

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ И КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ (К ПРОБЛЕМЕ КОРРЕКТНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ)

П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк

Геологический институт КНЦ РАН

В настоящей работе на примере канонических структур: складок, линз, разломных сетей демонстрируется одно из важнейших свойств динамических процессов в литосфере: их кооперативность, и, как следствие, наличие дальнего порядка. В ней рассматриваются такие элементы тектонических структур, как складки автоволновой природы и линзово-штокверковые комплексы. Это заставляет отнести идею автономного латерального перемещения геоблоков, включая и гипотезу тектоники литосферных плит, к разряду избыточных с точки зрения синергетики.

Илл. 5. Библиогр. 24 наименов.

ВВЕДЕНИЕ

Стремление идти в ногу с достижениями современного естествознания выводит геологию на признание кризисности ряда основных ее направлений. Последние годы повышенное внимание к идеям синергетики ознаменовалось, как уже отмечалось в ряде публикаций авторов [5, 6, 10], рядом попыток «освежить» с их помощью классические постулаты геологии, например, плейттектоники. Или, например, «усилить» приемы построения ретроспективных моделей, усовершенствовать процедуры «снятия» накопленных в ходе предполагаемой эволюции деформаций.

В настоящей работе на примере канонических структур: складок, линз, разломных сетей демонстрируется одно из важнейших свойств динамических процессов в литосфере: их кооперативность, и, как следствие, наличие дальнего порядка. В ней рассматриваются такие элементы тектонических структур, как складки автоволновой природы и линзово-штокверковые комплексы. Это заставляет отнести идею автономного латерального перемещения геоблоков, включая и гипотезу тектоники литосферных плит, к разряду избыточных с точки зрения синергетики.

Полезно напомнить содержание теоремы самоорганизации И. Пригожина: *возникновение сложных макроструктур возможно в нелинейной динамической среде, вдали от равновесия, за порогом энергетического насыщения, в процессе кооперативного взаимодействия микрочастей, вплоть до молекул.* Явления кооперативного поведения подсистем (свойств) геологических систем

не столь сложны, сколь нетрадиционны для стандартного геологического анализа. И на первых этапах работы над проблемой, и затем, уже работая над монографией [5], мы четко представляли, как важно для процесса адаптации новой парадигмы естествознания к геологии проиллюстрировать геологическими же примерами именно этот замечательный закон теории самоорганизации: *все компоненты макроузора диссипативной структуры могут возникнуть только при кооперативном взаимодействии ее микрочастей.*

Осознание этого закона дало возможность синтезировать основное теоретическое положение нашей многолетней работы: *все изученные тектоносферные ансамбли, независимо от масштаба, возраста и географической привязки, характеризуются структурным гомеостазисом (стремлением к повторению наиболее устойчивых форм), фрактальностью структурных узоров и дальним порядком в организации подсистем* (4). Имеет ли это отношение к заявленной теме? Ответ очевиден и довольно прост. Принципы и установки глобальных геологических построений, вне сомнения, определяют вкусы и предпочтения исполнителей при решении не только региональных, но и при разработке детальных проблем структурно-геодинамической организации конкретных геологических объектов. А вовсе не наоборот, к сожалению.

Какие вопросы приходится обсуждать при постановке и проведении региональных геологических исследований, формировании модельных представлений о строении и развитии территории? Это, прежде всего, проблемы тектонического транспорта, определение симметрии силовых полей по наблюдаемому типу структурной анизотропии (известный принцип тектонических тензорных

датчиков), вопросы механизма и кинематики пассивного («симметричного») отклика системы на внешнее воздействие, «выявление» источника и механизма распределения сил. Таков, к примеру, принцип новомодного террейнового анализа. Сам термин «террейн» давно перестал быть только инженерно-географическим понятием. Он был встроен в «инструментарий» тектоники плит для обозначения территорий, геологическое строение которых несет признаки «неправильной» эволюции, «чужеродные» данной провинции, а значит, скорее всего, приключенных к ней извне в процессе аккреционной тектоники (микро) плит [15]. По существу, почти все упомянутые выше проблемы несут признаки фантомов, ибо каждая из них приобретает актуальный статус лишь при определенном типе динамической эволюции, а именно, при пассивном отклике на внешнее воздействие (что, как выясняется, совсем не очевидно). В сущности, каждая из заявленных проблем имеет определенные логические контуры лишь при избранном, сугубо субъективном, способе изложения геологической сущности событий. Любой иной выбор модели проблему микширует, и она, как таковая, может рассыпаться вовсе. Отсюда и проблема-фантом. Подробно эти вопросы уже обсуждались [5, 6].

Говоря о кооперативном поведении элементов системы, мы обращаем внимание, прежде всего, на взаимоотношение переменных состава и структурного узора. Разумеется, в такой постановке решать ее легче всего на примере объектов, геологический облик которых наделен привычными, можно сказать, каноническими признаками. В качестве таких объектов мы выбрали месторождения полосчатой железорудной формации Кольского полуострова, базовой для различного рода литологических, тектонических и геодинамических реконструкций докембрийских комплексов, в том числе и в духе тектоники плит, а также апатито-нефелиновые месторождения Хибинского массива — общепринятого «стандарта» интрузий центрального типа. Внутренняя динамика и генезис последних, казалось бы, не имеет никакого отношения ни к таковым метаморфическим комплексам, ни, тем более, к плейттектонике в целом. Первый объект — это стереотип процессов латерального скупивания или, в общем виде, мобилисткой динамики. Второй — эталон тектоники точек, мантийных плюмов, в котором минимально проявлена анизотропия внешних силовых полей.

Мы специально прибегаем к такому подходу для того, чтобы продемонстрировать некие общие

принципы протекания процессов тектонической самоорганизации для объектов принципиально различной геодинамической природы. Тем самым хотим показать, что физический смысл процессов динамической эволюции следует искать вовсе не в пассивном отклике на внешние воздействия (в виде движения латеральных литосферных масс или всплывающих мантийных диапиров). В обоих примерах, привычно характеризующих резко различающуюся динамическую среду зарождения и функционирования рудных ансамблей, обнаруживается ряд общих черт, которые говорят о структурно-вещественной самоорганизации вещества литосферы, приведшей к генерации столь специфических образований.

