Т.Т. КАЗАНЦЕВА

НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

ГИЛЕМ

Академия наук Республики Башкортостан
Отделение наук о Земле
Институт геологии УНЦ РАН

Т.Т. Казанцева

НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Издательство «Гилем»
Уфа – 2006

УДК 551.24
ББК 26.3
К 14

Т.Т. Казанцева.
Научные законы геологического развития/ Т.Т. Ка- занцева. – Уфа: Гилем, 2006. – 74 с.
ISBN 5-7501-0606-3

Приводятся доказательства выявленных автором научных законов геологического развития. Показано, что существующие сомнения в отношении возможности в настоящее время открывать и обосновывать геологические законы, напрасны. Представляется, что это не более сложно, чем решать любые другие геологические проблемы. Залогом успеха является достаточность необходимых знаний и продуманность выбранного пути.

Рецензенты:
к.г-м.наук *В.А. Романов*, д.г.-м.наук *В.С. Степанов*

ISBN 5-7501-0606-3

© Казанцева Т.Т., 2006

ВВЕДЕНИЕ

Многие выдающиеся ученые открывали геологические законы либо обосновывали необходимость их выявления. Среди них Н. Стено, М.В. Ломоносов, Дж. Геттон, А. Гресли, К. Розенбуш, Г. Ог, В.И. Вернадский, В. Бухер, Г. Штилле, А.Е. Ферсман, А.Н. Заварицкий, А.Г. Бетехтин, Е.С. Федоров, В.Н. Лодочников, А.Д. Архангельский, Д.В. Наливкин, Д.С. Коржинский, Н.Б. Вассоевич и другие.

Наиболее полная сводка об имеющихся законах, эмпирических обобщениях, принципах и правилах в геологии содержится в монографии И.П. Шарапова (1989), где из 63 отраженных в «Геологическом словаре» (1973) высказываний на эту тему, оставлено 28 принадлежащих собственно геологии. Анализируя их, автор пришел к выводу, что заявленному назначению соответствуют только 11 законов, 2 правила и 3 эмпирических обобщения. Причем 9 из 11 законов открыты в минералогии и петрографии. Это дало основание ему заключить, что в геологии законы есть, но не во всех ее дисциплинах, а номологическая база только начинает формироваться.

С 1989 года я публикую результаты исследований, направленных на открытие и обоснование неизвестных ранее геологических законов эволюции. Названная проблема решается не только с использованием современных знаний в области минералогии, петрологии, учения о формациях, но и с точки зрения геотектоники. И это не случайно, так как геотектоническая наука, по определению Н.С. Шатского, пронизывает все области геологических исследований и пытается решать конечные и наиболее общие вопросы геологии.

Это положение хорошо согласуется с более ранними высказываниями М.М. Тетяева (1934), рассматривающего геотектонику, в отличие от тектоники – структурной геологии, не как выявление и изучение отдельных элементов структуры, простое изменение первичного залегания пород, обусловленное различными механическими процессами, а как определение характера связей этих элементов между собой, их взаимоотношений. Потому названный исследова-

тель основную задачу геотектоники видит в изучении процесса развития Земли в целом, **в выявлении законов**, управляющих этими процессами. Как он пишет: «Вышеизложенное понимание предмета геотектоники дает возможность выявить связь ее с другими науками геологического цикла и определить место среди них. Геотектогенез, как таковой, как процесс развития структуры, есть не что иное, как частная форма выражения развития Земли…», то есть «… **частное выражение общих законов развития планеты**» (с. 6-7).

Из давно известных законов геоэволюции напомним научные законы датского ученого Н. Стено, который еще в 1669 г. предложил несколько геологических, как он назвал, принципов, которые ныне знают все геологи. Например. Первоначально любой слой отлагался в горизонтальном положении. Если он наклонен, следовательно, произошло его нарушение. Если данный слой отложился горизонтально на другом наклонном слое, это значит, что нарушение последнего произошло задолго до образования первого. Горы не представляют собой постоянной величины. И другие. Это и многое иное позволило последующим поколениям геологов считать Н. Стено основателем современной геотектоники.

Упомянем и один из важных законов геологического развития, каким является закон необратимости (закон Долло), а также геогенетический закон Д.В. Рундквиста (или однонаправленности Геккера-Мюллера). Эти законы у последователей некоторых учений в геологии вызывают сомнения. Сторонники же современного эволюционизма, как правило, их принимают. Названные законы будто бы противоречат принципу повторяемости геологических событий – цикличности, достаточно уверенно прослеженной на разных уровнях во многих складчатых областях мира, в том числе и на Урале, и являющейся по выражению Б.М. Кедрова (1961) «необходимым признаком всякого закона» (с. 36). Однако, закономерная смена состава и строения каждого молодого тектонического цикла и в целом складчатых областей по сравнению с более древними, убеждает в том,

что необратимость, однонаправленность и цикличность дополняют друг друга.

Уместно отметить и термодинамический закон Рикке, который применим в объяснении наиболее важных аспектов процесса рудообразования.

СИСТЕМНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ

В современный период геологическая наука характеризуется возрастающей теоретичностью, обеспечена множеством закономерностей и пока небольшим арсеналом геологических законов. Дальнейшее развитие теоретической геологии связано с установлением новых природных законов, что возможно при: 1) использовании системного подхода в геологии; 2) применении принципа иерархичности; 3) должном уровне разработки и приложимости структурного метода к изучению геологических систем всех рангов. Третье положение основывается на методологическом принципе основоположника геотектоники и последователя Р. Декарта Н. Стено. В известном его трактате «О твердом, естественно содержащемся в твердом», вышедшем в 1669 году, содержится один из важнейших методологических принципов. Он читается так: «... при данном теле определенной формы, созданном согласно законам Природы, в самом теле находим доказательства, раскрывающие место и способ его создания» (1957, с.12). Другими словами генезис любого природного тела закодирован в нем самом. Предельно ясная формулировка, однако, не содержит в себе механизма раскрытия этого кода, и, не случайно спустя 300 лет, Ю.Б. Молчанов (1979) в работе «Развитие и время» написал: «Если ход индивидуальных будущих событий мы можем лишь гадать, но не предсказать просто по причине отсутствия информации о них в настоящее время в реальном мире, то о событиях прошлого мы не можем судить не потому, что информации нет, а потому, что она **недоступна расшифровке**» (стр. 72). Уровень современных знаний в области теоретической геологии позволяет

смотреть на решение этой проблемы более оптимистично, для чего необходимы однозначные представления, что же представляют собой тела, созданные Природой. В геологии такими природными телами являются различного уровня вещественные комплексы, изучение которых должно обеспечиваться единой методологией, которой и является системность.

Необходимость системных представлений в науке назревала столетиями и, изучая естественные объекты, исследователи всегда стремились найти то общее (сущность), которое было бы присуще всем природным телам. Уже А. Гумбольдт (1862), рассматривая природу как целостное единство, состоящее из совокупности составляющих, трактовал целое не как простую сумму частей, а как качественно новое, кроющееся во внутренней природе данной целостности.

В теоретических изысканиях естественных наук междисциплинарное научное направление, известное как системный анализ в общей теории систем, является одним из наиболее эффективных способов познания сущности природных процессов и их эволюции. Мы будем исходить из положения о том, что Природа системна, а системы в ней многоуровенны.

В геологической науке системность используется сравнительно недавно. Достаточно сказать, что первое совещание по системным представлениям в геологии в нашей стране проведено только в 1983 г. Однако, попытка системного мышления была предпринята значительно раньше. Вероятно, ее следует относить к появлению понятия **парагенез**, впервые предложенному Брейтгауптом в сороковые годы восемнадцатого столетия. Этот термин применялся как совместное нахождение, возникшее при одновременном, либо последовательном образовании минералов и пород.

В последующем, с появлением учения о геологических формациях парагенетического направления Н.С. Шатского и Н.П. Хераскова, он используется и для формаций. «Если минералы – парагенезы элементов, горные породы – парагенезы минералов, то геологические формации – пара-

генезы горных пород» – писал Шатский (1965). В таком случае ранговые парагенетические ассоциации и есть ранговые вещественные геосистемы.

В настоящее время имеется достаточно много работ, использующих системный подход к явлениям геологической природы. Это исследования Ю.А. Косыгина, Ю.Н. Карогодина, Г.М. Власова, О.А. Вотаха, Б.М. Чикова и многих других.

Следует сказать, что далеко зашедшая дифференциация наук о Земле (не оптимальное соотношение дифференциации и интеграции), большая степень гипотетичности, многозначность основополагающих понятий и терминов, отсутствие общепринятой ранговой шкалы для вещественных и тектонорежимных категорий делают затруднительным внедрение системных представлений в теоретическую геологию. Это тормозит дальнейшее развитие геологической науки. Положение можно было бы улучшить в случае, если применять системную методологию не для каких-то усредненных понятий, явившихся результатом компиляции знаний различных научных школ и направлений, как это часто имеет место, а для цельных обобщающих теорий, способных увязать в последовательную единую цепь взаимообусловленных процессов геологические события. В этом случае системные представления явятся и проверкой состоятельности модели.

Анализируя имеющиеся в литературе определения «система» и возможности приложимости их к геологической среде, мы пришли к следующей формулировке этого понятия. **Геологическая система** – это целостный природный объект (вещественного, режимного либо познавательного характера), обладающий четкими границами, довольно хорошей узнаваемостью, состоящий из парных целостностей более низкого ранга противоположного значения, находящихся в структурных связях между собой. Таким образом, ранговость, целостность, двуединая противоположность состава и структура – непременные атрибуты геологической системы.

В свете такого определения понятно, почему системы более низкого геологического ранга, такие как минерал

и порода, были очевидны давно. В то же время, несмотря на упомянутое выше учение о формациях, обособленная целостность надпородных вещественных уровней трудно поддавалась осмыслению. Однако, после того, как в основу принципа **иерархичности** было заложено положение о том, что каждая вышестоящая по рангу система должна состоять из нижестоящих единиц с противоположными свойствами, вопрос ранговости геологического вещества упростился. Так, известно, что минерал – это химические элементы, их группы (катионные и анионные), объединенные определенной структурой, которая называется кристаллической решеткой. Следует отметить, что в природе существует множество минералов (несколько тысяч). Однако, есть группа минералов «особого назначения». Это породообразующие минералы. Их не так много – первые десятки, но именно эти минералы слагают важнейшие породные комплексы в земной коре. Породообразующие минералы представлены двумя разнородными (противоположными по свойствам) группами. Их называют лейкократовыми (светлоокрашенными) – алюмосиликаты и силикаты Ca, Na, K и меланократовыми (темноцветными) – силикаты и алюмосиликаты, в основном, Mg, Fe, Al, Ca. Каждая порода состоит из определенного набора светлоокрашенных и темноцветных минералов, связанных между собой соответствующей структурой. Типов пород также очень много. Но имеются породы, играющие основную роль в эволюции земной коры. Это группа магматических изверженных горных пород, представленная по составу основными, средними, кислыми и щелочными классами. В общем, основность, кислотность и щелочность породы определяется количественным соотношением лейкократовых и меланократовых минералов, повышением, либо понижением роли того или иного минералообразующего химического элемента. Разработаны классификации, таблицы, позволяющие по химическому составу породы, ее минеральному составу и особенностям структурных связей минералов между собой определять принадлежность породы к определенному классу, ее название.

Но как объединяются породы в вышестоящие системы? Мы уже отмечали, что согласно учению о формациях

Н.С. Шатского, Н.П. Хераскова, надпородным уровнем геологического вещества должна являться формация, что принимается многими исследователями. Однако, далеко не все, даже среди достаточно известных ученых, такое мнение разделяют. Это связано с тем, что термин «формация» и в настоящее время имеет неоднозначное толкование, далеко не только парагенетическое. Это: стратиграфическое (ярусы, горизонты, свиты и т.д.); палеогеографическое (фациальное) и генетическое направления. Необоснованным является и произвольное его употребление, в виде термина «свободного назначения». На уровне современных знаний генетическое и парагенетическое направление в учениях о формациях противопоставлять нет оснований, что показано ранее (Казанцева, 1983). Стратиграфическое направление, используемое американскими геологами, не согласуется с системностью геологического вещества. Это понятно, так как геологическое тело каждого уровня (как возрастное, так и региональное) должно, прежде всего, быть типовым, а не случайным. Только в этом случае оно может занять определенное положение в ранговой шкале геологического вещества. Свободное же использование слова «формация» в геологии следует исключить, чтобы не смешивать с термином, несущим конкретную генетическую нагрузку.

Таким образом, применение принципа системности геологического мира заставляет термин «формация» использовать только в парагенетическом толковании, а вещественной системой более высокого уровня считать формацию.

Принцип выделения надформационных уровней должен быть также парагенетическим. Ранее мы обращали внимание на то, что в основе понятия «парагенез» как формаций, так и более высоких рангов лежит не просто совместное нахождение составляющих единиц, связанных одновременным или последовательным их образованием, а тектонические условия накопления. В этом случае, и в соответствии с шарьяжно-надвиговой геодинамической моделью образования складчатых областей, выше формационного уровня должна располагаться формационная серия, а следом – формационный ряд.

