий аргумент, который был бы в состоянии сдвинуть проблему из области умозрительных дискуссий к получению принципиально нового знания. Кажущаяся возможность быстрого и сравнительно эффективного решения вопроса, решения, которое, как казалось, было простым и доступным. «Имей в виду, – полушутя говорил известный знаток железных руд проф. М.С. Точилин, – есть две проблемы, в которых всякий геолог считает себя специалистом. Это тектоника и железистые кварциты».

В сущности, несложная технология поисков, разведки и геологического обслуживания железорудных месторождений оказалась индифферентной к дискуссиям об их генезисе. Последние постепенно стали больше напоминать религиозные различия библейских сюжетов, чем дискуссию по фундаментальной проблеме естествознания. Дискуссии были посвящены не столько реальным геологическим объектам, сколько некоему фантому с навязанными ему свойствами. Вот основной: железистые кварциты (или, как сейчас принято – ВЖФ или ПЖФ) – это изначально горизонтально залегающая стратифицированная толща, зональность которой определяется принадлежностью к седиментационной латерали, а полосчатость – периодическими изменениями в окружающей водной среде, куда попадали соединения железа вулканического или хемогенно-экзогенного происхождения и т.д. и т.п.

Очевидно, что парадигма исчерпала себя, и выход из тупикового положения надо было искать в новом подходе. Ресурс новых идей возник в связи с активным проникновением в геологические науки основных принципов теории сложных систем (синергетики). Лауреат Нобелевской премии по химии (!) Илья Пригожин сделал в начале 90-х годов выдающееся для не-геолога заявление: «Недавно идеи неравновесной физики нашли многообещаю-

щие приложения в области геологии...; в многочисленных геологических отложениях для целого ряда пространственных масштабов наблюдается занятая регулярность структур: метаморфические слои и т.д. Согласно традиционным взглядам, эти структуры объясняются «последовательными» явлениями... Однако выясняется, что более удовлетворительной является интерпретация, основанная на представлениях о нарушении симметрии за счет переходов, вызванных неравновесностью системы. Если такая точка зрения в дальнейшем подтвердится, то это очень сильно повлияет на интерпретацию происхождения многочисленных геологических отложений» [7, с. 54]. Гениальное утверждение физика, предположившего, что прогресс геологии следует ожидать лишь на базе адекватной физики! Благодаря его благожелательному вниманию и моральной поддержке наших исследований в самое трудное время для их утверждения, появилась возможность (желание приступить к этому возникло раньше) перевести канонические модели геологии на адекватную физическую основу. Это означало бы, что переосмысление состоятельности сложившейся геологической аксиоматики должно осуществляться исключительно (!) на основе прямого физического смысла, без «посредничества» так называемого геофизического, столь распространенного в формировании «достижений» динамической и рудной геологии последних десятилетий.

Только поэтому в поле нашего зрения стали попадать выявленные, но обычно, не востребуемые, свойства железистых формаций [8, 9]. Благодаря этому мы были вынуждены отойти от сложившегося стереотипа успешного исследования проблемы ПЖФ, базирующегося на причинах, силах и механизмах, завязанных на доминирующих гипотезах. Мы отдали предпочтение реально наблюдаемым *отношениям, связям и времени*, т.е. структурам, минеральным ассоциациям, геометрическим формам и временным соотношениям пород, как это рекомендует теория структур или теория самоорганизации [8, 10–13]. Это сразу выявило противоречивость, порой даже парадоксальность трактовок в строении месторождений ПЖФ, выпадающих из рамок традиционного подхода.

Мы их и коснемся в настоящей статье.

Свойства полосчатости ПЖФ

Сложная многопорядковая слоистость, обусловленная послынными вариациями минерального состава, количественного соотношения минералов, их свойств, размера зёрен и т. д., вне всякого сом-

нения, является наиболее характерной чертой железистых кварцитов, что и нашло свое отражение в названии всей формации. Как следствие, проблема образования полосчатости чаще всего попросту отождествляется с проблемой происхождения всей (!) железорудной формации. Вот примерная логическая канва рассуждений (по умолчанию): *полосчатость – это слоистость → изначально горизонтальное залегание → изначально пластовая или линзовая форма тел → и любое отклонение от последней – это следствие последующей (!) складчатости или последующей блокировки*.