Так, и железистые кварциты, и апатито-нефелиновые породы формируют фрактальные рудные штокверки с участками интенсивнейшей плейчатости и тектонического линзования. Традиционная логика подводит к мысли о том, что и рудовмещающий разрез должен быть подвергнут не менее интенсивной тектонической перестройке. Однако, вне зависимости от сложности структурного узора внутри рудной зоны, оба эти комплекса характеризуются наличием хорошо воспроизводимой симметричной зональности относительно рудных тел (рис. 1):

1) гематито-магнетитовые железистые кварциты — магнетитовые железистые кварциты — сульфидно-магнетитовые железистые кварциты — глиноземистые гнейсы — биотитовые гнейсы — роговообманковые амфиболиты — тоналиты (для железорудных месторождений)

2) Апатито-нефелиновые породы — фойидолиты — ричесорриты — альбититы, эгириниты, гнейсовидные нефелиновые сиениты с ксенолитами кровли массива — фойяиты (для апатито-нефелиновых месторождений).

Эта зональность выражена настолько ярко, что ни в одном (!) случае границы структур ее не срезают. Совершенно ясно, что формирование такой вещественной зональности происходило согласованно, и, скорее всего, одновременно с образованием макроформы (или в духе синергетики — образование макроформы происходило за счет кооперативного поведения микрочастиц вещества, вплоть до молекул).

Но в таком случае и традиционная версия генезиса и тектонического развития месторождений полосчатой железорудной формации (седиментогенез — метаморфизм — складчатость), и таковая для апатито-нефелиновых месторождений (интруз-



Рис. 1. Симметричная зональность толщи пород полосчатой железорудной формации Примандровского района (а) и Хибинского щелочного массива (б), Кольский полуостров

дирование ряда последовательных интрузий от периферии массива к его центру) требуют кардинального пересмотра.

КОГЕРЕНТНЫЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Структуры Кировогорского типа

Иерархический линзовый ансамбль Кировогорского месторождения расположен в юго-западном обрамлении тоналитового овала размером 15 × 25 км (см. рис. 1), довольно контрастно выделяющегося от вмещающих его однородных тоналитовых гнейсов. Разрез рудовмещающей толщи видимой мощностью около 2 км, «испытанный», судя по узору железистых кварцитов, неоднократно складчатость, имеет симметричное строение. Меланократовая часть комплекса (роговообманковые амфиболиты и гнейсы) оттеснены к контактам с тоналитами, и лишь отдельные их линзы появляются на выклинивании железистых кварцитов — дефицит мощности последних как бы компенсируется амфиболитами (рис. 2). Центральная часть разреза сложена кислыми гнейсами, в середине которых и располагаются рудное тело, состоящее из множества линз, объединенных в три группы (гломеры). Осевые зоны апикальных частей гломер сложены гематито-магнетитовыми железистыми кварцитами, периферийные и особенно глубинные их части — сульфидно-магнетитовыми железистыми кварцитами.

Как и на плане, в продольном профиле рудных тел четко проявлен асимметричный, каплеобразный облик гломер (см. рис. 2). При этом утолщенные части гломер и отдельных линз — их «головы» — обращены по восстанию залежи, а «хвост» ориентирован книзу, по падению. Криволинейность осевых поверхностей напоминает таковую фронтальных частей надвигов или так называемых листрических тектонических зон с их пологой глубинной и крутой приповерхностной частями.

Зоны завихрения, характерные для приповерхностных, «листрических», частей ансамбля, сопровождаются срывами (как это и положено для гребней волн), которые материализуются в виде пологих тектонических зон со смещениями и идентифицируются как надвиги. Последнее обстоятельство ранее было ошибочно истолковано как проявление беломорско-карельской тектонической активизации [3]. Ошибку удалось исправить после вскрытия глубоких горизонтов Оленегорского и Кировогорского месторождений. Оказалось, что «надвиги» размещаются только вблизи поверхнос-

ти (не глубже 50—100 м) и являются неотъемлемой частью структуры месторождения. Это надвиги *без тектонического транспорта* — они проявлены только в головных, наиболее богатых частях рудных тел и немедленно гаснут во вмещающих гнейсах. При этом, присутствие в структуре морфологически выраженных надвигов не указывает на причинную роль горизонтального тектонического транспорта: такого в подобных структурах нет (в частности, нет предполагавшихся ранее горизонтальных пластин, якобы связанных со скупиванием по системе эшелонированных надвигов, да и скупивание как таковое также отсутствует). Как характерный элемент железорудных ансамблей, надвиги подчеркивают динамизм структуро- и рудообразующей обстановки, никак не связанной с горизонтальным сжатием.

Рудное тело секут многочисленные жилы гранитных пегматитов (под углом 10° к простирацию) и еще более многочисленные дайки диабазов (под углом 35°), которые, на первый взгляд, легко вписывались в деструктивно-блоковую мозаику «активизированного» структурного комплекса. Удобно было даже рассматривать долеритовые дайки в качестве корней протерозойского основного вулканизма [Федотов]. Оказалось, однако, что глубинные «корни» эффузивного магматизма сами являются висячими, а дайки — бескорневыми, скорее всего, как и пегматиты — анатектическими [4]. Никаких признаков магматических резервуаров или подводных каналов от более крупных тел до сих пор установить не удалось — уже к глубине 250 метров количество даек экспоненциально уменьшается, так что на глубинах 1 км и более диабазы практически отсутствуют. Кроме того, выяснилось, что наибольшая плотность даек приходится на самую дифференцированную часть продуктивного разреза — его осевую часть, сложенную кислыми гнейсами и железистыми кварцитами. За пределами продуктивной зоны, в амфиболитах и тоналитах, количество даек также быстро уменьшается вплоть до полного исчезновения. Здесь совсем нет и гидротермальных жил, которые, как и диабазы, сконцентрированы в осевой части продуктивной зоны, особенно в глиноземистых гнейсах в непосредственной близости (до 50 м) от рудного тела.