Целостность системы предполагает ее автономность, устойчивость, взаимодействие как целое с внешним миром, наличие качеств, не присущих компонентам системы – эмерджентность (еще Аристотель утверждал, что целое больше суммы его частей). Целостность же системы создается структурой, объединяющей составные части. Кроме того, **структура** системы определяется как порядок, последовательность, способ расположения, организации элементов, характер связей и отношений между составляющими.

Непременным условием **состава** природных систем является их двуединая противоположность. При этом отождествлять полностью либо частично понятия «противоположность» и «противоречие», как это имеет место (Философский словарь, 1975), не следует. Противоположности притягиваются, стремятся объединиться, а противоречия – исключить, уничтожить одну из сторон.

Естественно рассматривать противоположности по принципу дополнительности. Как написал В.Н. Голованов (1970, с.41): «Происходит преодоление односторонности каждой из противоположностей в их тождестве, благодаря чему достигается конкретное адекватное понимание действительности».

Что же такое закон вообще и геологический в частности? Согласно определениям философского (1975) и логического (1971) словарей под законом следует понимать **отражение в знании объективной действительности о внутренней и существенной связи явлений и предметов, обуславливающей их необходимое развитие**. Законы геологии устанавливаются на геологическом материале и должны распространять свое влияние на все геологические уровни организации. Вероятно, нетрудно обратить внимание на некоторое родство в определениях структуры и закона, с отличием в виде частного порядка для первой и общего – для второго. В таком случае, структура системы может трактоваться как частный закон для каждой конкретной системы о взаимосвязи ее составляющих.

Как отмечают, научный закон – это общие, необходимые знания, суть обобщения. В получении их доминируют

два направления. До XVII века это рационализм, уходящий вглубь философии Платона и получивший синтезированное воплощение в трудах Декарта. Он трактуется, как извлечение всеобщего не из действительности, а являющегося следствием врожденного разума, идеи. Затем эмпиризм, оформившийся в виде конкретного взгляда в философии Ф. Бэкона, по мнению которого опорой идеи должно быть опытное естествознание, обобщение его достижений. Первые попытки соединения названных направлений через активную деятельность человека, как известно, принадлежат Канту и Гегелю. Впоследствии это развивалось марксистами.

Современное состояние рассматриваемого вопроса характеризуется теми же тенденциями. Одни исследователи придерживаются эмпирического направления, придавая основное значение фактологическому обоснованию, другие утверждают, что рождение общего знания предопределено появлением концепции.

Необходимо заметить, что к решению проблемы о «первичности» либо «вторичности» вообще следует подходить без излишней категоричности. При использовании принципа ранговости систем (вещественных, возрастных, геодинамических либо еще каких-то) такой дилеммы не должно существовать. Это как довольно часто употребляемая банальность о «первичности курицы либо яйца», когда все понимают, что старшая по возрасту курица (мать) первична, а младшая (дочь), появившаяся на свет из снесенного матерью яйца, вторична. Это же относится и к не бесспорному утверждению о первичности состава при подчиненности структуры и т.д. Сейчас ясно, что «ключом», открывающим этот «замок» является ранговость систем.

В свете изложенного, особо результативным инструментом решения генетических проблем и познания законов геологической природы следует считать изучение форм связи системообразующих составляющих – **структуры** геологических систем всех рангов. Выяснение характера постепенной изменчивости структурных особенностей в сопряженных по времени условиях меняющейся среды, и установление закономерностей их преобразования составляют суть **структурного метода** в геологии.

Следует отметить, что в философии давно известно такое направление как структурализм, рассматривающееся «как конкретно научная методологическая ориентация, выдвигающая в качестве задачи научного исследования выявление структуры объекта» (Фил. словарь, 1975, с. 396). Это направление подвергалось неадекватной критике марксистов по той причине, что «широкое распространение структурных методов в различных сферах знания породило необоснованные попытки возвести структурализм в ранг философской системы, и в качестве таковой противопоставлять другим философским системам, в том числе марксизму» (там же). В геологии мы видим, что именно структура создает систему, а, следовательно, ее возможности познать генезис (то, как создается система) через различные формы изучения наиболее реализуемы. Полагая, что структура – (форма) всегда вторична по отношению к составу (содержанию) многие и сейчас уделяют изучению первой мало внимания, что до системных представлений в геологии не оспаривалось. Однако, так считали далеко не все, и это можно показать на ряде высказываний крупных ученых. Выдающийся петрограф Е.С. Федоров в 1896 году отмечал, что «…для определения породы важнейшими моментами являются структура и минеральный состав, и, притом, из этих двух моментов первый является наиболее важным» (1896, стр. 391). «Структура магматической породы, – писал Ф.Ю. Левинсон-Лессинг – не зависит от химического состава магмы, а определяется лишь условиями ее застывания, кристаллизации» (1955, стр. 80). По А.Н. Заварицкому «…структура изверженных горных пород говорит о способе их кристаллизации» (1956, стр. 14). Известный минералог современности А.С. Поваренных считал, что: « Соотношение между обликом и структурой минерального индивида неоднозначно и определяется условиями кристаллизации…» (1966, стр. 99). Аналогичные выводы сопровождают труды В.Н. Лодочникова, Ю.Ир. Половинкиной, В.С. Соболева и многих других.

Представляется также, что не следует оперировать как равнозначными понятиями: системно-структурный, системно-генетический и системно-эволюционный анализы.

Думаю, что мало оснований как их противопоставлять, так и рассматривать, как последовательные стадии изучения природных систем. Из них только структурный может использоваться как анализ, а вопросы генезиса и эволюции должны решаться с его помощью.

Использование системной методологии и применение структурного метода позволили нам решить ряд генетических вопросов геологии, выявить последовательность и качественную характеристику геодинамических режимов формирования земной коры, а также обосновать несколько законов эволюции геологической природы (Казанцева, 1990-2005 гг.).

ГЕОДИНАМИКА И НАУЧНЫЙ ЗАКОН ЭВОЛЮЦИОННОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Сравнительный анализ процессов, протекающих в современных активных системах земной коры, с известными закономерностями развития складчатых областей позволяет выделять в истории развития последних два основных периода: период растяжения (рифтогенно-спрединговый) и период сжатия (геосинклинальный в теории геосинклиналей либо островодужно-аккреционный – в новой глобальной тектонике). Первый из них предшествует появлению второго.

Начало растяжения знаменуется возникновением многочисленных разломов и заложением по ним линейных грабеновых структур, нарезающих соответствующие области континента на протяженные субпараллельные блоки, вытянутые поперек действия растягивающих усилий. Таким образом, формируется рифтовая система, состоящая из грабенов и разделяющих их остаточных горстовидных поднятий, подобных тем, которые наблюдаются в современном рифте Красного моря. Созданный вследствие этого сильно расчлененный рельеф способствует накоплению так называемых грабеновых формаций, характерными чертами которых являются: молассоидный облик, мелководный или континентальный характер отложений, признаки размыва подстилающих серий. Появление более глубоких трещин

порождает развитие вулканических комплексов щелочных базальтоидов со значительной ролью калиевых серий. В течение дальнейшего периода растяжения в центре максимального проявления растягивающих усилий, происходит разрыв континента. В рифтовых зонах океанов обнажается гипербазитовый субстрат, на котором формируется океаническая кора. В это же время в пределах океанического пространства происходит накопление относительно маломощных глубоководных осадков, а на окраинах сопредельных континентов, являющихся тектонически пассивными, идет формирование осадочных серий значительной мощности. Разрастание океанической области сопровождается своеобразным процессом, при котором ранее образованные зоны, отодвинутые в сторону континента, соответственно раньше стабилизируются и становятся более жесткими, чем позже образованные. В силу этого на дне обширных океанических пространств возникают надвиги, порождающие положительные линейные формы рельефа. Они выражены подводными цепями гор, ориентированными параллельно срединно-океаническому хребту. Как это впервые показал А.В. Пейве (1976, 1980), океаническая кора начинает дислоцироваться уже в срединно-океанических хребтах.

Развитие неомобилизма, особенно новой глобальной тектоники, привело к широкому использованию в расшифровке геологических обстановок прошлого метода актуализма. Однако, к сравнению современных геодинамических обстановок с ископаемыми различные исследователи подходят по разному. Так, например, окраинные моря одни считают новообразованиями, возникшими в результате растяжения земной коры под влиянием внедрения мантийного диапира, другие – участками океанической коры, отсеченными зоной субдукции от океанической плиты, т.е. при формировании островных дуг. Существует и ряд других представлений (Зоненшайн, Савостин, 1979). Нам представляется наиболее приемлемым мнение об окраинных морях, как отгороженных островными дугами участках берегового океанического пространства. При этом островные дуги возникли вследствие значительного утолщения океа-

нической коры при шарьировании (скучивании океанических масс). Образование глубоководных желобов, прослеживающихся вдоль островных дуг и активных окраин континентов, в таком случае можно рассматривать как результат разуплотнения вещества и проседания участков коры при накоплении вулканических извержений. Потому для них характерно наличие отрицательных гравитационных аномалий вдоль осевой части структуры, свидетельствующих, очевидно, о дефиците океанических масс под ними, а также значительная мощность недеформированных осадков и широкое развитие основных и ультраосновных серий.

Ранее было показано, что процесс формирования земной коры обусловлен активным шарьированием океанических масс на край континента, приведшим к тектоническому и геохимическому взаимодействию сиалической (континентальной) и базитовой (океанической) кор, вызвав развитие складчатости, магматизма, метаморфизма, нефте- и рудообразования (Казанцева, 1981; 1987). При этом общий ход развития складчатых областей, ведущий к их консолидации и превращению в платформу, осуществлялся в режиме прогрессирующего горизонтального сжатия и сопровождался многократной повторяемостью тектонических обстановок – цикличностью. Состав вулканизма каждого цикла эволюционирует от основных к кислым породам, при закономерном возрастании роли щелочей.

Развитие процесса ведет к постепенному сокращению океанического бассейна от краев к центру, и, в конечном счете, к его замыканию. Континентальный режим последовательно наступает на океан, превращая его в платформу. Согласно изложенным представлениям режим растяжения и режим сжатия на планете «мирно сосуществуют», а закрытие одного океана происходит в силу разрастания другой аналогичной структуры. В таком случае растяжение в одном регионе земного шара создает тангенциальное сжатие в другом.

Приведенные закономерности развития земной коры сравнительно хорошо проявлены на Урале. В геологической истории последнего также достаточно четко устанавливается два главных периода развития, соответствующих

двум противоположным по направлению действия горизонтальных напряжений режимам. Они сопоставимы по времени проявления. Первый из них соответствует режиму растяжения, второй – режиму сжатия. Начало растяжения, совпавшее с началом рифейской эпохи, знаменуется заложением Уральской палеорифтовой системы положившей начало расколу Европейско-Азиатского палеоконтинента (Камалетдинов, 1974; Иванов, 1979). Этот процесс, вероятно, протекал подобно образованию современных рифтов вдоль ступенчатой системы грабенов, с постепенным утонением земной коры в центральной части структуры.

Зарождение рифтов сопровождалось формированием своеобразных ассоциаций пород, известных как грабеновые формации. Диагностическими признаками последних являются: континентальный либо мелководный характер отложений; присутствие значительных объемов грубообломочных пород – молассоидов с материалом размыва пород фундамента, с плохой сортировкой кластического материала, переходящих вверх по разрезу в более мелкозернистые терригенные осадки; значительные мощности серий и изменчивость их по площади, свидетельствующие о достаточно расчлененном рельефе; присутствие, иногда широкое развитие своеобразных магматических образований со щелочным уклоном (щелочные базальтоиды, пикритовые порфириты, щелочно-ультраосновные породы) и др.

Рифтовый магматизм, развивающийся в условиях растяжения и деструкции литосферы, отличается от магматизма других геодинамических обстановок. По мере развития рифтогенеза происходит утонение литосферы и ее разрыв на заключительной (материковой) стадии, что сопровождается изменением состава вулканитов, главным образом щелочности и преимущественной концентрацией вулканической активности в осевой зоне рифта (Милановский, 1974; Кориневский, 1978; Ленных и Петров, 1978; Грачев и Поляков и др. 1985).

По данным В.Г. Казьмина (1985) в рифтовых структурах существование связи между рифтогенезом и сопутствующим ему вулканизмом отражается закономерной эволюцией составов. Наблюдается идеальная последователь-

ность, выраженная направленной сменой вулканизма от ультращелочных продуктов к толеитовым базальтам (ультращелочные породы – щелочные базальты – слабощелочные базальты и щелочные риолиты – базальты переходного типа с более выраженным толеитовым характером – толеиты).