Поэтому в подавляющем большинстве работ эта канва и определяла схему генетических построений, суть которых сводилась к рассмотрению гипотетических механизмов формирования неметаморфизованной слоистой толщи из оксидов железа и кремния. А метаморфизму, складкообразованию и другим *реально* фиксируемым процессам в формировании современного облика железистых кварцитов отводится, как правило, вторичная роль. Но если первое умозрительно, то второе вполне осязаемо. Например, один из наиболее активных исследователей проблемы полосчатости железистых кварцитов Д. А. Кулик отмечает, что «...полосчатость железистых кварцитов очень устойчива: в то время как минеральный состав и микроструктуры претерпевают при метаморфизме значительные изменения, – она наследуется на всех ступенях метаморфизма» [14, с. 3]. По сути, это высказывание являет собой лишь признание того факта, что все железистые кварциты полосаты, так как непрерывных переходов минерального состава внутри полос, конечно же, никто не наблюдал.

В работах «актуалистического» направления постулируется, что всё разнообразие полосчатости обусловлено различными периодическими явлениями в водной (!) среде аккумуляции: всплесками и спадами вулканической деятельности, периодическими климатическими явлениями, дневными колебаниями освещенности, вспышками солнечной активности, периодичностью жизнедеятельности фитопланктона и т. д. [6, 15–29 и др.].

Вне сомнений, что такое разнообразие моделей образования полосчатости одних и тех же вещественных комплексов обусловлено несколькими причинами. *Во-первых*, пик активного изучения железистых кварцитов пришёлся на 1950–1970 гг., когда ещё не существовало фрактальной геометрии, теории детерминированного хаоса и самоорганизованной критичности (СОК), так что любые попытки оценить структуру полосчатости количествен-

ными методами сводились на нет шумоподобным типом сигналов обрабатываемых рядов. Во-вторых, в указанных породах нет никаких признаков их дометаморфического состояния, кроме полосчатости, которая, как уже ясно, сама по себе полигенна, и кроме уникального химического состава, который гипотетическая протопорода могла бы приобрести несколькими, причем плохо изученными, путями. В-третьих, все известные работы по количественной оценке закономерностей полосчатости рассматриваемых пород касались одних лишь железистых кварцитов, вследствие чего из поля зрения ускользало единство, целостность процессов формирования всего облика ПЖФ.

И наконец, четвертая, и самая существенная причина: все (!) модели являлись линейно-детерминистскими, отражавшими симметричный отклик системы на воздействие внешней среды. На самом же деле железорудные ансамбли имели признаки типичных диссипативных структур – продуктов самоорганизации вещества. Возникшая при этом структурная организация демонстрировала не только наивысшую сложность и упорядоченность, но и явно выраженный нелинейный характер динамики [11]. Только одно это превращало традиционное моделирование в некорректную процедуру, игру изошренного ума, а сами модели становились изначально нежизнеспособными. Из них полностью (!) выпадали такие важнейшие свойства структур, как фрактальность, элементы дальнего порядка, внутренняя когерентность многих, если не всех, подсистем.

Понятно, что к изучению полосчатости пород ПЖФ следовало подходить в ее связи со строением всего разреза формации, а также в связи с другими ее свойствами. Поэтому для анализа полосчатости на количественной основе мы применили способы изучения временных (пространственных) рядов данных, отказавшись от каких-либо геосторических «нагрузок» ввиду крайней идеологизированности последних.

Полосчатость и степень дифференцированности разреза

Рассмотрим пример того, когда полосчатость является согласованной частью всего породного комплекса, т.е. элементом Целого. Это универсальное свойство полосчатой серии предложено использовать в качестве критерия потенциальной рудоносности разреза, названного *модулем дискретности*. Под ним мы понимаем отношение количества межпородных разделов (границ) к единице мощности [30]. По сути, это численный показа-

тель связи полосчатости и дифференцированности всей продуктивной толщи. Модуль дискретности удобен тем, что межпородные границы легко фиксируются геологами разной подготовки. Состав пород и генетические трактовки в данном случае не имеют значения – существенно наличие самой границы.

Наиболее пестрые, контрастные по строению участки разреза оказываются рудными или потенциально рудными (рис. 1). При приближении к рудному телу дифференцированность гнейсовой толщи заметно возрастает, а сам контакт маркируется тонко-полосчатыми гнейсами, подобными по текстуре самим железистым кварцитам. Рудные тела встречаются лишь там, где возрастает дискретность рудовмещающей толщи. Иными словами, решающим условием для концентрации руды внутри разреза является не только вещественный состав пород, но и их дифференцированность. Поэтому в выводе о преимущественной приуроченности железистых кварцитов к лептитовой толще акцент следует делать именно на структурную, а не на «литологическую» или «литолого-стратиграфическую» составляющую.