Таким образом, Кировогорское месторождение, как и все прочие месторождения железистых кварцитов Кольского полуострова, имеет ярко выраженную структурно-вещественную зональность, элементами которой являются как сами

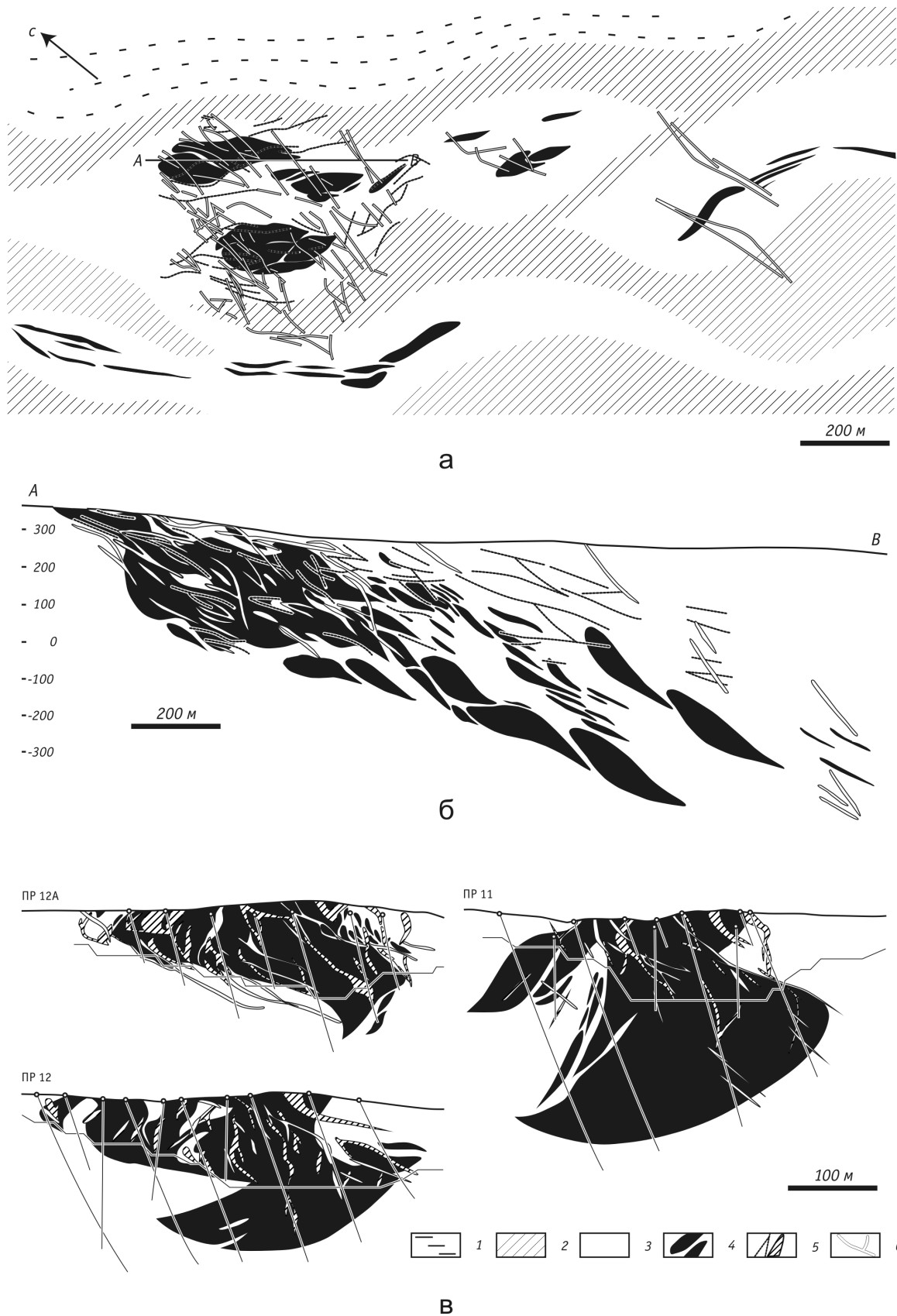


Рис. 2. Кировогорское железорудное месторождение: а) схема геологического строения, б) продольный разрез по линии А—В, в) поперечные разрезы; 1 — тоналитовые гнейсы, 2 — роговообманковые амфиболиты, 3 — гнейсы ПЖФ (биотитовые, двуслюдяные, нодулярные), 4 — железистые кварциты, 5 — гранитные пегматиты, 6 — долериты

железистые кварциты и гнейсо-амфиболитовая толща железорудной формации, так и связанные с ними штокверки долеритов, гранитных пегматитов и гидротермальных жил. В самих же железистых кварцитах имеется еще один элемент такой зональности — участки интенсивной плейчатости, появляющиеся в осевых зонах рудных тел при превышении ими предела мощности порядка 10 м.

АВТОВОЛНОВАЯ СКЛАДЧАТОСТЬ

Если идти от контакта любой достаточно крупной линзы железистых кварцитов с вмещающими породами к ее осевой зоне, то сначала текстура пород будет исключительно прямополосчатой (рис. 3а). Затем среди прямополосчатых пород появятся линзовидные участки плейчатой текстуры. Постепенно их будет становиться все больше и больше, и начнется зона крупных многопорядковых складок, сменяемая в осевой части тела мелкой изоклинальной плейчатостью. Эта зональность достаточно универсальна и наблюдается на многих месторождениях. В результате, графики изменения угла раскрытия крыльев складок или фрактальной размерности¹ последних в железистых кварцитах от контакта с гнейсами к осевой зоне рудного тела оказываются близки к кривой изменения масштаба турбулентности потока вязкой жидкости в плоском канале, где также вблизи стенок поток всегда ламинарный, затем идет зона перемежаемости, сменяемая зонами сначала крупно-, а затем и мелко-масштабной турбулентности [12]. Наличие участка перемежаемости лучше всего видно на графиках изменения углов отклонения полосчатости от оси линзы (рис. 3б): на фоне прямополосчатых пород регулярно — примерно через 3 м — проскакивают турбулентные всплески, их интенсивность постепенно растет, и в центре рудного тела имеет место хаотический интервал, представленный зоной мелкой плейчатости.