К типичным грабеновым формациям на Урале относятся нижнерифейские образования, представленные бурзянским и юрматинским седиментационными циклами, соответствующим одноименным сериям. Первый начинается молассоидами айской свиты, залегающими резко несогласно на толщах тараташского метаморфического комплекса. Данный комплекс, как известно, параллелизуется с архей-протерозойским кристаллическим фундаментом Восточно-Европейской платформы. В составе свиты преобладают пестроокрашенные, преимущественно красноцветные, полимиктовые терригенные породы (конгломераты, гравелиты и песчаники). Среди обломков доминирует материал размыва тараташского комплекса. Это джеспилиты, граниты, гнейсы, амфиболиты и пр. Кластика не отсортирована и на 40-50% не окатана. Отложения айской свиты характеризуются парагенетической ассоциацией грубообломочных терригенных пород и вулканитов. Излившихся пород около 5%. Вулканогенные образования представлены, в основном, навышской подсвитой, залегая в виде отдельных пачек, покровов, штоков, субвулканических тел. Среди таких вулканитов доминантным развитием пользуются трахибазальтовые разности, формирование которых происходило в наземно-континентальных и мелководных условиях, что связывается с заложением и развитием рифтовой структуры. Это обосновано особенностями химизма вулканитов, содержанием и распределением в них редких и редкоземельных элементов (Парначев, 1982). Кроме того, по данным этого же автора, особенности химического состава песчаных пород айской свиты, как и характер распределения в них легких, средних и тяжелых лантаноидов, также указывают на накопление осадков в условиях платформенного режима. Такая ассоциация трахибазальтовых вулканитов и молассоидных терригенных пород позволяет считать, что

их формирование происходило в пределах платформы, в результате заложения рифта. Общая мощность айской свиты более 2000 м.

Среднюю часть бурзянского цикла – саткинскую свиту слагают карбонатные (доломиты, известняки, мергели), сланцевые (мергелисто-глинистые, углисто-глинистые, углисто-кварцево-карбонатные) и терригенные (песчаники) породы мощностью около 2000 м. Завершается цикл преимущественно сланцами бакальской свиты, содержащей прослои карбонатных пород и кварцевых песчаников, общей мощностью до 1500 м.

Юрматинский цикл осадконакопления начинается машакской свитой, развитой не повсеместно и залегающей несогласно на нижележащих толщах. Известны и факты налегания машакской свиты прямо на породы тараташского комплекса. Эта свита представлена крупногалечными конгломератами, песчаниками и различного рода сланцами. Для нее характерно присутствие вулканитов, количество которых в отдельных частях разреза сопоставимо с осадочными породами. По данным В.П. Парначева (1982), в пределах Ямантауской зоны вулканогенные породы машакской свиты слагают от 30 до 60% ее объема и представлены кислыми и основными разностями. По особенностям химического состава и содержанию ряда редких и рассеянных элементов они обнаруживают субщелочной уклон и сходство с базальтами некоторых рифтовых зон, в частности Восточно-Африканской рифтовой системы. Кислые вулканиты слагают самостоятельный горизонт в нижней части разреза. Мощность его – до 200 м. Эти породы встречаются и на более высоких уровнях в виде отдельных прослоев. Они представлены различными по текстурно-структурным особенностям липаритами, трахилипаритами и даже трахитами, несущими следы мелководности. По мнению В.М. Сергиевского (1971), осадочные отложения машакской свиты можно сравнить с молассой, характеризующейся слабой окатанностью обломочного материала и мелководностью условий накопления. Мощность свиты до 1600 м. Выше залегают песчаники и кварциты зигальгинской свиты с изменчивой мощностью от 200 до 1500 м и зи-

газино-комаровской свиты, мощность которой варьирует в тех же пределах. В подчиненном количестве в обеих свитах содержатся известняки и кварцево-глинистые сланцы. Завершается среднерифейский седиментационный цикл авзянской свитой (мощность до 1800 м), состоящей, в основном, из известняков, доломитов и сланцев. Айская и машакская свиты отвечают всем характеристикам грабеновых формаций, на что ранее указывали М.А. Камалетдинов (1974), С.Н. Иванов (1979), Казанцева (1981) и др.

В дальнейшем спрединг привел к разрастанию океанического пространства с рифтовой системой в центре и окраинами континентов пассивного (атлантического) типа по краям. Под окраинами континентов понимаются зоны значительной протяженности и довольно большой ширины, располагающиеся параллельно береговой линии океана и включающие полосу прилегающей к океану наземной части континента, шельф, континентальный склон и подножье. Характерной особенностью осадконакопления таких структур является образование линзообразной призмы пород, значительно утолщенной в пределах континентального склона. В ее составе преобладают терригенные, угленосные и карбонатные осадки большой мощности, лишенные или почти лишенные вулканического материала. Обширные площади современных океанических пространств, располагающиеся между срединно-океаническими рифтами и пассивными окраинами континентов, заполняются в это время пелагическими карбонатными, кремнистыми и глинистыми отложениями глубоководного типа. Некоторое развитие имеет и вулканическая деятельность, приуроченная к отдельным цепочкам вулканических гряд и подводным горам (Ковалев, 1978).

Вышеперечисленным признакам на Урале отвечают средне-верхнерифейские образования, слагающие ныне хребет Уралтау. Несмотря на то, что они подвергались значительному метаморфическому преобразованию, формационный состав и петролого-геохимические критерии их сопоставимы с океаническими образованиями атлантического типа.

Так, максютовскому вулканическому комплексу свойственны: преобладающий основной состав, натровая специализация пород, парагенез с осадочными сериями углисто-кремнистого и углисто-глинистого состава, реликты шаровых лав. Эти черты являются характерными для спилито-диабазовой формации. Изучение петрохимических особенностей ортопород комплекса (Алексеев, 1976) позволяет отождествлять их с толеитовыми океаническими базальтами. Присутствие же в составе комплекса значительного количества тел ультрабазитов, пространственно связанных с вулканогенно-осадочными сериями, и чрезвычайно малое количество кислых вулканитов (не более 2-3%) подтверждают правомерность такого заключения.

Вулканические образования мазаринской свиты также имеют преобладающе основной состав. По особенностям химизма они относятся к известковой и известково-щелочной сериям. Средний химический состав их сопоставим с океаническими толеитовыми базальтами. Вместе с тем известен ряд признаков, указывающих на некоторое участие в формирующихся океанических толщах среднего и позднего рифея зоны Уралтау континентальной коры. К таким признакам относятся: сравнительно небольшой объем вулканитов по отношению к осадочным толщам, некоторая щелочная тенденция и повышенная железистость пород (Алексеев, 1976). Преобладание осадочных пород в составе рассматриваемых комплексов, в том числе и глубоководных сланцевых, приближает их к образованиям, формирующимся в пределах океанических пространств атлантического типа.

Поскольку пород древнее среднего рифея в зоне Уралтау не обнаружено, следует предположить, что разрыв континента по осевой линии произошел не раньше раннерифейского века. Отодвигание двух составных частей его породило зарождение палеоокеана с меланократовым фундаментом основания, представленным гипербазитами.

Таким образом, в стадию растяжения на окраине континента осадконакопление характеризуется довольно правильной повторяемостью идентичных по составу и строению толщ – длительными циклами, когда грубообло-

мочные разности сменяются песчаными толщами, а последние, в свою очередь, тонкообломочными, глинистыми и карбонатными. Для них свойственны: ограниченная фациальная изменчивость толщ при сильных колебаниях мощностей даже на сравнительно небольших расстояниях, что связано с накоплением их в условиях достаточно расчлененного рельефа; направленность в развитии циклов, заключающаяся в возрастании песчаниковой составляющей в каждом молодом цикле по сравнению с предыдущим; увеличение красноцветности толщ в нижних сериях; местный источник обломочного материала, которым служат разрушающиеся положительные формы рельефа континента; антидромная направленность вулканизма. Цикличность осадконакопления свидетельствует о прерывистом характере действия тектонических напряжений растяжения. В то же время, для океанических образований характерны: сравнительная глубоководность осадков с широким развитием сланцев, отсутствие чёткой закономерности в осадконакоплении; относительное однообразие состава, нарушаемое появлением вулканогенных комплексов океанического типа; небольшие мощности и пр. Эти черты строения докембрийских образований Урала были впервые подмечены Н.П. Херасковым (1967) при сравнении древних свит Башкирского антиклинория с одновозрастными толщами Уралтау.

Исходя из изложенного, следует предположить, что в среднерифейское время произошел раскол континента, приведший к заложению океана. В среднем рифее, одновременно с накоплением на краю континента грабеновых формаций, в океане образуются глубоководные серии. В позднем рифее и венде на континентальных окраинах продолжается образование мощных толщ осадочных пород.

Взаимоотношение палеозойской и рифейской структур в современном плане четко устанавливается на восточном крыле Башкирского антиклинория, где в ряде обнажений можно наблюдать резко несогласное налегание средне-верхнеордовикских песчаников на интенсивно смятые рифейские образования (Келлер, 1949; Хоментовский, 1952; Казанцева, 1970; Камалетдинов, Казанцева, 1970 и

др.). Коренная перестройка структурного плана в этом временном интервале свидетельствует о существовании на Урале байкальского орогенеза, который следует связывать с переменой знака напряжения, т.е. со сменой режима растяжения режимом сжатия.

С этого времени вдоль границ океанической и континентальной плит возникает область геологического взаимодействия континента и океана, функционировавшая затем в течение всего палеозоя и, частично, мезозоя.

Для периода сжатия характерно накопление геологических образований по типу формационных рядов, что изложено в подразделе «Цикличность геологических процессов»

Итак, развитие и консолидация земной коры во времени осуществлялись стадийно — последовательно и направленно при режимах горизонтального растяжения и горизонтального сжатия. В каждом из режимов сформировался временной ряд формаций.

Стадия растяжения на окраине континентов характеризуется осадконакоплением с довольно правильной повторяемостью сходных по составу и строению толщ – цикличностью, когда грубообломочные породы вверх по разрезу сменяются песчаниками, затем тонкообломочными, глинистыми и карбонатными. Магматические образования характеризуются антидромной направленностью и сравнительно небольшим развитием.

Сейчас мы знаем (Казанцева, 2003), что в период сжатия все протекало в обратном порядке. В начале каждого тектонического цикла формировалась вулканическая серия. Завершающее звено представлено флишевой формацией, часто сопровождающейся олистостромом. Типовой набор вулканической серии, от начала ее к концу, состоит из сменяющих друг друга магматических формаций с последовательно возрастающей степенью дифференциации исходного материала магмы. Вулканизм обладает гомодромной направленностью. Эволюция осадочной части в начале заключается в преобладании кремненакопления. По мере развития возрастает роль карбонатообразования, а

затем существенно увеличивается (до преобладания) количество терригенных пород.

Из приведенных закономерностей вытекает закон эволюционной направленности, который можно сформулировать так: **знак тектонических напряжений определяет характер направленности эволюции вещественных комплексов геоактивных зон планеты.**

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ЭВОЛЮЦИИ

С использованием арсенала известных ранее и установленных ныне закономерностей, а также конкретных геологических материалов я сформулировала геологические законы эволюции, такие как ***закон энергетической обеспеченности основных геологических процессов тектоническими силами, согласно которому геологические процессы и явления в земной коре зарождаются и протекают в условиях горизонтально направленных тектонических сил, а также закон определенности состава геовещественных единиц интенсивностью тектонического режима, из которого следу*ет, что *эволюция геологического вещества осуществляется в режиме направленного изменения тектонических тангенциальных напряжений.***

Обоснование геологических законов эволюции на формационном уровне

К выявлению геологических законов эволюции я подошла как к решению элементарной задачи, в которой на основе известных следует найти искомое. В соответствии с существующим обобщенным определением закона известными служат «явления и предметы» либо «объекты», а искомым – «устойчивые, внутренние и существенные связи» между ними. Для законов эволюции «явления и предметы» – это разноранговые вещественные единицы и геодинамические режимы их накопления. В отношении первых наша наука располагает довольно обширными сведениями. Но эволюция предполагает достаточность знаний и об услови-

ях развития геовещества в непрерывных отрезках времени. А определенности в отношении геодинамических режимов, закономерностей их смены в таких временных пределах до недавнего времени не существовало. Эта проблема решена мною при помощи вещественно-структурной методики, обоснованной в предыдущих публикациях (Казанцева, 1987; 1998 и др.).

На протяжении истории изучения вулканизма в складчатых областях мира многими исследователями в разные годы выявлены важнейшие закономерности, касающиеся его состава и строения. На Урале, например, установлены типовые формации, их последовательность и неоднократная повторяемость во времени. Выявлены и изучены формационные ряды с последовательной сменой вулканитов основного состава все более кислыми разностями. Показано возрастание степени дифференциации вулканитов от начала к концу каждого ряда, со сменой преимущественно афировых структур начальных формаций порфировыми – в конечных. Наблюдено увеличение во времени объема субвулканических, интрузивных и осадочных образований, снижение кремней при возрастании карбонатных и терригенных пород. В полном соответствии с господствовавшим геодинамическим режимом начальные вулканические формации изливаются в условиях открытости недр, их хорошей проницаемости. Это может быть обеспечено только соответствующим по масштабности разломообразованием. Структурные особенности зрелых и конечных формаций являются следствием ухудшения проницаемости данного участка литосферы, что эффективнее всего достигается горизонтальными смещениями магмоподводящих дизъюнктивов в результате их пережатия и запечатывания. Последние тем интенсивнее, чем значительнее тектонические напряжения горизонтального сжатия. Накопление флиша определяется разрушением ранее сформированных толщ и происходит там, где вулканическая деятельность прекращается. Это возможно только при полной закрытости недр, при максимальном тангенциальном сжатии. Температуры кристаллизации изверженных горных пород различного состава определяются степенью

их тугоплавкости, и потому известны. Для пород основного состава они высокие, для среднего – ниже, кислого – еще ниже. Таким образом, **последовательность геодинамических режимов развития каждого тектонического цикла сводится к зарождению его в условиях низких значений напряжений горизонтального сжатия и высоких температур, дальнейшему постепенному усилению бокового давления и падению температур, разрядке предельно допустимых тангенциальных напряжений при надвигании с возрастанием в зонах перемещений температурных значений**. Из сказанного следует, что ***напряжение тангенциального сжатия по мере развития тектонического цикла возрастает, а вещественный состав каждой формации и всего тектонического цикла определяются соответствующими геодинамическими режимами их развития***.