Что из этого вытекает?

Прежде всего, то, что при модельных построениях полосчатости ограничиваться лишь железистыми кварцитами – значит заведомо идти по пути частностей. Это явление захватывает всю железорудную формацию, от контакта с тоналитами до гематито-магнетитовых железистых кварцитов, расположенных в осевой части рудного разреза, от образования полос до распределения по разрезу главных компонентов и состава, и узора. Образование толщи неразрывно связывает формирование полосчатости со всеми остальными характерными узорами, например, «литологической» зональностью разреза, «джеспилитовой» плойчатостью, «тектонической» линзовидностью и даже «блоковой» делимостью.

Признаки дальнего порядка в строении пород с квазипериодической текстурой являются серьезным аргументом в пользу происхождения их (пород) за счет внутренней динамики, иначе говоря, самоорганизации в среде рудообразования [8, 9, 11, 14, 29–34 и др.]. Это вполне согласуется с теорией химических автоволн [35].

Фрактальные свойства полосчатости

Железистые кварциты лишь на первый взгляд состоят из практически мономинеральных «сливных» слоев. Последние, однако, при больших увеличениях распадаются на еще более мелкие

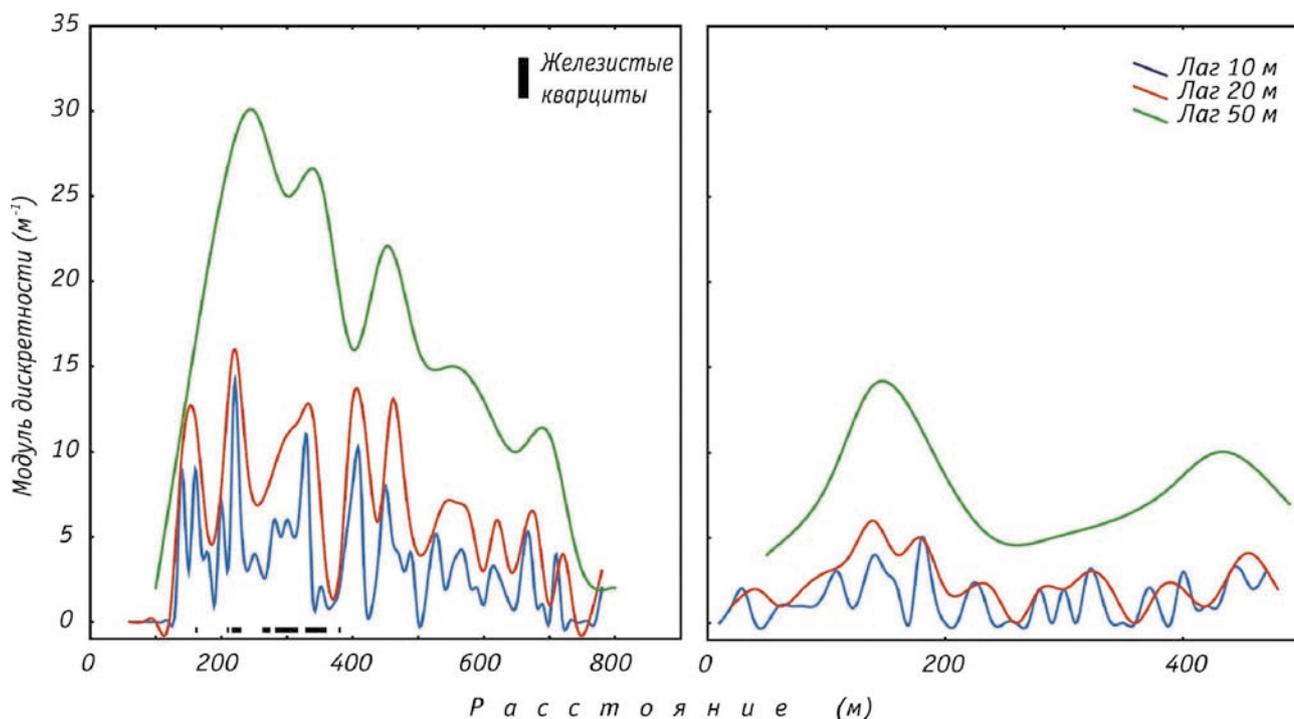


Рис. 1. Вариации модуля дискретности в рудном (слева) и безрудном разрезах ПЖФ (Оленегорское рудное поле, Кольский п-в)