Но самое удивительное состоит в том, что складкообразование не приводит к нарушению полосчатости. Наоборот, — и это подчеркивают почти все исследователи, — при переходе от прямополосчатых участков рудного тела к плейчатым железистые кварциты становятся все более тонкополосчатыми и контрастными за счет того, что фрактальная размерность полосчатости уменьшается с увеличением фрактальной размерности складок [1]. Фрактальная размерность сети меж-

зерновых границ при этом сначала резко возрастает, а затем выходит на плато, что, вероятно, связано с влиянием отжига. Оценка степени упорядоченности микроструктур по методу Ю. Л. Войтеховского [3] показала линейное увеличение информации Шеннона при возрастании фрактальной размерности складок, а использование критериев S-теоремы Климонтовича позволило установить возрастание степени упорядоченности микроструктур при складкообразовании [5].

О возрастании упорядоченности железистых кварцитов при складкообразовании свидетельствуют и данные изучения свойств и состава минералов, в частности магнетита. Установлено, что переход от прямополосчатых пород к плейчатым сопровождается возрастанием упорядоченности практически всех свойств магнетита посредством различных явлений самоорганизации. Так, в сравниваемых породах обнаруживается два вида магнитной анизотропии: 1) когда векторы намагниченности зерен лежат в плоскости слоистости и угол α между вектором намагниченности зерен и полосчатостью равен 0° , 2) когда векторы намагниченности направлены к поверхности полосчатости под углами, близкими к $\pm 45^\circ$. Одномодальные распределения α характерны исключительно для прямополосчатых железистых кварцитов, тогда как 90 % образцов с анизотропией второго типа являются плейчатыми.

Бимодальные распределения означают появление согласованности в поведении элементов системы за счет перехода из состояния с единственным наиболее вероятным значением α_0 в состояние с двумя такими значениями α_a и α_b . В этом случае мы имеем стохастическое выражение бифуркации, а распределение α с очень широким максимумом характеризует собой саму точку бифуркации, где любые возможные флуктуации уже не гасятся и их существование равновероятно [17, 22]. Магнитная анизотропия второго типа (векторы остаточной намагниченности образуют с направлением полосчатости углы, близкие к 45°) не может быть объяснена ни эффектом магнитного отжига (по крайней мере, в его чистом виде), поскольку не удается выделить единого направления намагниченности, ни анизотропией формы магнетика. Однако тот факт, что этот тип анизотропии характерен для плейчатых железистых кварцитов, равно как результаты микроструктурного изучения кварца [1] позволяют связать переход ко второму типу магнитной анизотропии с увеличением касательных напряжений при складкообразовании. Кроме того, наведение магнитной анизотропии в ферритах

¹ Удобной мерой интенсивности плейчатости является фрактальная размерность одиночного слоя, которая по мере возрастания интенсивности складкообразования изменяется от 1 до 1.3 [5].