При сравнительном анализе состава и строения разновозрастных формационных рядов (тектонических циклов) Южного Урала, а также других складчатых областей (Крымской, Корякско-Камчатской, Карпатской, Аппалачской) нами подмечены следующие закономерности. В каждом последующем тектоническом цикле, по сравнению с предыдущим, направленно уменьшается объем вулканических серий за счет возрастания флишевых. В составе вулканических серий снижается доля начальных формаций, вплоть до полного их исчезновения, за счет увеличения собственно зрелых. Растет объем щелочных серий, интрузивные комплексы получают все большее развитие, а состав их становится все более кислым. Снижается уровень кремненакопления в осадках, возрастает количество хемогенных и терригенных толщ, в составе флишевых образований олистостромовые горизонты получают большее развитие, и пр. Значит, по мере омоложения тектонических циклов ранние формации постепенно редуцируют, уступая место конечным членам. Эти закономерности идентичны тем, что свойственны каждому формационному ряду. Такой ряд, как известно, характеризует развитие одного тектонического цикла. Потому они не могут быть объяснены иначе, чем ***направленным возрастанием напряжений бокового***

сжатия по мере омоложения тектонических циклов и обусловленностью их вещественного состава особенностями геодинамического режима *(*Казанцева, 1981, 1983, 1987; Казанцева, Камалетдинов, 1986; Kazanceva, Kamaletdinov, 1986; Казанцев и др., 1992; и др.)*.*

Эволюция магматизма всей планеты, по О.А. Богатикову и др. (1987), характеризуется такими же тенденциями. Ими являются: а) непрерывно-дискретный характер развития, цикличность, направленность и необратимость; б) более широкое развитие базитового магматизма в начале каждого цикла, а кислого, щелочного и субщелочного – в конце; в) закономерное повышение общего уровня кремнекислотности и щелочности от цикла к циклу и др.

Итак: ***1) закономерности развития магматизма для отдельных тектонических циклов, целых складчатых областей и всей земной литосферы идентичны; 2) тектоническая активность планеты в процессе ее эволюции закономерно повышается; 3) естественная смена вещественного состава определяется соответствующим изменением геодинамического режима****.*

Обоснование геологических законов эволюции на минеральном и породном уровнях

Иерархический ряд вещественных геологических систем представлен: минералами, горными породами, геоформациями, формационными рядами и их комплексами. Обоснование данных законов на трех последних из перечисленных уровней мы только что привели. Ниже будет показано, как отражены геологические законы эволюции на минеральном и породном уровнях, привести краткие доказательства.

Закономерности состава, строения и развития породообразующих минеральных систем. Последние представляют собой объединения соответствующей кристаллической решеткой двуединых противоположностей – катионных и анионных химических групп.

Из нескольких тысяч минералов, распространенных в земной коре, главных породообразующих всего несколько десятков. Они в том или ином виде слагают основной объем литосферы и представлены двумя полярными ветвями: лейкократовой и меланократовой. К лейкократовой ветви относятся светлоокрашенные салические минералы – полевые шпаты (алюмосиликаты Ca, Na и K) и кварц. В составе первых выделяются плагиоклазы, калиевые и калинатровые полевые шпаты. Меланократовая ветвь включает темноцветные фемические минералы: оливины, ромбические и моноклинные пироксены, амфиболы и темные слюды.

Согласно *правилу Лагорио*, порядок выделения породообразующих минералов из магмы, установленный эмпирически, следующий. Первыми кристаллизуются акцессорные* минералы, затем оливины, ромбические и моноклинные пироксены, роговые обманки и темные слюды, далее плагиоклазы (от основного состава до кислого), щелочные полевые шпаты, кварц.

Боуэн на основании предложенного им *реакционного принципа* объединил породообразующие минералы в два непрерывных ряда последовательности кристаллизации. Один из них представлен оливином, магнезиальным пироксеном, магнезиально-железистым пироксеном, амфиболами и биотитом. Другой ряд – плагиоклазами: известковыми, известково-щелочными, щелочно-известковыми, щелочными. Ряды завершаются калиевым полевым шпатом и кварцем.

В кристаллизационных рядах прослеживаются закономерные изменения состава породообразующих минералов. В общих чертах направленность смены составов породообразующих минералов в лейкократовой ветви выглядит следующим образом.

Плагиоклазы образуют изоморфный ряд от анортита – $Ca(Al_2Si_2O_8)$ до альбита – Na $(AlSi_3O_8)$. Промежуточные разности плагиоклазового ряда определяются содержани-

---

* Добавочные, присутствующие в очень малых количествах.

ем весового процента анортита, обозначаясь номерами: № от 91 до 100 – анортит; № от 71 до 90 – битовнит; № от 51 до 70 – лабрадор; № от 31 до 50 – андезин; № от 11 до 30 – олигоклаз; № от 0 до 10 – альбит. В специальной минералогической и петрографической литературе, как правило, плагиоклазовый ряд начинался не с анортита, как это сделали мы, а с альбита. Предпринятое изменение диктуется необходимостью привести в соответствие порядок минералов в полевошпатовом ряду с их последовательностью в кристаллизационном, что обеспечивает, в свою очередь, согласованность с направленностью вещественной эволюции земной коры. По количеству SiO_2 альбит и олигоклаз называют кислыми плагиоклазами; андезин – средним, а лабрадор, битовнит и анортит – основными.

Калинатровые полевые шпаты являются промежуточными минералами $Na(AlSi_3O_8)$ и $K(AlSi_3O_8)$. Анортоклаз, например, может содержать натриевые и калиевые составляющие примерно в равных количествах.

Калиевые полевые шпаты – $K(AlSi_3O_8)$ представлены санидином, ортоклазом и микроклином. В названных минералах натриевая составляющая может присутствовать. При этом она закономерно уменьшается от санидина к микроклину. В санидине количество $Na(AlSi_3O_8)$ может достигать даже 50%, в ортоклазе – до 30%, а в микроклине не превышает 20% (Винчелл и Винчелл, 1953).

От 50 до 25% тетраэдров полевых шпатов содержат Al^{3+} вместо Si^{4+}. Количество алюминия закономерно уменьшается от начала плагиоклазового ряда к его концу и далее к калишпатам до практически полного исчезновения в кварце.

Кварц – SiO_2 завершает лейкократовую ветвь кристаллизационнного ряда. К. Фрей его появление объясняет так: «Если бы в тетраэдрах каркасной структуры полевых шпатов алюминий бы полностью отсутствовал, а они были бы заселены только ионами кремния, окруженными ионами кислорода, структура была бы электростатически нейтральной и имела бы состав SiO_2» (Фрей, 1985).

В меланократовой ветви тенденция закономерной смены составов такова. Оливины представляют собой изо-

морфную серию силикатов Mg и Fe с общей формулой $(Mg,Fe)_2SiO_4$, крайними членами которой являются форстерит (магнезиальный) и фаялит (железистый) минералы. Пироксены – в основном силикаты, реже алюмосиликаты Ca, Fe и Mg. Как ромбические, так и моноклинные разности образуют непрерывные изоморфные ряды по содержанию Fe. При этом между содержанием железа и параметрами элементарной ячейки существует прямая зависимость. Основой анионной части их является (Si_2O_6). Наиболее распространенным минералом из группы амфиболов в изверженных горных породах является роговая обманка. Это алюмосиликат сложного состава, катионная часть которого представлена Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, а анионная – $((OH,F)_2(Si,Al)_2Si_6O_{22})$. Главным породообразующим минералом из группы слюд для магматических пород является биотит. Это алюмосиликат K, Mg и Fe с гидроксильной и алюмосиликатной анионной частью. Итак, оливины – только силикаты Mg и Fe. Пироксены – чаще силикаты, иногда алюмосиликаты. В них, кроме Mg и Fe, появляется Ca. Роговая обманка и биотит – только алюмосиликаты, с присутствием, кроме названных в пироксенах катионов, дополнительно Al, Na и K. Последний элемент преобладает в биотите.

В кристаллизационных рядах закономерно изменяется не только состав породообразующих минералов, но и их физические, а также оптические свойства. Так, анортит разлагается в кислотах с выделением желатинообразной кремнекислоты, несколько хуже разлагается битовнит, еще слабее – лабрадор. На андезин, олигоклаз и альбит кислоты не действуют. Исключение составляет плавиковая кислота. Разной основности плагиоклазы в различной степени подвергаются вторичным изменениям. Закономерная направленность подверженности таким преобразованиям аналогична растворимости. Основные плагиоклазы очень легко замещаются продуктами разложения. Часто наблюдается почти полное разрушение анортитовой молекулы. Чем кислее плагиоклаз, тем меньше он подвержен процессам вторичных изменений, потому плагиоклазы альбитового состава характеризуются наибольшей устойчивостью.

Аналогичная картина наблюдается и в поведении темноцветных минералов. Оливины легко серпентинизируются, ромбические пироксены нередко заполняются серпентином и уралитом (волокнистым амфиболом), моноклинные пироксены либо окружаются реакционной каемкой, либо по ним развивается роговая обманка. Последний минерал является относительно устойчивым, но может замещаться карбонатом, хлоритом, биотитом, реже эпидотом. Биотит наиболее устойчив и редко подвергается вторичным изменениям. Эти сведения содержатся в известных монографиях крупнейших отечественных петрографов А.Н. Заварицкого, В.Н. Лодочникова, В.И. Лучицкого и др.

Наблюдается закономерное падение величин показателей преломления в минералах как лейкократовой, так и меланократовой ветвей, а также тенденция роста двупреломления. Наглядна направленность смены положений оптических ориентировок в плагиоклазах и пр.

Последовательное изменение химического состава, физических и оптических свойств минералов кристаллизационных рядов согласуется с закономерностями эволюции геодинамических условий их образования. Последние расшифровываются посредством структурного анализа, суть которого заключается в изучении структурного фактора природного вещества любого уровня организации. В данном случае – это структурная минералогия и структурная петрография.

Познание эволюции минеральной системы следует начинать с одной из интересных проблем структурной минералогии – полиморфных превращений. Полиморфизм является процессом чисто структурного порядка. Сущность его заключается в том, что минералы в различных условиях (температура и давление) могут образовывать разные по симметрии и форме кристаллы без изменения химического состава. Это явление довольно распространено в природе. Считается, что почти все вещества могут быть получены в различных полиморфных модификациях. Ярким примером полиморфитов служат графит и алмаз. Явлению полиморфизма большое внимание уделял в свое время В.И. Вернадский. В докторской диссертации, опубликованной в 1897

году, большое внимание он уделил явлениям скольжения кристаллического вещества, систематизировав все известные экспериментальные сведения о сдвиговых деформациях кристаллов без разрыва сплошности. Позже он также объяснил, что полиморфные переходы осуществляются довольно легко «путем механических воздействий (трения, давления и т.д.)» (Вернадский, 1988, с. 8).

Более тонким структурным превращением, также без изменения состава, является упорядочение кристаллической решетки минералов, переход типа беспорядок – порядок. Этот процесс свойственен всем породообразующим минералам.

Согласно определению Р. Мюллера (1985), «явления порядка – беспорядка характерны для кристаллов, в которых две или более структурно и энергетически неэквивалентные позиции заняты двумя или более атомами, ионами или другими частицами или остаются незанятыми – вакантными. У нижнего температурного уровня стабильности таких кристаллов каждый тип частиц стремится сконцентрироваться в наиболее выгодных позициях, и это называется упорядоченным состоянием» (с. 267). Как правило, упорядочение структуры осуществляется при снижении температуры. Поэтому упорядоченные разновидности называют низкотемпературными, а неупорядоченные – высокотемпературными модификациями.

Процессы упорядочения кристаллической решетки лейкократовых минералов достаточно хорошо изучены, что можно видеть на примере полевых шпатов, которые относятся к каркасным силикатам и обладают моноклинной либо триклинной сингонией. Элементарными ячейками их структуры являются кремнекислородные и алюмокремнекислородные тетраэдры. Они соединяются друг с другом общими вершинными атомами кислорода в виде трехмерного каркаса, основой которого являются кольца из четырех тетраэдров (по два тетраэдра направлены вершинами в противоположные стороны). Пустоты между ними заполняются довольно крупными катионами Ca, Na либо K. На каждые четыре тетраэдра приходится одна катионная позиция. Процесс упорядочения полевых шпатов осуществляется, в

основном, за счет закономерного расселения Si и Al в тетраэдрических позициях.