слойки и т.д., вплоть до полосок в 0.05–0.10 мм, сопоставимых с величиной слагающих породу зерен. Такое масштабное самоподобие многих природных объектов, включая слоистые толщи и текстуры горных пород, в последнее время все более привлекает внимание исследователей в связи с развитием сравнительно нового междисциплинарного направления – геометрии фракталов. Как мы уже отмечали, сами по себе фрактальные узоры физической нагрузки не несут. Но будучи распределенными, т.е. зафиксированными сложно организованным веществом, фракталы становятся индикаторами динамических условий зарождения [8].

Фракталом называют иерархически устроенный объект, который состоит из частей, по своей форме в чем-то подобных целому, причем это подобие может быть как геометрическим, так и статистическим [36, 37]. Иными словами, фрактальные объекты самоподобны, т.е. их вид не претерпевает существенных изменений при изменении масштаба. В последние годы идеи фрактальной геометрии нашли свое воплощение в многочисленных геологических исследованиях, от изучения морфологии дендритов, складчатых текстур, слоистых сред до оценки плотности и строения разломных сетей и описания строения месторождений. Различные аспекты фрактальности железорудных толщ докембрия уже попадали в поле зрения [2, 4, 10 и др.], но полезная геологическая информация не была оценена в полной мере.

Слоистость железистых кварцитов является многопорядковой [10, 15, 17, 34]: макрослои, состоящие из микрослоек, в свою очередь составляют ритмы; ритмы, объединяясь, дают пачки ритмов, вплоть до рудных горизонтов. Если рассматривать графики изменения содержания железа в составе этих пород, их окраски, магнитной восприимчивости или минерального состава вкрест полосчатости, то мы очень редко получим строго периодические последовательности слоёв – обычно же такие графики кажутся совершенно беспорядочными. Вместе с тем, не зная пространственного масштаба, практически невозможно определить, какой график соответствует сантиметровому, какой – метровому, а какой – километровому интервалу, поскольку все они подобны друг другу или самоподобны. Эти распространенные факты полностью отвечают понятию *фрактал*.

Мерой оценки отклонения формы фрактала от топологической фигуры является фрактальная размерность (условно: минимальное число координат, требуемых для определения положения любой точки данной фигуры, множества). Если для того, чтобы покрыть некоторое множество d -мер-

ного пространства, требуется $N(r)$ d -мерных фигур (отрезков, квадратиков, кубиков и т.д.) размера r , причем $N(r) \sim r^{-D}$ при $r \rightarrow 0$, то D – фрактальная размерность этого множества [36, 37].

Из выражения (1) напрямую вытекает процедура экспериментального определения размерности магнетитовых слоев: исследуемое множество последовательно плотно покрывается последовательно уменьшающимися ячейками размера r_i , и подсчитывается количество N_i таких ячеек, потребовавшихся для полного покрытия объекта. Если при изменении r величина N изменяется по степенному закону, то показатель степени D есть фрактальная размерность.

Полезно знать об эмпирическом правиле Б. Мандельброта [37], согласно которому, если множество ϕ является произведением двух независимых фрактальных множеств ϕ_1 и ϕ_2 , то фрактальная размерность ϕ равна сумме фрактальных размерностей множеств ϕ_1 и ϕ_2 . Соответственно, в случае прямополосчатого кварцита для оценки полной фрактальной размерности магнетитового агрегата к полученному значению 1D_1 нужно лишь прибавить 2 (или единицу к 2D_1). Но в пloyчатых кварцитах фрактальна как полосчатость, так и складки [9, 14].

Анализ показал, что размерности складок и полосчатости в пределах одного рудного тела связаны отчетливой отрицательной зависимостью (рис. 2) [10]. Этот факт наглядно демонстрирует тот удивительный феномен, что при складкообразовании не происходит «перемешивания» полосчатой породы в некую нетекстурированную массу, как это неминуемо происходит в эксперименте с пассивным или вынужденным откликом системы на внешнее воздействие [8, 12]. Наоборот, чем интенсивнее пloyчатость кварцитов, тем более контрастной и иерархически упорядоченной предстает их полосчатость! Иными словами, формирование узора (здесь: складки) и вещества железистых кварцитов совмещены в некоем едином фазовом пространстве, причем в едином геодинамическом механизме!