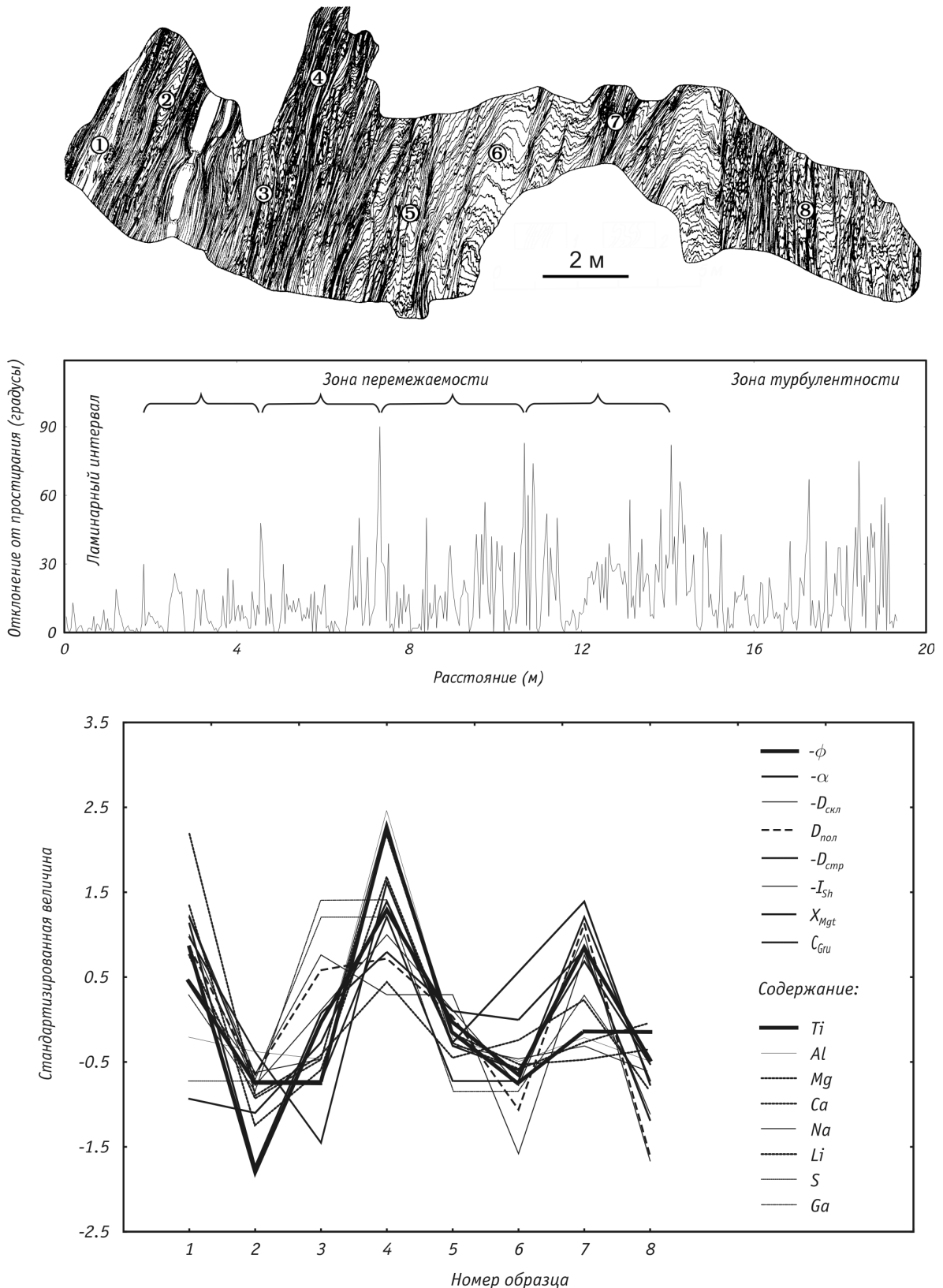


Рис. 3. Текстуальная зональность линзы железистых кварцитов Печегубского месторождения (а) и соответствующие графики изменения ориентировки полосчатости железистых кварцитов относительно оси линзы (б), геометрических и вещественных характеристик железистых кварцитов (в). $D_{пол}$, $D_{скл}$, $D_{стр}$ — фрактальная размерность полосчатости, складок и межзерновых границ, соответственно; ϕ — угол раскрытия крыльев складок; α — магнитная анизотропия; I_{Sh} — информация Шеннона для микроструктур; x_{Mgt} — доля “голубоватого” магнетита; C_{Gru} — окраска грюнерита; Ti—Ga — концентрации соответствующих элементов

самым непосредственным образом связано с процессом окисления вещества [21], когда создаются вакансии и появляется возможность для диффузии ионов. Только в железodefицитном магнетите, таким образом, ионы двухвалентного железа получают возможность диффундировать в энергетически выгодные позиции, создавая необратимую одноосную магнитную анизотропию второго типа. Косвенным подтверждением возможности такого процесса является тот факт, что в пльчатых железистых кварцитах весь магнетит представлен своей относительно железodefицитной «коричневатой» разновидностью [2].

В процессе складкообразования происходит закономерное изменение химического состава железистых кварцитов, выражающееся в выносе из них всех второстепенных компонентов. В результате в осевой части рудного тела железистые кварциты представляют собой контрастнополосчатые породы, состоящие только из оксидов кремния и железа. Компонентный анализ данных о составе и свойствах железистых кварцитов Печегубского месторождения (рис. 3б) показал, что уже первый собственный вектор включает в себя 23 переменные с факторными нагрузками более 50 % из 25 анализировавшихся и учитывает 50 % изменчивости данных:

$$\frac{D_{пол79}, H_{Mgt85}, x_{Mgt56}, \chi_{Gru62}, Fe_{56}, Ti_{84}, Al_{75}, Mg_{87}, Mn_{53}, Ca_{72}, Na_{86}, K_{60}, Li_{87}, S_{60}, Zn_{62}, Ga_{77}}{\varphi_{94}, \alpha_{86}, D_{скл87}, D_{cmp77}, I_{Sh69}, C_{Gru65}, C_{61}}$$

где $D_{пол}$, $D_{скл}$, D_{cmp} — фрактальная размерность полосчатости, складок и межзерновых границ, соответственно; φ — угол раскрытия крыльев складок; α — магнитная анизотропия; I_{Sh} — информация Шеннона для микроструктур; x_{Mgt} — доля «голубоватого» магнетита; H_{Mgt} — микротвердость магнетита; C_{Gru} — окраска грюнерита; χ_{Gru} — магнитная восприимчивость грюнерита; Fe—Ga — концентрации соответствующих элементов. Очевидно, что когерентность большинства геометрических и вещественных переменных свидетельствует против представлений о пассивно-деформационном характере складчатости. Остается лишь автоволновой механизм ее образования. Только в нем возможно кооперативное поведение многих подсистем-свойств различной природы, о чем указывает коррелированность названных выше характеристик магнетитовых кварцитов.

Текстурно-вещественная самоорганизация железорудной системы предопределена закономерностями ползучести твердых тел. Поскольку

ползучесть является термически активируемым процессом, а любая пластическая деформация сопровождается выделением тепла, мы имеем самоускоряющийся процесс, аналогичный в этом плане автокатализу или экзотермической химической реакции. В такой системе любые положительные флуктуации усиливаются, что создает предпосылки для различных явлений самоорганизации. Из металловедения известно [9], что смена характера пластического течения происходит при максимально высоких напряжениях сдвига, когда система уже не может эффективно диссипировать привносимую энергию традиционными способами и «включает» новый, ротационный механизм ее рассеяния. О многократном усилении сдвиговых напряжений при складкообразовании говорят и наши данные изучения микроструктурных ориентировок кварца и магнетита [1, 5]. Численные эксперименты также указывают на возможность возникновения хаотических пространственных аттракторов при складкообразовании и на существенное влияние складчатости на ход метаморфической дифференциации пород [23, 24].

Таким образом, вещественная зональность железорудной формации неотрывна от ее текстурной зональности, выраженной, прежде всего, характером метаморфической полосчатости и пльчатости.

Метаморфическая полосчатость, практически отсутствующая в роговообманковых амфиболитах и биотитовых гнейсах, появляется в двуслюдяных и нодулярных гнейсах, где она обусловлена послойной концентрацией флогопита, кварца и плагиоклаза. Контрастность полосчатости резко возрастает вблизи контакта с железистыми кварцитами, в которых далее увеличивается до своего максимума в гематито-магнетитовой осевой зоне [16]. В этом же направлении происходит упорядочение полосчатости, выраженное в уменьшении ее фрактальной размерности, переходе непрерывных спектров мощности в дискретные со все меньшим числом интенсивных максимумов и т. д. В самих железистых кварцитах фрактальные и информационные свойства полосчатости, пльчатости и микроструктур, состав пород и породообразующих минералов, физические свойства и тех, и других связаны друг с другом простыми функциональными соотношениями [5].

Выбирая в точке бифуркации «микроскладчатый» вариант своего будущего, система самоорга-

низуется, т. е. усложняется, упорядочивается. А относительно самих складчатых изгибов, в этой связи, можно утверждать, что складчатость является производной автоволновых, а не пассивно-деформационных процессов [8]. И, наконец, последнее, но очень важное с точки зрения обсуждаемой проблемы замечание: автоволновая природа складчатости исключает необходимость сколь угодно существенного тектонического транспорта при образовании складчатых систем по традиционной схеме (в тылу зоны складчатого скупивания должно возникать так называемое нулевое тектоническое пространство, или обязательная тыловая зона растяжения). Для образования автоволновой складчатости все это вовсе не обязательно.