Анортит существует только в упорядоченном состоянии. Тетраэдры, занятые Al и Si, чередуются между собой, давая, таким образом, отношение между названными элементами 1:1.

В упорядоченном альбите алюминий занимает одну тетраэдрическую позицию, остальные три, симметрично независимые, заняты кремнием. В неупорядоченном альбите каждая из четырех тетраэдрических позиций содержит статистически 25% Al и 75% Si (Старки, 1985).

В группе калиевых полевых шпатов происходит возрастание степени упорядоченности структуры от минерала к минералу. Это достаточно известный факт. Так, санидин обладает моноклинной сингонией и совершенно неупорядоченной структурой. Моноклинность ортоклаза определяется сдвойникованностью триклинных доменов. Это частично упорядоченный минерал. Микроклин является полностью упорядоченным минералом, сингония его преимущественно триклинная.

Алюминий и силиций в неупорядоченном калиевом полевом шпате – санидине распределяются по тетраэдрическим позициям Si беспорядочно, причем 25% Al распределены случайным образом в каждой из четырех позиций Si в четверной координации. В ортоклазе 32% Al распределены случайным образом в одной позиции Si в четверной координации и 18% – в другой. Структурные исследования микроклина показывают, что распределение Al в этом минерале высоко упорядочено, и он концентрируется в одной из четырех позиций Si четверной координации (Бэрри, 1985).

Довольно долгое время считалось, что мотивы из кремнекислородных тетраэдров обладают достаточной жесткостью. Затем выяснилось, что влияние Si, Al- распределения на искажение структуры существует, и замещение алюминия кремнием в тетраэдрах ведет не только к изменению их размеров, но и катионных позиций. Так, при неупорядоченном распределении атомов Al и Si в алюмокремнекислородных тетраэдрах в высокотемпературном

альбите, пустоты, предназначенные для атомов Na, значительно превышают его объем, а при значительной степени упорядоченности, как это имеет место в низкотемпературном альбите, эти пустоты настолько малы, что могут быть полностью заполнены атомом Na. Кроме того, в упорядоченных и неупорядоченных модификациях катионы зачастую обладают различной силой эффекта анизотропных тепловых колебаний. В альбите этот эффект выражен значениями, примерно в 6 раз превышающими в неупорядоченных разностях по сравнению с упорядоченными. Степень тепловой вибрации для наиболее упорядоченной модификации – микроклина характеризуется меньшим значением, чем для санидина и ортоклаза. Эта же закономерность свойственна и плагиоклазам. При сравнении структуры упорядоченного альбита и микроклина также отмечалось, что степень тепловой вибрации несколько меньше у калиевого минерала, нежели натриевого (Фергуссон, Трэйл, Тэйлор, 1964). Видимо, тенденция направленного изменения объема катионных позиций прослеживается при упорядочении структур всей ветви лейкократовых породообразующих минералов. К тому же, по данным Э.Д. Мегоу, К.Дж.Е. Кэмпстера и Е.В. Радословича, объем элементарной ячейки анортита значительно больше, чем, например, у альбита, и достигается за счет увеличения параметра «с», который в два раза больше при равных значениях остальных параметров (Мегоу и Кэмпстер, Радослович, 1964). Таким образом, можно заключить, что в ряду плагиоклазов от анортита к упорядоченному альбиту, а затем к калишпатам происходит уплотнение структуры элементарной ячейки, которое может быть объяснено возрастанием направленного давления в процессе кристаллизации. Впрочем, положение о том, что упорядочение может осуществляться не только при понижении температуры, но и при повышении давления известно давно. При этом возрастание давления и уменьшение температуры, как правило, вызывают структурные преобразования идентичного характера (Бокий, 1960; Патнис, Мак-Коннелл, 1983; Поваренных, 1966; и др.). В этом плане сведения об образовании микроклина из ортоклаза в условиях ориентированного давления (см. Винчелл и Винчелл, 1953; Мурхауз, 1963)

находят логичное объяснение. Об успешных результатах экспериментов по превращению неупорядоченного моноклинного санидина в упорядоченный триклинный в условиях комнатной температуры и значительных давлений сообщают также А. Патнис и Дж. Мак-Коннелл (1983).

Из изложенного вытекает, что **эволюция природных условий кристаллизации минералов лейкократовой ветви в ряду полевых шпатов (от основных плагиоклазов к кислым и далее к калишпатам) сопровождается постепенным снижением температуры, что согласуется с известными температурами плавления породообразующих минералов. Она может обусловливаться и возрастанием ориентированных давлений, которые в природе обеспечиваются тектоническими напряжениями сжатия.**

Такое заключение выглядит более убедительным на примере темноцветных породообразующих минералов. Последовательный ряд кристаллизации их начинается с оливина. Структура кристаллической решетки этого минерала представлена изолированными тетраэдрами SiO_4, связанными катионами Fe и Mg. Наиболее обширны группы пироксенов и амфиболов. Они представляют собой цепочечные силикаты, в которых кремнекислородные тетраэдры соединяются друг с другом, образуя одинарные цепи – структуры пироксенов, либо двойные, спаренные цепи – структуры амфиболов. Минералы, относящиеся к слюдам, обладают слоистой структурой, в которой кремнекислородные тетраэдры соединены в двухмерные листы. Таким образом, структура каждого нижестоящего в ряду темноцветного породообразующего минерала представляет собой поэтапное усложнение структуры предыдущего.

По сведениям П. Декарли (1985) «клинопироксены отличаются от ортопироксенов тем, что у них тетраэдрические цепи смещены относительно друг друга в направлении оси z. Такое смещение приводит к моноклинной элементарной ячейке в отличие от ромбической у ортопироксенов» (с. 108). Следовательно, для образования моноклинных пироксенов требуется направленное давление,

которое выше, чем при образовании ромбических, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Как пишет Д. Моррисон-Смит (1985, с. 256), в процессе деформирования ортопироксенов была установлена важная особенность, заключающаяся в «переходе ортопироксена в клинопироксен», вызванная деформацией, а У. Лейтон и М. Уилсон приводят данные об образовании амфиболов из пироксенов в условиях стресса: «…имеются целые блоки структуры тремолита, аналогичные таковым диопсида. Кроме того, если структуру диопсида деформировать таким образом, чтобы нижняя часть была сдвинута на a/r+c/r, получившаяся структура будет, по существу, такой же, как у тремолита. Если говорить о генезисе, можно было бы ожидать, что пироксены превращаются в амфиболы в условиях стресса, и это действительно так» (1985, с. 27).

Преобразование структуры слюд в сторону ее упорядочения осуществляется также в условиях стресса. Для образования слюд вообще необходимы значительные давления (Заварицкий, 1956). К тому же, как считает К. Фрей: «Структуры минералов группы амфибола могут быть представлены как состоящие из фрагментов слюд и пироксенов» (1985, с. 313), а, по мнению У.Л. Брэгга и Г.Д. Кларингбулла (1967), структурные взаимоотношения между группами слюд, пироксенов и амфиболов таковы, что «фактически структура слюды – это следующий этап процесса превращения пироксена в амфибол. Отдельные цепочки, характерные для пироксена, в амфиболе соединяются одна с другой с образованием двойной цепочки (ленты). Дальнейшее присоединение к ним цепочек приведет к образованию гексагональной сетки структуры слюды» и далее… – «Подобный процесс… сопровождается определенными ионными замещениями, обеспечивающими сохранение стабильности структуры» (с. 263).

Итак, **эволюция процесса породообразующего минералообразования обеспечивается, вероятнее всего, направленным изменением геодинамического режима.**

В условиях высоких давлений структурные преобразования оливина (одного из главных породообразующих

минералов ультраосновных пород) приводят к появлению шпинели. Естественно, что при достаточном содержании в оливине рассеянного хрома образуется хромит. По мнению А. Патниса и Дж. Мак-Коннелла (1983), это – реконструктивный процесс, протекающий при термической активизации «… с разрывом и реорганизацией связей, с вероятным механизмом нуклеации и роста» (с. 233). Такие условия могут быть созданы при снятии (разрядке) избыточных давлений скалыванием толщ, что согласуется с современными представлениями о появлении в земной коре ультраосновных пород тектонически, в результате надвигания океанической коры на край континента (Казанцева, 1981; 1986; Камалетдинов, Казанцева, 1983; и др.).

Следовательно: **эволюция природной минеральной системы происходит в направлении упорядочения кристаллической решетки породообразующего минерала; каждый последующий в кристаллизационных рядах породообразующий минерал образуется при больших значениях давления и меньших температур, чем предыдущий; кристаллизация породообразующих минералов осуществляется в режиме однонаправленного давления, который обусловливается тектоническими напряжениями сжатия**.

Закономерности состава, строения и развития формациеобразующих породных систем. Породные системы представляют собой парагенетические сообщества разнородных породообразующих групп минералов (лейкократовых и меланократовых), объединенных соответствующей каждому типу пород структурой. Различают три главных генетических класса пород: магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Магматические породы в земной коре ***рассматриваются*** как первичные*, так как они являются производными магмы, возникшей в теле планеты в результате плавления ее собственного вещества. Это и определило предпочтительность выбо-

* Выделение первичных, вторичных и третичных формаций по генетическому признаку принадлежит П.С. Палласу (XVIII в.).

ра их в качестве объекта исследований при изучении эволюции земной коры и выявлении ее законов. Осадочные породы могут быть как вторичными, так и первичными. В первом случае они накапливаются за счет разрушения ранее выведенных на поверхность магматических пород. Это – терригенные отложения. Во втором – образуются за счет осаждения из сингенетичных магматизму гидротермальных растворов остаточного химического материала магмы, не задействованного при кристаллизации изверженных пород. Они сопровождают магматические формации в виде осадочной составляющей. Метаморфические породы всегда вторичны и являются результатом наложенных преобразований всех других типов пород.

По условиям залегания магматические горные породы подразделяются на следующие типы: излившиеся или эффузивные (вулканические), субвулканические (застывшие в близповерхностных условиях), жильные (дайковые) и интрузивные (глубинные). По содержанию кремнезема среди них выделяются: ультраосновные (SiO_2 до 44%), основные (от 44 до 53%), средние (от 53 до 64%) и кислые (от 64 до 78%). Еще одна группа щелочных изверженных пород как самостоятельная признается не всеми. Она обосновывается отношением суммы щелочей к кремнезему и присутствует в виде щелочной серии в составе других групп.

Салические и фемические породообразующие минералы кристаллизационных рядов Боуэна объединяются в соответствующие изверженные горные породы, являющиеся главными формациеобразующими породными системами в природной иерархии геологического вещества. Парагенетические сообщества минералов в магматических породах таковы, что каждый лейкократовый структурно связывается только с определенным меланократовым минералом. Составы наиболее часто встречающихся в земной коре изверженных горных пород упрощенно выглядят следующим образом. Лейкократовая составляющая группы основных пород – габбро, базальтов, диабазов – представлена основными плагиоклазами, а меланократовая – пироксеном (ромбическим и моноклинным), реже оливином. Главными минералами средних по составу пород – андезитов и

диоритов – являются плагиоклазы среднего состава плюс моноклинный пироксен либо роговая обманка. Лейкократовые породообразующие минералы группы кислых пород – гранитов и их эффузивных аналогов – представлены кварцем, плагиоклазом кислого состава и калиевыми полевыми шпатами. Среди темноцветных минералов преобладает биотит, реже присутствуют роговая обманка и пироксен. Щелочные породы – сиениты и их эффузивные эквиваленты – состоят из щелочных полевых шпатов и биотита. Другие темноцветные минералы (роговая обманка и пироксен) присутствуют значительно реже.

Петрографами давно определено, что степень кристалличности и характер идиоморфизма породообразующих минералов в породных системах являются главными структуроопределяющими факторами. **Эти факторы лежат в основе многообразия известных структур изверженных горных пород и могут использоваться для суждений о палеогеодинамических условиях их образования.**

В соответствии с *принципом идиоморфизма Розенбуша, Лагорио, Харкера* (И.П. Шарапов (1989) перевел его в геологический закон) по относительному идиоморфизму минералов в породе можно судить о последовательности их кристаллизации из магмы. Известно, что в одних изверженных породах наблюдается прямая последовательность кристаллизации породообразующих минералов, соответствующая правилу Лагорио. Другие же породы характеризуются противоположной направленностью кристаллизации, не соответствующей данному правилу.

Структуры прямого порядка кристаллизации характерны, например, для гранита, у которого наблюдается ксеноморфизм кварца, и монцонита, с видимым идиоморфизмом плагиоклаза по отношению к ортоклазу. Сюда же относится и друзитовая структура – обрастание оливина ромбическим пироксеном и др. С*труктурами обратного порядка кристаллизации* является диабазовая и офитовая, в которых плагиоклаз идиоморфен, а темноцветный минерал – ксеноморфен. Следует обратить внимание и на спилитовую структуру, когда плагиоклаз идиоморфен и представлен наиболее кислым членом плагиоклазовой

группы – альбитом. Это будто бы не согласуется с его идиоморфизмом. Довольно распространены и *промежуточные структуры*, свойственные, например, габбро, аплиту и др. Габбровая структура характеризуется равным идиоморфизмом породообразующих минералов, при котором либо один, либо другой из них относительно более идиоморфен. В аплите кварц и полевой шпат равнозначно идиоморфны. К *сложным*, вероятно, следует относить порфировые структуры, свойственные андезитам и андезитовым порфиритам. В них крупные кристаллы – вкрапленники, равно как и мелкокристаллическая основная масса, представлены плагиоклазом и одним из темноцветных минералов с равной степенью идиоморфизма. Однако порфировые выделения плагиоклаза этих пород часто обладают зональностью с покислением от центра к краям кристалла.