Коснемся этого вопроса, имеющего ключевое значение как для всего классического структурно-геологического анализа, так и для выяснения генезиса железистых кварцитов.

Свойства фрактальной складчатости ПЖФ и динамическая среда ее зарождения

Возможности иного подхода к формированию генетической модели как ПЖФ, так и ассоцииру-

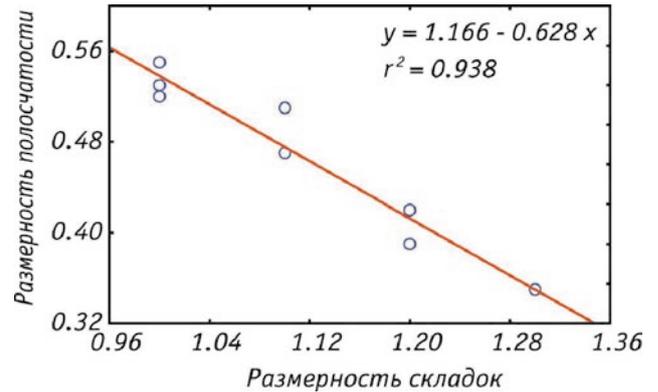


Рис. 2. Соотношение фрактальной размерности полосчатости (1D) и складчатости (2D) в железистых кварцитах Печегубского месторождения. Оленегорский рудный узел, Кольский п-ов

ющих с ними древних структурно-вещественных комплексов связаны принципиально иным физическим осмыслением ряда ключевых свойств геологических ансамблей. Это легко понять, ибо они составляют основу структурного каркаса докембрийских вещественных комплексов. Это тем более важно, что ПЖФ являются неотъемлемой частью глобального литосферного процесса – 90–95 % гранитоидных пород и столько же железистых пород сформировались в одно и то же время: до 2,0 млрд лет. Главный мотив этого литосферного каркаса – иерархия разномасштабных структурных овалов с тоналитами-трондьемитами в ядрах и более или менее дифференцированным гнейсовым обрамлением [8, 12, 16].

Важно отметить, что в соответствии с правилами запрета, которые вводятся теорией самоорганизации*, появляется возможность ограничить количество существующих и пока несуществующих гипотез образования.

Как показал анализ контуров кварцевого слойка в образце (рис. 3, а), его размерность $D = 1,30 \pm 0,03$ заметно отличается от размерности типичной пloyчатости железистых кварцитов Криворожья ($D = 1.15$) [14]. Начиная с масштаба измерения порядка 5 мм и менее, складка перестает быть фрактальной и приобретает топологическую размерность $D_L = D_T = 1.0$. Размерность Минковского этого слойка равна 1.30 ± 0.03 . Иными словами,

* Теория самоорганизации (синергетика) ограничивает авторский «произвол» в переборе моделей. Не указывая на «правильную» модель, она четко выделяет «неправильные», определяя, какие из них противоречат физическому смыслу. Тем самым до минимума сужается поиск корректных направлений исследования, экономится время и материальные ресурсы.

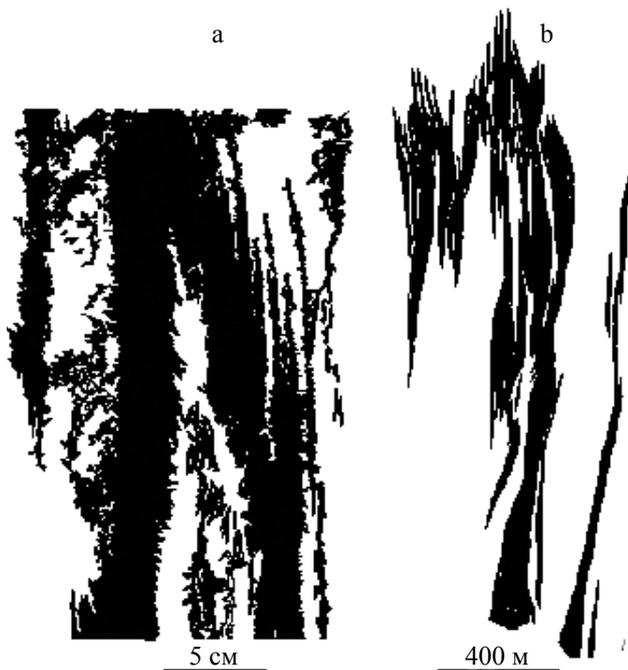


Рис. 3. а – складка в грюнерито-магнетитовом кварците. Урагубское месторождение, Затуломский рудный узел, Кольский п-ов.