ХИБИНСКИЕ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Самый крупный в мире Хибинский щелочной массив расположен в центральной части Кольского полуострова на контакте архейских гранитогнейсов Кольского блока и протерозойского вулканического комплекса Имандра-Варзуга. Главными по распространности породами массива являются фойяиты, слагающие более 70 % его объема (см. рис. 1). Интрузия фойяитов разделена на две приблизительно равные по объему части кольцом мельтейгит-уртитов и апатито-нефелиновых пород (так называемое Центральное кольцо), сопровождаемых особой разновидностью обогащенных калием нефелиновых сиенитов — рисчорритами. Граница фойяитов с вмещающими архейскими метаморфитами маркируется мелкозернистыми нефелиновыми сиенитами с ксенолитами щелочно-ультраосновных пород. Фактически, все многообразие породо- и минералообразующих событий, характеризующихся широчайшим временным диапазоном и охватывающих как самые ранние процессы, так и наиболее поздние, вплоть до современных, связано с Центральным кольцом — наиболее дифференцированной частью Хибинского массива.

Центральное рисчоррито-уртитовое кольцо мощностью от 50—500 м на севере до 1500—2000 м на юго-западе на большем своем протяжении характеризуется почти идеальной симметричной зональностью: фойяиты — рисчорриты и ювиты — ийолит-уртиты — апатито-нефелиновые породы, и обратно. Указанная зональность подчеркивается наличием между рисчорритами и фойяитами почти непрерывного кольца альбититов и ороговикованных ксенолитов вулканогенно-осадочных пород, а также приурочен-

ностью более поздних даек щелочных и щелочно-ультраосновных пород, пегматитовых и гидротермальных жил, трубок взрыва и карбонатитов к Центральному кольцу [11].

Объективная ретроспектива научного осмысления проблемы Хибинского массива позволяет уверенно утверждать, что основным источником рудно-генетической информации с самого начала освоения был и остается апатито-нефелиновый структурно-вещественный комплекс со всеми его промышленными месторождениями. Поэтому в основу понимания генезиса самого массива следует закладывать данные о строении апатито-нефелиновых месторождений, наиболее сложным из которых является Коашвинское месторождение — самое крупное по запасам в мире (рис. 4).

Подобно вышерассмотренным железорудным месторождениям, рудное тело месторождения Коашва представляет собой единый ансамбль, *линейный штотверк* апатито-нефелиновых пород, фрактальная размерность ${}^3D = 2.6$ которого близка как к размерности железорудного кластера Кировогорского месторождения ${}^3D = 2.5$ [5], так и к теоретической размерности трехмерного перколяционного кластера ${}^3D = 2.54$ во всем доступном для исследования масштабном диапазоне (от 0.01 до 100 м). Иными словами, Коашвинское месторождение — это фрактальный линзово-штотверковый ансамбль, в котором *степень заполнения пространства апатитом статистически одинакова для образца, обнажения, рудного тела и месторождения в целом*. В нем нет «добавленных», чужеродных элементов. Это единая структурно-вещественная популяция (сообщество относительно разновозрастных структурно-вещественных подсистем, объединенных общностью геодинамической обстановки, физической природы формирующих их массо-энергопотоков и места их разгрузки).

Это избавляет нас от необходимости обсуждать жизнеспособность моделей типа расчленения изначально единого рудного пласта с помощью интрузирующей уртитовой магмы или даже замещения уррита апатитом в последующих процессах. Образование уррито-apatитового ансамбля Коашвинского месторождения (как, впрочем, и всех других) — это единый процесс в масштабе всего массива, длительное саморазвитие которого привело к образованию популяции, разновременные структурно-вещественные подсистемы которой всегда развивались по установленному в самом начале закону. Или, как мы уже говорили, — по случайно (!) избранному в критической точке эволюционному пути.

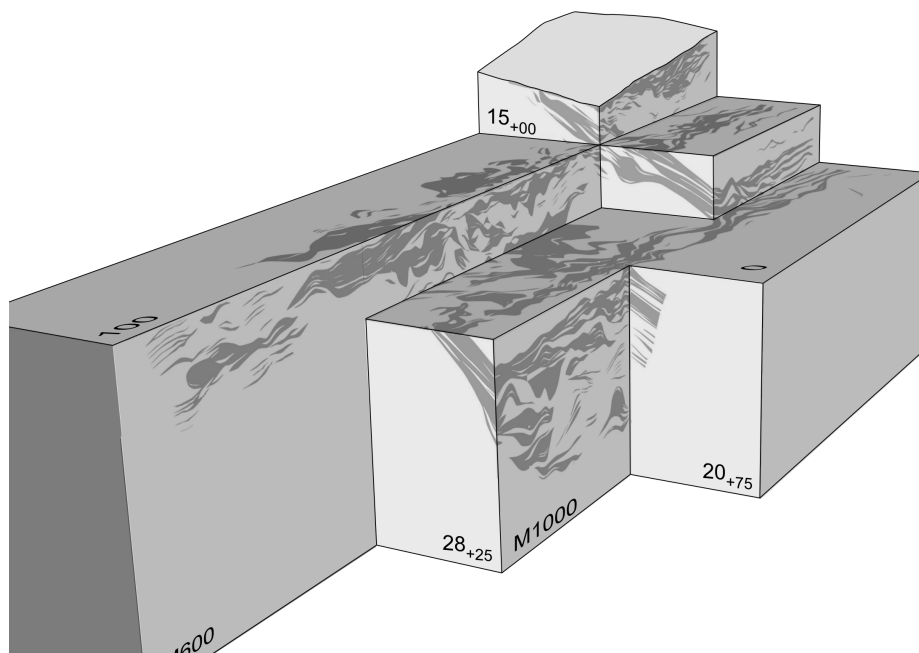


Рис. 4. Блок-диаграмма месторождения Коашва (темное — апатито-нефелиновые породы, светлое — ийолит-уртиты)

По данным наблюдений (в основном, при анализе кернa скважин) установлено, что наличие разноориентированных поверхностей раздела, полос, границ мелких блоков в брекчиях апатито-нефелиновых пород, так называемые «несогласия» внутренних границ, шарнирные развороты отдельных фрагментов не приводят к блокировке внешних границ рудной зоны, а также границ тел-сателлитов. Не обнаружено никакого влияния на структуру месторождения радиальных разломов, и тем более их сочетания с последующей эрозией: некоррелируемость разрезов вследствие ожидаемых различий в эрозионном срезе разных частей рудного тела (например, в такой логической связке: приподнятый блок — эрозия рудных объемов, опущенный — их консервация) полностью отсутствует.