Такая упрощенная систематика основных структур изверженных горных пород, а также уже известное нам положение о том, что каждый нижестоящий минерал в естественных кристаллизационных рядах образуется в условиях снижения температуры и повышения направленного давления, являются основой определения геодинамических условий образования пород. В таком случае следует считать, что излившиеся породы основного состава формировались в обстановке низкого давления. Интрузивным же породам такого же состава свойственны несколько большие значения давления. Структуры кислых изверженных пород свидетельствуют о значительно возросшем давлении. Чередование основных и кислых эффузивных пород, которое наблюдается в одной из начальных в тектоническом цикле – контрастной формации, фиксирует осложнение однонаправленного геодинамического режима пульсацией. Прямая зональность во вкрапленниках плагиоклаза порфировых пород среднего состава отражает направленность возрастания давления в период их становления и т.д.

Следовательно, **эволюция формациеобразующего породообразования от основных по составу пород к кислым обеспечивается повышением направленного давления при снижении температуры. Ориентированность давления обусловливается соответствующим**

геодинамическим режимом. Образование породных по сравнению с минеральными системами обязано усложнению геодинамических условий, когда на общем фоне роста давления и снижения температуры тектонические силы приобретают импульсный характер. Он, кстати, приводит и к появлению спилитов.

Итак, мы видим, что выявленные нами геологические законы эволюции уверенно прослеживаются на минеральном и породном уровнях.

Более того, они могут не только подтверждаться, но и устанавливаться только в результате изучения структурного фактора породообразующих минералов и формациеобразующих пород. Однако в этом случае необходимо учитывать такие хорошо известные закономерности эволюции складчатых областей планеты, как:

1. Преобладание продуктов извержения основного состава на ранних этапах эволюции складчатой области, постепенное покисление по мере дальнейшего развития, широкое распространение кислых и щелочных пород в заключительные периоды. Направленность эволюции состава может быть и обратной, что свойственно условиям рифтообразования.

2. Становление складчатой области сопровождается сменой вулканизма трещинного центральным типом, а затем ареальным.

3. Среди изверженных пород основного состава развиты преимущественно эффузивные, излившиеся типы. Меньшим развитием пользуются интрузивные, застывшие на глубине.

4. Кислые изверженные породы, как правило, сконцентрированы в интрузиях. Вулканических типов этого состава значительно меньше.

5. В объеме пород среднего состава значительная доля принадлежит субвулканическим и дайковым сериям.

6. Порфировые структуры наиболее характерны для излившихся пород среднего состава. По Ф. Гиббсу, на рост фенокристаллов влияют механические эффекты, особенно вибрация (Хренов, 1982). В природной геологической среде – пульсация.

7. Упорядоченные модификации породообразующих минералов развиты, как правило, в интрузивных образованиях, а неупорядоченные – в излившихся породах. Это объяснимо условиями повышенного давления при кристаллизации в первом случае, по сравнению со вторым.

Объединение знаний по геодинамическим условиям формирования минеральных и породных систем с приведенными выше закономерностями отразит тектонический режим развития складчатой области в целом, характер его направленности и интенсивности. Он вполне согласуется с теми данными, которые мы получили на базе изучения закономерных изменений структурных характеристик формаций, формационных рядов и их комплексов (Kazantseva, Kamaletdinov, 1986; Казанцев и др. 1992).

Отсутствие приведенных выше знаний являлось основным препятствием для открытия научных законов эволюции в геологии. Сейчас этот пробел заполнен.

Таким образом, законы эволюции в геологии – это устойчивые, внутренние и существенные связи между составляющими геосистемы объектами и геодинамическими условиями, при которых они формируются.

Изложенное позволяет заключить, что существующие сомнения в отношении возможности обосновывать геологические законы, напрасны. Представляется, что это не более сложно, чем решать любые другие геологические проблемы. Залогом успеха является достаточность необходимых знаний и продуманность выбранного пути.

ЗАКОН ВНУТРИСИСТЕМНОЙ (ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ) КОМПЕНСАЦИИ

Доказательства данного закона выглядят следующим образом.

Известно, что алюминий в кристаллических решетках минералов играет двойственную роль. В одних случаях он входит в структуру тетраэдрических ячеек, в других – присутствует в катионных позициях.

В породообразующих лейкократовых минералах количество алюминия закономерно снижается в ряду плагиоклазов от основных до кислых разностей. Так, количество Al_2O_3 в анортите составляет 37%, в альбите – 19%, в ортоклазе – 18,5%. В кварце глинозем присутствует лишь в виде примести (Заварицкий, 1950). В темноцветных минералах роль алюминия повышается к концу меланократового ряда, но уже в октаэдрических позициях. Все оливины (от форстерита до фаялита) содержат в своем составе глинозема очень мало. Количество его здесь не превышает 4%. В ромбических пироксенах Al_2O_3 присутствует лишь в виде примесей. В моноклинных он достигает 9%, изредка даже 20%. В амфиболах, где алюминий может присутствовать как в алюмокремнекислородных тетраэдрах, так и в октаэдрах, содержание Al_2O_3 составляет в среднем от 9% до 17%. Породообразующие слюды содержат алюминий совместно с железом и магнием в октаэдрических слоях, располагающихся между тетраэдрическими листами. В среднем в биотите Al_2O_3 около 12%, а в мусковите возрастает до 38%.

Сейчас установлено, что вхождению алюминия в октаэдрические позиции кристаллических решеток благоприятствуют высокие давления (Лейтон, Уилсон, 1985). Вместе с тем, алюминий тетраэдрических ячеек по мере роста давления как бы вытесняется кремнием, вследствие чего соотношение названных элементов в плагиоклазах постепенно изменяется от 1:1 до 1:4. Поскольку ионный радиус алюминия больше, чем кремния, и равен соответственно 0,57 и 0,39 A^0, а расстояние Al-0 больше, чем Si-0 и составляет 1,71 против 1,63 A^0, «уплотнение» алюмокремнекислородных тетраэдров в условиях возрастающего давления должно осуществляться за счет предпочтения кремния алюминию.

Итак, рост давления в одних случаях способствует снижению роли алюминия, в других – его повышению. Видимо, этот «парадокс» можно объяснить, используя знания о парагенетических сообществах минералов в породах, когда определенные лейкократовые минералы ассоциируют с соответствующими им меланократовыми. Упрощенно составы наиболее часто встречающихся в земной коре из-

верженных горных пород выражены следующим образом: лейкократовая составляющая базальтов и диабазов представлена основным плагиоклазом (№ выше 50), а меланократовая – пироксеном (ромбическим и моноклинным), реже оливином; главными минералами андезитов и диоритов являются плагиоклазы среднего состава (№№ 20-50) + моноклинный пироксен либо роговая обманка; лейкократовые породообразующие минералы гранитов и их эффузивных аналогов представлены кварцем, плагиоклазом кислого состава (олигоклаз, альбит) и калиевыми полевыми шпатами, из темноцветных минералов преобладает биотит, реже роговая обманка и пироксен; сиениты и их эффузивные эквиваленты состоят из щелочных полевых шпатов и биотита, другие темноцветные минералы (роговая обманка и пироксен) присутствуют изредка.

Следовательно, можно констатировать, что **в породных системах снижение тетраэдрического алюминия в светлоокрашенных минералах компенсируется повышением его участия в октаэдрах кристаллической структуры соответствующих данной породе темноцветных.**

Мы уже писали, что в геоактивных зонах складчатых областей к настоящему времени известен комплекс типовых формаций – формационный ряд, состоящий из базальтовой недифференцированной, базальт-липаритовой контрастной, базальт-андезит-дацит-липаритовой (последовательной), порфиритовой базальт-андезитовой и флишевой формаций. Наблюдено, что во всем мире недифференцированные и контрастные формации ассоциируют с седиментационным кремнеземом. Осадочная часть последовательно дифференцированных и порфиритовых формаций представлена карбонатными и терригенными породами. Доля последних резко возрастает в порфиритовой и является основной для флишевой формаций. Как правило, названия отражают преобладающую компоненту, так, что в изверженных формациях игнорируется меньшая по значению осадочная часть. В названиях же осадочных формаций не заложена информация об изверженной составляющей. Это положение маскирует парагенетическую компенсацию

на формационном уровне, которую можно сформулировать так: **чем выше основность изверженной части формации, тем больше кремнезема в ассоциирующей с ней осадочной составляющей и наоборот.**

Известна эволюция химического состава вулканической серии, заключающаяся в «покислении» изверженных горных пород от начала к концу тектонического цикла (формационного ряда). Эта, хорошо проявляющаяся в складчатых областях закономерность, привела исследователей к выводу о постепенном обеднении магмы фемическими и, соответственно, накоплении салических составляющих в процессе ее кристаллизации. Однако, не учитывалось, что **преобладающая основность изверженных частей в начальных формациях компенсируется определенным объемом кислых пород второй половины формационного ряда, а осадочный сиаль кремней в начале цикла сбалансирован карбонатами Ca и Mg к концу.**

Аналогичные соображения распространяются и на комплексы тектонических циклов.

Следовательно, **кристаллизуется из магмы в первую очередь не то, что в ней преобладает, а то, что может образовываться в каждый конкретный отрезок времени согласно тектоническим (геодинамическим) режимам.**

Приведенные закономерности можно отобразить в виде геологического **закона внутрисистемной компенсации**, который, вероятно, можно сформулировать как **стремление природных систем к сохранению постоянства компонентного состава в процессе естественного развития.**

Что же касается минеральной системы, то стремление ее к сохранению неизменным своего состава в изменяющихся T и P условиях выражается также максимально возможным преобразованием структуры. Это запечатлено в полиморфитах – минералах одного и того же состава с отличающимися свойствами за счет различного строения кристаллической решетки.

Вероятно, не вызывает сомнений, что из предложенных нами законов эволюции геологической природы закон внутрисистемной компенсации, доказанный на нескольких природных уровнях, является, скорее всего, универсальным, присущим и другим системам, как более низкого, так и более высокого рангов. В силу этого, казалось бы, что его обоснованность может быть отражена одним из законов философии. Так как в понятии «система» мы использовали «двуединые противоположности» состава, закон внутрисистемной компенсации, вероятно, должен согласовываться с одним из главных законов диалектического материализма – «единства и борьбы противоположностей». Но оказывается это не так.

Основная сущность закона единства и борьбы противоположностей в марксистском варианте противоречит изложенному выше закону внутрисистемной компенсации в геологии. Борьба противоположностей с целью уничтожения одной из них означает, что развитие осуществляется не от «низшего» к «высшему», а наоборот. Что произойдет, например, если в геологической вещественной системе окажется уничтоженной одна из противоположностей? Система снизит свой ранговый статус, так как системные связи станут не нужными. Минеральная система превратится в разрозненный комплекс химических элементов, а породная – в отдельные минералы и т.д. Поэтому, в природе происходит не борьба, а взаимодействие противоположных частей системы в соответствии с эволюционирующей природной средой. Если мы правы в своих выводах, то основной закон диалектики следует читать как: **единство и взаимодействие противоположностей в соответствии с условиями развития системы.** Эволюция же системы осуществляется через преобразование ее структуры, которая, как правило, отображает природные условия возникновения системы.

НЕОБХОДИМЫ ЛИ НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ В ГЕОЛОГИИ

В последнее время стали появляться работы, отрицающие как необходимость, так и возможность открытия

геологических законов. Такие взгляды объясняют особым характером геологической науки, ее индивидуальностью в сравнении с другими науками естествознания. Об этом пишет В.Т. Фролов (2000). Вслед за ним недавно аналогичное заявление сделал и В.Н. Пучков (2001).

Убеждения первого из названных авторов основываются на таких его представлениях:

- «на протяжении почти века… собственно геология не прибавила ни одного закона и не разработала ни одной общепринятой теории» (с. 5). И это связано с тем, что в иерархическом ряду усложняющихся геологических наук выделяются «два совершенно разных мира»: *вещественный* (фактический) и *исторический* (интерпретационный, во многом спекулятивный)»;

- общегеологические законы для «вещественных» уровней реальны, а для более высоких уровней геологии – вряд ли. Потому «бесперспективны поиски общих законов и теорий в геологии (кроме самых абстрактных и философских)» (с. 4) и, следовательно, «в геологии не будут открыты законы такой же строгости, универсальности …». Эти законы «не будут играть… определяющую роль и служить критериями научности и зрелости» (с. 6).

- « обоснования законов ныне сделать трудно или невозможно» (с. 5) и др.