Прозрачный шлиф 120 × 180 мм. Зарисовка. Черное – магнетито-грюнеритовые агрегаты;

б – схема геологического строения месторождения железистых кварцитов им. XV годовщины Октября (Оленегорский р-н, Кольский п-в). Рудный ансамбль – фрактальный пакет линз (${}^2D_M \sim 1,3$). Длина по простиранию 3,5 км (схема составлена в 1966 г., но из-за неординарности узора, не «подходящего» ни к каким генетическим конструкциям складок, 35 лет оставалась в архиве).

Фрактальный узор с размерностью ${}^2D \div 1,30$ в интервале от 0,05 до 400 м, близкий к фрактальности дендритов, свидетельствует о его (узоре) происхождении в процессе самоорганизации с учетом термодиффузионных процессов, а не пассивного смятия и метаморфизма седиментогенных продуктов

рассматриваемая складка из магнетитовых кварцитов Урагубского месторождения (северо-запад Кольского полуострова) по своей изрезанности превосходит кривую Коха (рис. 4), приближаясь по этому параметру к дендритам. Именно по этой причине не остается сомнений в том, что при ее образовании были задействованы диффузионные процессы, являющиеся условием роста дендритов. Данный структурный мотив прослеживается и в крупных телах железистых кварцитов (рис. 3, б), что вносит решающие коррективы в формирование представлений не только о природе складчатости,

но и об образовании всего согласованного ансамбля (с его микро- и макроузорами). И то и другое неожиданно для традиционной проблематики. Стало очевидным, что возникновение складчатости тесно связано с перераспределением вещества в диффузионных фронтах, скорее всего, даже инициировано им. Это важное обстоятельство является решающим и в оценке железогенерации в архее в пользу термодиффузионных процессов, а не седиментогенных. Таким образом, оценка структуры пространства, занимаемого железистыми кварцитами, кардинально меняет устоявшиеся представления о геоэкологии эпохи массового железорудения в истории Земли.

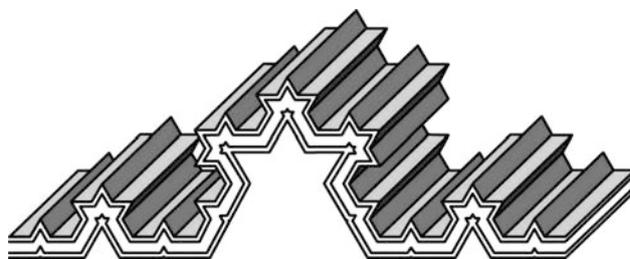


Рис. 4. Модель плойчатого железистого кварцита с фрактальным строением – канторово множество размерности 0,6, составленное из поверхностей Коха размерности 2,3

Универсальность этого природного свойства геологического пространства железистых кварцитов, ранее ни в каких структурно-генетических построениях не используемого, позволяет ему нести смысловую нагрузку в разных геологических контекстах.

Заключение

В рассмотренной выше структурно-вещественной организации нет места ни стратификационным, т. е. осадочным, ни каким-либо из привычных актуалистическим модельным схемам. Геоэкология среды зарождения кремнисто-железистых пород докембрия (архея, прежде всего) связана с процессами самоорганизации литосферного вещества в крайне неравновесной обстановке. Физическая природа эндогенных энергопотоков, обеспечивающая такую неравновесность, никогда не рассматривалась специально. В качестве предположения, но вовсе не для объяснения, высказывалось мнение об участии в энергопотоках эмиссии частиц высокой энергии, приведших в резонансное состояние атомов железа и кремния – основных элементов железистых кварцитов (в сумме они составляют

около 100 % их бескислородной части). Атомные веса названных элементов относятся как 1 : 2 (56 : 28), что случайным совпадением необъяснимо.