Известно, что образование самоподобных иерархических структур (фрактальных перколяционных кластеров, в частности) в среде, в которую постоянно подкачивается энергия, способствует ее наиболее эффективной диссипации [13, 17, 19]. То есть, возникновение связной структуры предопределено необходимостью наиболее эффективно «избавить» горнопородный блок от избыточной энергии (упругой, тепловой и т. д.), появившейся, например, в ходе релаксации всплывающей колонны массива или даже при техногенной накачке (ядерными взрывами, при строительстве водохранилищ и т.п.). В противном случае система под действием все возрастающей нагрузки просто разрушится. Создание перколяционного кластера

— это переход системы в более упорядоченное, более устойчивое в условиях непрерывающейся энергетической накачки состояние, а вовсе не пассивное разрушение некогда однородного блока.

По хибинскому перколяционному кластеру («конически-кольцевому разлому» в привычном звучании) также происходит отток избыточной энергии активно разгружающейся колонны твердофазной интрузии². Формирование массива в его современном виде связано с динамикой, характерной для твердофазных тел, которая, создав эту связную структуру протекания, все последующие процессы структурно-вещественной дифференциации концентрирует исключительно в ней. Сначала каждый импульс разуплотнения после накопления в такой колонне некоторого критического напряжения порождал появление расплава. В последующем, по мере падения градиента избыточной энергии, всплытие и разуплотнение начинает сопровождаться вместо расплавных выделений флюидно-гидротермальными (пегматитами, жилами). И, наконец, оно завершается (вплоть до настоящего времени) низкотемпературными гидрохимическими продуктами [7]. По мере «зарастания» каналов кластера (как в трубах старой водопроводной системы), этот процесс сопровождается непременным тремором, ударными возмущениями, инициирующими возникновение автоволновых складок и брекчий не-

² Именно по этой причине будет более точным определить ее как экструзию — эффекты дилатансии проявляются исключительно в твердом теле, поскольку жидкость (здесь: расплав) несжимаема.

скольких поколений. Если вначале цемент брекчий, естественно, был расплавный, то на самых поздних стадиях он становится сложным гидрохимическим. Попытки привязать к брекчиям нескольких, может быть весьма многочисленных поколений, с разным цементом, крупные эпизоды (субфазы или даже фазы) становления магматической системы, составляющие главный предмет многолетних «хибиноведческих» дискуссий и основу большинства идеологических предпочтений, не имеют, таким образом, адекватной геодинамической основы.

Естественно, что в свете вышеизложенного, попытки привлечь к формированию Хибинского ансамбля внешние тектонические силы планетарного масштаба, сопряженные с мировой рифтовой системой [6], выглядят надуманными, если не сказать более.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что рассмотренные примеры двух структурно-формационных комплексов относятся к весьма далекому друг от друга разделам тектоники, геологии рудных месторождений и петрологии, они характеризуют практически один и тот же эндогенный процесс и очень сходную динамическую эволюцию. И железистые кварциты, и апатито-нефелиновые породы фиксируют структуру эндогенной энергетической разгрузки, обладающую характерными признаками: связностью, фрактальностью, элементами дальнего порядка. Именно такая структура, получившая название перколяционный кластер, обеспечивает наиболее эффективное протекание потоков энергии и вещества. Весьма характерно, что остов перколяционного кластера, т. е. место, где развивались наиболее динамичные события, контролирует и бестранспортные надвиги, и зону наибольшей дифференцированности вещества, и наиболее богатые руды. Таким образом, образование бестранспортного надвига является неотъемлемой частью генерации всего ансамбля, включая и процесс рудообразования.

Роль подобных явлений в понимании природы крупнейших тектонических структур не рассматривается вообще. Было бы любопытно с этой точки зрения подойти к трактовке такой канонической структуры, как тектонические покровы Альп. По Ж. Обуэну [18], во фронте надвига амплитуда может достигать сотни километров, а в его тылу, где, согласно мобилистской идее, она должна была бы увеличиться (отсюда — с юга — направлено движение), она нулевая: изопические зоны или границы бассейновых фаций в тылу надвига совпадают с

современными границами распространения осадочных пород! Ж. Обуэн, помимо того, отмечает, что непосредственно под миллионнотонным покровом сохранилась даже ископаемая почва, т. е. субстрат не подвергся какой-либо тектонической эрозии. Его накрыло волной «тектонического цунами».

Затрагивая вопрос о роли тектонического транспорта в оформлении наиболее древних структур, казалось бы, за 2 млрд лет «накопивших» огромное количество деформаций, обратим внимание на работу В. А. Мележика [14] по изучению литологии и геохимии протерозойских зеленокаменных комплексов Кольского полуострова. Исследуя их геохимическую зональность, он пришел к важному выводу: во всех случаях границы зон, включая границы протерозойских прибрежных фаций, совпадают с контурами зеленокаменных поясов в их *современных границах*. Неожиданно для себя он обнаружил, что возникшая в протерозое вещественная упорядоченность не искажается при формировании современного облика Балтийского щита. Иными словами, никаких значимых горизонтальных межблоковых смещений за это время там не происходило.

Не менее показателен пример Кейвского комплекса, кианитовые сланцы которого практически всегда рассматривались как платформенные каолиновые толщи, попавшие в труднообъяснимую складчато-метаморфическую «переделку» или даже вовсе причлененные в процессе плейтектонических перемещений [15]. Очевидно, что «каолиновая» версия должна предусматривать последующее участие дифференцированного осадочного комплекса апокаолиновых кианитовых сланцев вместе с согласно подстилающими «метаосадками» лебяжинских гнейсов в общей для них складчатости. Однако статистический анализ 2 тысяч замеров углов падения гнейсовидности этих пород на всей Кейвской структуре показал, что кианитовые сланцы залегают круто, а лебяжинские гнейсы — полого (рис. 5). Иначе говоря, и здесь возникновение структурного узора коррелируется с составом наполняющих его пород, а формирование вещественной зональности является частью единого процесса структурообразования, но вовсе не предшествовало ему. Тогда выходит, что кианит — это вовсе и не каолин в прошлом, а продукт некоего «неосадочного» процесса, развитого исключительно в крутопадающих зонах. И, значит, правы те, кто скептически относился к этой идеологической реликвии «осадочной геологии докембрия».