Второй – отвергает геологические законы на том основании, что:

- геология имеет дело с многофакторными и, «как правило, нелинейными, бифуркационными процессами» (с. 16);

- «невозможность постановки адекватного проверочного эксперимента» в связи с «несоизмеримостью масштаба времени протекания геологических процессов в сравнении с жизнью наблюдателя» ограничивает предсказуемость результатов того или иного процесса (там же);

Общее кредо цитируемых авторов сводится к тому, что геология – особая наука, «не такая, скажем, как классическая физика…» (Пучков, 2001) или «необеспеченность геологии законами является следствием отнюдь не недос-

татка знаний, не гипноза фактов, не человеческого фактора, а характера самой науки» (Фролов, 2000).

С такими взглядами нельзя согласиться.

О «вещественности» и «историчности» геологических наук

Предлагаемое разделение геологических наук на «вещественные» (фактические) и «исторические» (интерпретационные) противоестественно, так как все разделы геологической науки базируются как на веществе, так и на истории его развития.

Геологическим телом является не только минерал и порода, но и формация, характеризующая определенную фазу тектонического цикла, формационная серия, свойственная одному из его этапов, а также формационный ряд, являющийся результатом развития всего тектонического цикла в течение десятков и сотен миллионов лет.

Комплекс формационных рядов, отображающий формирование складчатой области, земная кора и Земля в целом также представляют собой соответствующие вещественные категории.

Все без исключения геологические тела как низких, так и самых высоких рангов являются и «историческими», а время их развития, эволюции согласуется с рангом природного образования.

Большая степень гипотетичности для развития высоких геологических рангов соответствует состоянию наших знаний о них, а последние определяются объемом необходимых исследований, пропорционально возрастающих с повышением ранговости.

В «основной иерархический ряд геологических наук, - отражающий по В.Г. Фролову, – соподчиненность усложняющихся геологических объектов и представленный: кристаллографией, минералогией, геохимией, петрологией, литологией, палеонтологией и собственно геологией в составе стратиграфии, формациологии, тектоники и геоистории» (с. 4) объединены разнородные геонауки. Такой подход автора к выделению основных иерархических рядов не

соответствует элементарным принципам систематики, которая, как правило, *начинается с поисков идентичности среди неоднородностей*, а иерархические ряды отражают *соподчиненность и усложнение однородных*. Но однородны ли, например: кристаллография (наука о строении кристаллов) и геохимия (наука о химических процессах в земной коре); или стратиграфия (наука о последовательности накопления слоев) и минералогия (наука о составе, строении и происхождении минералов); палеонтология (наука о ископаемых остатках органического мира геологического прошлого, используемая стратиграфией как метод определения возраста слоев) и петрология (наука о составе, строении и происхождении горных пород) и т.д.? Нет, конечно.

Мы будем исходить из того, что общегеологические законы – это законы **природы**, которые распространяются на все геологические уровни организации вещества, а не на все известные геологические дисциплины. В этом случае, станет понятным необходимость применения принципа построения иерархических рядов в соответствии с основным назначением геологической науки – изучением разнорангового вещества земной коры, его происхождения и развития.

Эксперименты, факты и их интерпретация

Все геологические науки основываются на изучении природных процессов со сбором фактического материала в экспедициях, экспериментах, проводимых в лабораториях, и теоретических обобщениях результатов. Экспериментальные исследования в современной геологии являются неотъемлемой частью решения многих научных проблем. И, несмотря на то, что геологические события длятся миллионы лет, нет необходимости соизмерять время их протекания с жизнью наблюдателя, так как любое длительное событие можно представить как следующие друг за другом все более кратковременные эпизоды. Это следует из того, что геологические процессы ранжированы. При этом, стадийность, цикличность и этапность эволюции складчатой области характеризуются конкретными вещественными

геосистемами. Последние в свою очередь состоят из вещества все более низких рангов. И так до пород и минералов. Всем известны экспериментальные работы и следующие из них выводы выдающегося петрографа начала XX века Н. Боуэна о кристаллизационной дифференциации магмы и известного отечественного ученого, чл.-корр. АН СССР Н.И. Хитарова о зависимости степени дифференциации расплава от давления. Не менее известны крупные достижения Института экспериментальной минералогии РАН, результаты экспериментов при высоких температурах и давлениях, по происхождению нефти и деформаций и др. В этой сфере задействованы коллективы лабораторий и даже целых институтов.

Но в геологии моделирование процессов на основе экспериментов – это лишь малая доля по сравнению с тем моделированием, которое базируется на геологических фактах, собранных в экспедициях различного назначения – от геологической съемки до тематических. Следует признать, что интерпретация фактических данных не всегда однозначна. При совместном осмотре одного из ключевых для геологии Ю.Урала обнажений глыбовой зоны, которая раньше рассматривалась как послойное накопление осадков, академик А.В. Пейве, выдающийся советский тектонист, объяснил причину разночтения геологических объектов такими словами: «Каждый видит в обнажении лишь то, что он знает. А объем знаний у всех разный».

Впрочем, эксперименты любой другой науки, длящиеся не тысячи, миллионы и даже миллиарды лет, а секунды и их малые доли, не менее нуждаются при интерпретации полученных данных в продуманности подходов, грамотности суждений, логической непротиворечивости.

К счастью, ставить эксперименты, «не соизмеримые по масштабу времени протекания геологических процессов в сравнении с жизнью наблюдателя» на что ссылается один из наших оппонентов, и не требуется. Сама природа позаботилась об этом, создавая, сохраняя и предоставляя в наше распоряжение результаты своей деятельности – разнообразные природные вещественные факты. Подходы к расшифровке заложенной в них информации правильно

определил Н. Стено в 1669 году. Как известно, он писал, что в самом теле, которое создано природой, содержатся сведения о том, как оно произошло (Стено, 1957, стр. 12).

Но чем представлены такие доказательства, и как расшифровать заложенную в природном теле информацию? Решить эти вопросы возможно лишь в том случае, если применять методику, которая позволила бы приблизиться к однозначной интерпретации фактов. Такой явилась вещественно-структурная методика, основанная на процитированной выше «подсказке» Стено, системных представлениях в геологии и согласующейся с ними ранговости вещества. Эти вопросы рассмотрены нами в ряде работ, в частности, в журналах «Известия Отделения наук о Земле АН РБ. Геология», №№1-8, 1997-2002 гг..

Что касается предсказуемости конечных результатов геологических событий на основе законов, в данном случае эволюции, то это возможно только в случае, если следовать сущности закона, исходить из него. Например, в соответствии с геодинамическим законом эволюции: «состав геологического вещества определяется геодинамическими условиями, при которых оно образуется». А исследователь исходит из представлений, что «химическая дифференциация сама по себе является структурообразующим фактором… питает энергией двигатель тектонической машины» (Пучков, 2001, стр. 15). В этом случае наглядна несогласованность причины со следствием.

Шарьяжно-надвиговый механизм формирования земной коры, обоснованный в публикациях автора совместно с М.А. Камалетдиновым и Ю.В. Казанцевым (цикл работ 1978-2002 гг.), вполне согласуется с геологическими законами. Основная суть этого механизма сводится к тому, что земная кора континентов формируется в геодинамических условиях тангенциального сжатия, при ведущей роли надвигания и шарьирования, а тектонические горизонтальные движения являются определяющими в развитии основных геологических процессов: образования структуры, осадконакопления, магматизма, рудообразования, нефтегазонакопления, роста гор и др.

В общих чертах сказанное не противоречит иному мобилизму, который Ю.М. Пущаровский /1999/ характеризует так: «Другой мобилизм (условно мобилизм II) заключается в признании крупных горизонтальных перемещений другого рода образований – континентов, отдельных блоков внутри континентов или океанического ложа, литопластин, формирующих ансамбли тектонического скучивания, террейнов-мигрантов, особенно характерных для континентальных окраин, наконец, глубинных масс, движущихся по срывам внутри планеты» (стр. 47). Этот мобилизм во многом согласуется с шарьяжно-надвиговой моделью формирования земной коры.

Видимо, в назначение научных законов входит и проверка каких-либо модельных построений. Если модели и гипотезы согласуются с природой, закон их подтвердит, в противном случае – отвергнет.

Общность и индивидуальность в системе наук

Геология не такая как физика, считает один из оппонентов. Очевидно, Э. Резерфорд мыслил иначе, когда в начале XX века предложил планетарную модель атома. Да и к основным разделам теоретической физики относится, к примеру, не только классическая механика, но и квантовая, в которой, как известно, все частицы выступают как носители и корпускулярных и волновых свойств, не исключающих, а дополняющих друг друга. Обоснование взаимодействия линейности и нелинейности в геодинамике – это утверждение (а не противопоставление) принципа строения и законов развития микро- и макроматериального мира.

Но, вслед за оппонентом, продолжим сравнительный ряд естественных наук: физика не такая как химия, химия не такая как биология, биология не такая как астрономия и т.д. Однако, каждая из названных является, прежде всего, **наукой**, определяемой как система знаний о закономерностях развития, либо как сфера исследовательской деятельности, направленная на производство новых знаний. Согласно словарю по философии, буквальный смысл слова «наука» – это знание. Конечно же, это не те знания, кото-

рые получены на основе простого наблюдения, не идущего дальше сбора и описания фактов и событий. «Научное знание в подлинном смысле слова начинается только тогда, когда за совокупностью фактов осознается закономерность – всеобщая и необходимая связь…» (Краткий философский…,1966, стр. 176). А знания о закономерностях и законах, как известно, лежат в основе научных теорий, определяя логическую стройность, непротиворечивость и доказательность последних. Поэтому выявление научных законов и создание теорий является главной задачей фундаментальных исследований. Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) также определяет научное открытие, как: «установление свойств и законов материальной Вселенной, до сих пор непознанных» (Сухотин, 1991). Поэтому в названиях многих наук присутствует корень «logos» и «nomos» (греч.), что означает мысль, разум, учение, знание, закон. Уже в соответствии с этим назначение науки состоит в получении общих знаний, выявлении частных закономерностей и научных законов. Впрочем, это общеизвестные истины. Они приведены во многих, в том числе и справочных, изданиях и представляют собой ту универсальную **общность** высшего порядка, которая свойственна науке в целом и распространяется на каждую конкретную.

Известно, что области человеческого знания сконцентрированы в основном в трех ветвях наук: естественных, технических и общественных. **Общностью** для названных ветвей и всех входящих в них разноуровенных подразделений является все то, что свойственно науке вообще, а **индивидуальность** каждой из них определяется только характером соответствующего объекта исследований. Индивидуальность естествознания, например, по сравнению с техническими и общественными науками – это воссоздание всесторонней картины **природы** в ее целостности и конкретности, единстве и многообразии.

Каждая из естественных наук также обладает присущей только ей **индивидуальностью**, спецификой предметов ее изучения. Геология среди них изучает состав, строение, происхождение и развитие Земли. Точно также

все разделы геологии, являющиеся самостоятельными науками более низкого ранга: литология, петрология, минералогия и др. обладают каждая своей индивидуальностью.

Но, **индивидуальность** вышестоящей по рангу науки, всегда является **общностью** для нижестоящих. Это общность более низких порядков.

Из сказанного следует, что сравнивать геологию с другими естественными науками можно только по их индивидуальностям. Общность же наук распространяется сверху вниз, от более высоких иерархических уровней до самых нижних. Именно поэтому теоретическая физика отличается от теоретической геологии особенностями предмета своих исследований, но не общенаучным назначением.

Казалось бы, не может быть сомнения, что любая индивидуальность подчинена универсальной общности. Но, иногда, с удивлением читаем, что каждая складчатая область индивидуальна и неповторима (мы в таком случае добавляем «как и люди»), и на этом основании отрицается возможность **закономерного** развития геологических процессов. Вот как написал по этому поводу В.Н. Шолпо: «Настаивая на регулярности и упорядоченности структуры, мы намеренно прибегли, может быть, к «неоправданной идеализации», – и далее, – однако, не следует забывать, что при «безграничной индивидуализации» все больше будут проступать беспорядок и нерегулярность» (1993, стр. 17).

Итак, те, кто декларирует такой особый характер геологии, лишают ее статуса науки.

Что же касается обвинений в спекулятивности интерпретации «исторического мира геологических наук», то не стоит забывать, что выдающиеся открытия, к настоящему времени общепризнанные, в свое время объявлялись спекулятивными, невразумительными, бесперспективными, абсурдными и т.д. К примеру, мысль об атомном строении вещества, явившаяся Демокриту еще в IV веке до н.э., несколько веков считалась спекулятивной. Называли лишенной физического смысла электромагнитную теорию Максвелла, иррациональной – теорию квантов Макса Планка, невразумительной «математической стряпней» – теорию относительности Энштейна, «обыкновенной игрой в циф-

ры» – периодическую систему Менделеева, вредной, абсурдной – эволюционную теорию Чарльза Дарвина, генетику и кибернетику. Этот перечень можно долго продолжать, но вот какая намечается тенденция. Там, где в научных кругах была создана атмосфера доброжелательности, терпимости к инакомыслию, создавались предпосылки к рождению новых, нестандартных идей, а такая наука, как правило, лидировала среди других. Как считают, не учитывая математику, абстрактность которой поставила ее над остальными естественнонаучными знаниями, долгое время бесспорным лидером была физика. Возможно, это обусловлено особым складом характера выдающихся личностей того времени, руководителей научных подразделений, поощряющих любую новизну, казалось бы, даже совершенно немыслимую. Пишут, например, что П.Л. Капица, восприняв методы Э. Резерфорда, проводил научные семинары, на которых запрещалось высказывать любые замечания, что-либо критиковать. Можно было лишь углублять и развивать высказанные идеи. Как считают, сейчас лидирует биология, чему в немалой степени способствуют и достижения физики. Займет ли когда-нибудь это место геология? Надеюсь. Но это станет возможным, если мы научимся любить геологию не только за красоту и ценность камня, романтику полевых экспедиций и костры, но и за неразгаданность еще многих ее тайн и реальные возможности постичь истины; если не иссякнет наша вера в высокий уровень теоретичности нашей науки и ее весомый вклад в систему общих знаний, если озаботимся тем, чтобы исследователи, приобщаясь к решению серьезных теоретических проблем, стремились больше открывать, обосновывать, формулировать, чем отрицать.