Остается обратить внимание на то, что структура пространства полосчатых железистых формаций неожиданно, даже для самих авторов статьи, оказалась связанной с проблемой атомного резонансного взаимодействия при формировании уникального природного геохимического ансамбля раннего докембрия. Оттого, что природа такой связи остается пока неясной, в основном, в силу неожиданности возникновения проблемы, сама связь очевидна, хотя и весьма далека от традиционных генетических и геодинамических схем.

Любопытно рассмотреть, как отражается структура пространства крупных железорудных ансамблей на интерпретации их строения и динамических условий среды зарождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Страхов Н. М.* Железорудные фации и их аналоги в истории Земли / Н. М. Страхов // Тр. Ин-та геологии АН СССР. Серия: Геология, 1947. – Вып. 73, № 22. – 267 с.
2. *Точилин М. С.* Происхождение железистых кварцитов / М. С. Точилин. – М. : Госгеолтехиздат, 1963. – 167 с.
3. *Точилин М. С.* О первичном эффузивно-осадочном происхождении железистых кварцитов (джеспиллитов) / М. С. Точилин // Железисто-кремнистые формации Кольского полуострова. – Л. : Наука, 1970. – С. 5–16.
4. *Плаксенко Н. А.* Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии (на примере КМА) / Н. А. Плаксенко. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1966. – 264 с.
5. *Goodwin A. M.* Archean Iron-Formations and Tectonic Basins of the Canadian Shield / A. M. Goodwin // Econ. Geol. – 1973. – Vol. 68, № 7. – P. 915–933.
6. *James H. L.* Sedimentary facies of iron formation / H. L. James // Economic Geol. – 1954. – Vol. 49, № 3. – P. 235–293.
7. *Николис Г.* Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1990. – 344 с.
8. *Горяинов П. М.* Самоорганизация минеральных систем / П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк. – М. : ГЕОС, 2001. – 31 с.
9. *Иванюк Г. Ю.* Введение в нелинейную геологию / Г. Ю. Иванюк, П. М. Горяинов, Д. Г. Егоров. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 1996. – 187 с.
10. *Базай А. В.* Опыт изучения полосчатости железистых кварцитов методом гиперсимволов / А. В. Базай, Г. Ю. Иванюк // Геология и полезные ископаемые Северо-Запада и Центра России. – Апатиты : Полиграф, 1999. – С. 187–192.
11. *Горяинов П. М.* О структурно-вещественной самоорганизации в архейских железорудных ансамблях (Кольский полуостров) / П. М. Горяинов, Д. Г. Егоров, Г. Ю. Иванюк // ДАН. – 1992. – Т. 322, № 6. – С. 1123–1127.
12. *Горяинов П. М.* Нелинейная тектоника. Содержание, объекты и принципиальные ограничения для интерпретации канонических случаев / П. М. Горяинов. – Апатиты : Изд-во КНЦ, 1995. – 45 с.
13. *Иванюк Г. Ю.* Самоорганизация рудных комплексов. Синергетические принципы прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых / Г. Ю. Иванюк [и др.]. – М. : ГЕОКАРТ-ГЕОС, 2009. – 392 с.
14. *Кулик Д. А.* Фрактальная модель многопорядковой складчатости железистых кварцитов (Криворожский бассейн) / Д. А. Кулик, М. И. Черновский // Изв. вузов. Геол. и разв. – 1990. – № 5.
15. *Белевцев Я. Н.* Седиментация пород Криворожской свиты / Я. Н. Белевцев // Сов. геология. – 1974. – Т. 23. – С. 44–53.
16. *Горяинов П. М.* Геология и генезис железисто-кремнистых формаций Кольского полуострова / П. М. Горяинов. – Л. : Наука, 1976. – 145 с.
17. *Дафф П.* Цикличность осадконакопления / П. Дафф, А. Халлам, Э. Уолтон. – М. : Мир, 1971. – 283 с.
18. *Мельник Ю. П.* Генезис докембрийских полосчатых железистых формаций / Ю. П. Мельник. – Киев : Наукова думка, 1986. – 234 с.
19. *Трендалл А.* Цикличность отложений в формации Уилли-Уолли докембрийской свиты Хамерсли, Западная Австралия / А. Трендалл // Докембрийские железорудные формации Мира. – М. : Мир, 1975. – С. 237–247.
20. *Формозова Л. Н.* Формационные типы железных руд докембрия и их эволюция / Л. Н. Формозова. – М., 1968. – С. 7–153.
21. *Шатский Н. С.* О марганценосных формациях и металлогении марганца / Н. С. Шатский // Изв. АН СССР. Серия: Геология. – 1954. – № 4. – С. 3–37.
22. *Ходюш Л. Я.* Полосчатая текстура железистых кварцитов и проблема ее происхождения / Л. Я. Ходюш // Проблемы образования железистых пород докембрия. – Киев : Наукова думка, 1969. – С. 242–258.
23. *Brown D. A. A.* A review of the microbial geochemistry of Banded Iron-Formations / D. A. Brown, G. A. Gross, J. Sawicki // Can. Mineral. – 1995. – Vol. 33. – P. 1321–1333.
24. *Lepp H.* Chemistry and origin of iron formation / H. Lepp, S. S. Goldich // Bull. Geol. Soc. Amer. – 1959. – Vol. 60, № 12, Pt. 2. – P. 1637.
25. *Murthy P. S. N.* Origin of the cyclothemic patterns in the Precambrian banded iron formation of Donimalai Area in Sandur schist belt, Karnataka State, India / P. S. N. Murthy // Ancient BIFs (Regional Presentations). Theophrastus Publications, S.A. – Athens, 1990. – P. 327–350.
26. *Sakamoto T.* The origin of the Precambrian banded iron ores / T. Sakamoto // Am. J. Sci. – 1950. – Vol. 248. – P. 449–474.