Явление кооперативного поведения компонентов состава и компонентов структурного узора в

геологических ансамблях любого типа кардинально меняет исследовательскую тактику, не говоря уже о сложившемся стереотипе успешного геологического анализа. Особую важность этот вывод приобретает для потенциально рудоносных комплексов, существенно меняя отношение к ним заинтересованных отраслей промышленности.

Остается понять, существует ли альтернатива доминирующим тектоническим идеям и конструкциям в рамках теории самоорганизации. В самом общем виде этот вопрос уже поднимался нами [5]. Он выходит за рамки данной статьи и потребует специального рассмотрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базай А. В., Иванюк Г. Ю. Фрактальные свойства железорудных толщ // Геология Балтийского щита и других докембрийских областей России. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 1996. С. 44—50.
2. Балабонин Н. Л., Иванюк Г. Ю. О природе «голубоватого» магнетита из железистых кварцитов Кольского полуострова // ЗВМО. 1995. № 3. С. 61—77.
3. Войтеховский Ю. Л. О принципах организации горных пород и инвариантах квадратичных форм. // Доклады РАН. 1994. Т. 338. № 3. С. 355—357.
4. Горяинов П. М. Беломорско-карельская активизация в тектонической окраине ареала железисто-кремнистой формации Кольского полуострова // Геология рудных месторождений Кольского п-ва. Апатиты: Изд. Кольского филиала АН СССР, 1981. С. 45—58.
5. Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. М.: ГЕОС, 2001. 312 с.
6. Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю. Поможет ли синергетика «теории» тектоники плит? // Отечеств. Геология. № 2. 2005. С. 93.
7. Горяинов П. М., Иванюк Г. Ю., Яковенчук В. Н. Тектонические перколяционные зоны в Хибинском массиве // Физика Земли. 1998. № 10. С. 822—827.
8. Егоров Д. Г., Иванюк Г. Ю. Складкообразование в железорудных системах как детерминированно-хаотический процесс // Физика Земли. 1996. № 1. С. 16—29.
9. Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж., Оксогов А. А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994. С. 6—45.
10. Иванюк Г. Ю., Горяинов П. М., Егоров Д. Г. Введение в нелинейную геологию. Изд. КНЦ РАН. Апатиты, 1995. 188 с.
11. Иванюк Г. Ю., Яковенчук В. Н., П. М. Горяинов П. М., Коноплева Н. Г., Пахомовский Я. А., Кривовичев С. В. Природный минералогический автоклав // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Том 2. Полезные ископаемые, минералогия, петрология, геофизика. Апатиты: Изд. Кольского НЦ РАН, 2002. С. 91—103.
12. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в канале с параллельными стенками. М.: Мир, 1968. 195 с.

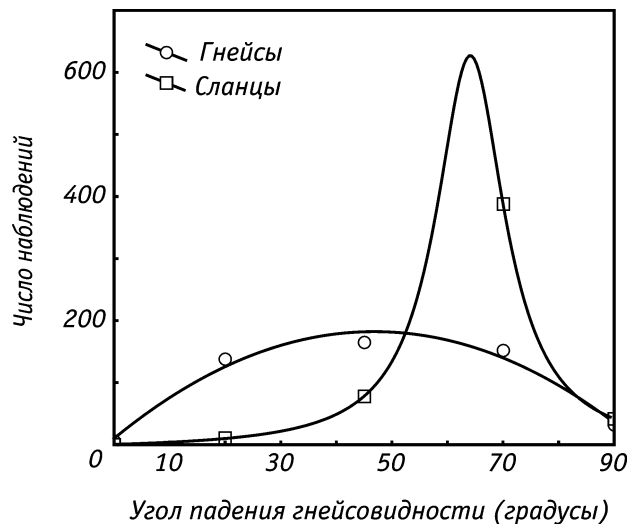


Рис. 5. Соотношение углов падения гнейсовидности лебяжинских гнейсов и кианитовых сланцев Кейвской структуры

13. Мандельброт Б. Фракталы и турбулентность: аттракторы и разброс // Странные аттракторы. М.: Мир, 1981. С. 47—57.
14. Мележик В. А. Седиментационные и осадочно-породные бассейны раннего протерозоя Балтийского щита // С.-Петербург, Наука, 1992. 258 с.
15. Митрофанов Ф. П., Баянова Т. Б. Кейвский террейн в кольском коллизии // Общие вопросы тектоники. Тектоника России. Материалы XXXIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2000. С. 332—334.
16. Николаев А. П., Горяинов П. М. Квазипериодические явления в метаморфических породах как отражение их упорядоченного строения (на примере железорудных ассоциаций Кольского полуострова) // Геология и геофизика, 1990. № 11. С. 86—93.
17. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир. 1990. 344 с.
18. Обуэн Ж. Геосинклинали. М.: Мир, 1967. 302 с.
19. Садовский М. А., Писаренко В. Ф. Случайность и неустойчивость в геофизических процессах // Физика Земли. № 2. 1989. С. 3—12.
20. Сейсмичность при горных работах. Ред. акад. Н. Н. Мельников. Изд. КНЦ РАН. Апатиты. 2002. 325 с.
21. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Том 1. Москва: Мир, 1983. 304 с.
22. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир. 1980. 404 с.
23. Hobbs V. E., Mühlhaus H.-B., Ord A., Moresi L. N. The influence of chemical migration upon fold evolution in multi-layered materials // Nichtgleichgewichtsprozesse und dissipative Strukturen in den Geowissenschaften (Hrsg.: H.-J. Krug and J. H. Kruhl). Berlin: Duncker und Humblot, 2001. P. 229—252.
24. Ord A. The fractal geometry of patterned structures in numerical models of rock deformation // Fractals and dynamic systems in geoscience (Ed. J. H. Kruhl). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 1994. P. 131—155.