27. *Simonson B.M.* Sedimentological constraints on the origins Precambrian of iron-formation / B. M. Simonson // Geol. Soc. of America Bull. – 1985. – Vol. 96. – P. 244–252.

28. *Trendall A.F.* The iron formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia, with special reference to the associated crocidolite / A. F. Trendall, J. G. Blockley // West. Austral. Geol. Surv. Bull. – 1970. – Vol. 119. – P. 353 p.

29. *Williams P. F.* Differentiated layering in metamorphic rocks / P. F. Williams // Earth-Sci. Rev. – 1990. – Vol. 29. – P. 267–281.

30. *Николаев А. П.* Квазипериодические явления в метаморфических породах как отражение их упорядоченности строения (на примере железорудных ассоциаций Кольского полуострова) / А. П. Николаев, П. М. Горяинов // Геология и геофизика. – 1990. – № 11. – С. 86–93.

31. *Жуков В. В.* Кинетические модели образования периодических распределений Fe_2O_3 в геохимических системах зоны гипергенеза / В. В. Жуков // Кора выветривания. – 1986. – № 19. – С. 10–26.

Кольский НЦ РАН, Апатиты

П. М. Горяинов, главный научный сотрудник лаборатории самоорганизации минеральных систем, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Тел. 8 (1555) 79250

pgor@geoksc.apatity.ru

Г. Ю. Иванюк, заведующий лабораторией самоорганизации минеральных систем, доктор геолого-минералогических наук

Тел. 8 (1555) 79628

ivanyuk@geoksc.apatity.ru

32. *Русинов В. Л.* Модель образования ритмично-полосчатых текстур в экзогенных и гидротермально-метасоматических системах / В. Л. Русинов, В. В. Жуков // Геология рудных месторождений. – 1994. – Т. 36, № 6. – С. 520–535.

33. *Челищев Н. Ф.* Синергетическая модель расслоения интрузивных комплексов / Н. Ф. Челищев // Изв. АН СССР. Серия: Геология. – 1988. – № 8. – С. 3–9.

34. *Ortoleva P. J.* Self-organization and nonlinear dynamics in sedimentary basins / P. J. Ortoleva // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1993. – Vol. 334. – P. 171–179.

35. *Sultan R.* Bifurcation of the Ostwald-Liesegang supersaturation-nucleation-depletion cycle / R. Sultan [et al.] // Earth-Sci. Rev. – 1990. – Vol. 29. – P. 163–173.

36. *Федер Е.* Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 260 с.

37. *Mandelbrot B.* The fractal geometry of Nature / B. Mandelbrot. – S.-Francisco : W.H. Freeman, 1983. – 461 p.

Kola Science Centre, Apatity

P. M. Goryainov, the major scientific worker, the Labor of mineral systems selforganization, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor

Tel. 8 (1555) 79250

pgor@geoksc.apatity.ru

G. Yu. Ivanyuk, the leader of the Labor of mineral systems selforganization, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

Tel. 8 (1555) 79628

ivanyuk@geoksc.apatity.ru