ЛИНЕЙНОСТЬ И НЕЛИНЕЙНОСТЬ В ГЕОДИНАМИКЕ. ПРИНЦИП НЕПРЕРЫВНО-ПРЕРЫВИСТОГО РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В стандартное мышление о подчиненности всех геологических событий только линейным законам Ю.М. Пущаровский (1993) внес новое представление о нелинейной

геодинамике. Ранее, в восьмидесятых годах только что прошедшего столетия, как известно, термин «нелинейность» уже применялся в геологии, в частности в металлогенических работах А.Д. Щеглова (1983). Но на работу первого из названных авторов, авторитетного отечественного тектониста, научная геологическая общественность отреагировала незамедлительно. В различных геологических изданиях появляется множество публикаций с использованием терминов: «хаос», «бифуркация», «флуктуация», «неравновесность», «нерегулярность», «неустойчивость» и пр., проводятся научные семинары, издаются монографии. Практически заговорили о нелинейности в геологии как о некоем чуде, способном все неясное прояснить, все непонятое объяснить. В дальнейшем, в публикациях В.Н. Шолпо, В.Е. Хаина и других, в общем, высоко оценивших это открытие, внесены определенные коррективы, сводящиеся к несомненности природных сочетаний геологических процессов, подчиняющихся, с одной стороны, линейным, и с другой – нелинейным законам.

Но те, кто мало знаком с закономерностями в геологии, восприняли рассматриваемые веяния как приоритет в геологических процессах всеобъемлющего хаоса.

В очередной публикации на эту же тему автор «нелинейной геодинамики» расставил «все по своим местам», так разъяснив основную сущность новизны: «Нелинейная геодинамика как *ветвь геодинамики* охватывает радикальные отклонения от последовательности (линейности) в развитии геодинамических систем» (Пущаровский, 1999, стр. 43). И далее: «Если раньше исходили из того, что все в геологии предопределено и развивается поступательно, то в настоящее время часто приходится сталкиваться с мнением, что вся геология нелинейна. Однако, оба этих суждения – крайность» (там же).

Исследуя особенности развития геологических процессов во времени, я уже предпринимала попытку выяснить в них роль хаотичных и упорядоченных состояний. С этой точки зрения анализировались периодичность и повторяемость тектонических событий земной коры, а также меха-

низм формирования последней. Результаты приводятся ниже в тезисном изложении.

Формирование земной коры осуществляется *мегациклично*. Каждый мегацикл представлен двумя *стадиями*: стадией растяжения или *рифтогенно-спрединговой* и стадией сжатия или *геосинклинальный* **–** в теории геосинклиналей, *субдукции, аккреции* и *коллизии* – в новой глобальной тектонике.

Стадия растяжения начинается континентным рифтогенезом. Он постепенно эволюционирует в океанический. Заложение рифтов связано с разрывом сплошности толщ, деструкцией континентальной коры. Океанский рифтогенез сопровождается формированием океанической коры, состоящей из гипербазитов, габброидов и пелагических кремней. Их развитие обладает цикличностью и эволюционной направленностью.

В стадию сжатия наращивается новый сегмент континентальной коры за счет взаимодействия *тектонически совмещенных* кор ранее образованного континента и сопредельного океана. Возникали осадочно-вулканогенные формации с *эволюционной* направленностью состава и строения. Поэтому стадию сжатия, очевидно, следует называть стадией геологического взаимодействия гетерогенных кор. Процессы протекают также циклично.

Смена стадий обуславливается изменением знака тектонических напряжений. Следовательно, *стадия – это геотектонический период с геодинамическими условиями одного знака, в течение которого формируется земная кора (океаническая – в стадию растяжения, а континентальная – в стадию сжатия).*

Каждая стадия представлена одним или несколькими тектоническими циклами. Тектонический цикл рифтогенно-спрединговой стадии является результатом нового импульса растяжения, а геологического взаимодействия гетерогенных кор – обусловлен очередным надвиганием блока океанической коры на континентальную.

Тектонический цикл стадии растяжения характеризуется осадконакоплением с довольно правильной повторяемостью сходных по составу и строению толщ – циклич-

ностью, когда грубообломочные толщи вверх по разрезу сменяются средне- и мелко-, а последние, в свою очередь, тонкообломочными. Затем следуют глинистые и карбонатные осадки. Магматическим образованиям свойствены антидромная направленность и сравнительно небольшое развитие.

Тектонический цикл стадии сжатия состоит из *эволюционного этапа,* когда формируется вулканическая серия с гомодромной направленностью вулканизма, и *деформационного,* представленного флишевой и гранитной формациями. Смена этапов эволюционного на деформационный является результатом возрастания напряжений бокового сжатия до критических для данного объема пород значений, что определяет развитие дизьюнктивных деформаций.

Итак, как стадия растяжения, так и стадия сжатия состоят из деформационных и эволюционных периодов. При этом, развитие обеих определяется и завершается деструктивным периодом. То же свойственно и тектоническим циклам.

Все это, как и чередование деформационных и эволюционных периодов, а также их взаимообусловленность наглядно отражены в шарьяжно-надвиговом механизме формирования земной коры континентов. Этот механизм предусматривает зарождение и развитие короформирующего процесса под действием мощного тангенциального сжатия, периодически разряжающегося надвиганием блока океанической коры на сопредельный край континента. Совмещались гетерогенные массы так, что легкоплавкая сиалическая кора оказывалась расположенной ниже тяжелой тугоплавкой симатического состава. В результате надвигания резко возрастала температура за счет перехода механической энергии в тепловую, снималось избыточное давление скалыванием, активизировались геохимические процессы, и рождался магматический очаг усредненного состава. Это деструктивный период разупорядоченности с высокой энтропией. Постепенное повышение бокового давления способствовало последовательно возрастающей степени дифференциации магмы, образованию вулканиче-

ской серии с направленным упорядочением ее строения, что определило эволюционный характер развития данного этапа. Когда же латеральные нагрузки вновь возросли так, что снизилась проницаемость толщ, стали закрываться магмопроводящие дизъюнктивы, возобновился режим, свойственный деформационному этапу. Это время характеризовалось массовым надвиганием и шарьированием горных масс, осложняемых складчатостью. Очередное надвигание пластины океанической коры на континентальную окраину обусловило зарождение следующего тектонического цикла со своими деформационным и эволюционным периодами.

Опираясь на эти знания, конкретные геологические материалы и вытекающие из них выводы, а также труды И.Р. Пригожина (1985), И.Р. Пригожина и Н. Стенгерса (1986), Р. Мюллера (1985), П. Эткинса (1987), А. Патниса и Дж. Мак-Коннелла (1983), Дж. Карери (1985) и др., я утвердилась в заключении, что «эволюция вещества всех геологических уровней отражается структурным упорядочением. На определенном этапе развития эволюционные изменения сменяют соответствующие структурные разупорядочения, ведущие к разномасштабным хаотическим состояниям. В этой среде зарождаются структуры, упорядоченность которых более совершенна. Таким образом, чередование хаоса и порядка, возникновение и развитие второго из первого является непременным следствием эволюции» (Казанцева, 1990, стр. 35). Кстати, в одной из работ И.Р. Пригожина обращено внимание на то, что «порядок и беспорядок сосуществуют как два аспекта одного целого и дают нам различное видение мира» (1991, стр. 50).

Показанное выше непрерывно-прерывистое или эволюционно-деформационное развитие геологических процессов следует рассматривать в ранге научного принципа.

В связи с распространившимися представлениями на геологию как преимущественно нелинейную науку я в 1996 году, возвратясь к этой проблеме, вновь опубликовала свою точку зрения на соотношение линейности и нелинейности в геодинамике: «В последние годы большое значение

в геологии стали придавать хаотичным состояниям. Не отрицая важности последних, мы, однако, хотим заметить, что чередование эволюционных и деформационных периодов в геологии, порядка и хаоса, возникновение и дальнейшее развитие первого из второго является одним из законов развития геологических систем. При этом эволюционные периоды всех геологических уровней отображаются разноранговым структурным упорядочением образующегося вещества по законам линейности. Революционные же, деформационные этапы сопровождаются разупорядоченностью, хаотичностью и соответственно ориентированы на нелинейность» (Казанцева,1996, стр. 6).

Следует напомнить, что проблема «линейности» и «нелинейности» в геологии дискутируется уже давно. В ракурсе противопоставления «катастрофизма» и «эволюционизма», она уходит корнями к известному спору начала девятнадцатого века между французскими учеными Ж. Кювье и Эли де Бомоном, англичанином А. Седжвиком, немецким исследователем А. Гумбольдтом, с одной стороны, и Ж.Б. Ламарком и Ж. Сент-Илером, с другой. Периодически отдавалось предпочтение то одному, то другому направлению, и это отражено в трудах выдающихся личностей в науке, таких как: Ч. Дарвин, Э. Геккель, Т. Гексли, Д. Дэна, Н.С. Шатский и др. (эволюционизм), Г. Штилле и др. (катастрофизм). Последовательным эволюционистом был и А.Л. Яншин. Строго говоря, эволюционизм – это синтетическое учение в естествознании, возникшее на базе униформизма и актуализма. Оно унаследовало и черты катастрофизма, в частности признание перерывов постепенности. Не так давно А.Г. Рябухиным и Н.В. Короновским /1998/ рассмотрена основная суть данной дискуссии и подчеркнут, в соответствии с современным уровнем геологических знаний, с нашей точки зрения, совершенно правильный вывод о непрерывно-прерывистом характере развития геологических процессов разного ранга. В становлении геологических систем – заключают они – «наряду с линейной детерминистской ветвью развития важнейшую роль играют катастрофические процессы, которые являются нормальным признаком эволюции» (стр. 14).

Приведенное выше идентифицируется с современной трактовкой линейности и нелинейности в геодинамике Ю.М. Пущаровским (1999) и скорее подтверждает, чем отрицает наличие научных законов в геологии. Странным выглядит и противопоставление понятий «закономерность» и «закон», что имеет место в одной из цитируемых работ, так как очевидно, что любая закономерность является составной частью закона (закономерность – закон и мера).

Оценивая сейчас статьи Ю.М. Пущаровского 1993 и 1999 годов, меня не покидает ощущение, что первая из названных работ была своего рода «пробным камнем», проверкой зрелости, теоретической подготовленности современной научной общественности к восприятию очевидных, по выражению названного автора, «крайностей».

Новейшее кредо названного автора по данной проблеме наглядно отражено в его совместной с С.Д. Соколовым статье (2001): «Современные тектонические построения ориентированы, главным образом, на мир детерминированных явлений и поиск причинно-следственных связей между геодинамическими, геофизическими, магматическими, седиментологическими и другими процессами… Процессы континенто- и океанообразования сосуществуют и эволюционируют во времени. В эволюции зон перехода активных окраин устанавливаются этапы длительного развития, которые прерываются кратковременными эпохами тектонических бифуркаций» (2001, стр. 517).

ПРАВИЛО ПОЛЯРНОСТИ МАГМАТИЧЕСКИХ И ЭПИМАГМАТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ В. Н. ЛОДОЧНИКОВА

Замечательный отечественный петрограф В.Н. Лодочников, учебники которого служили не одному поколению геологов пособием в познании основ петрографии, в свое время обратил внимание на тот факт, что «почти всюду и постоянно» повторяется закономерность, заключающаяся в полярности состава магматических и эпимагматических минералов. В группе перидотитов породы, почти лишенные

Al_2O_3 и щелочей, сопровождаются постмагматическими минералами, богатыми и Al_2O_3 и щелочами. Это — эпидоты, хлориты, корунды, альбиты, щелочные амфиболы и др. В породах, контактирующих с интрузиями основного состава, которые бедны Na2O, присутствуют минералы (альбит и др.), содержащие натрий в существенном количестве. В приконтактовых с гранитами и гранодиоритами зонах породы часто обогащаются минералами, содержащими FeO и MgO, т.е. окислами, играющими в химическом составе кислых пород незначительную роль. Нефелиновые сиениты всегда содержат CaCO3, меж тем сами они бедны кальцием. «Хотелось бы обратить внимание, чтобы вы не удивлялись таким ассоциациям если в перидотитах, например, встретите корунд, около диабазов — обогащение Na2O, около гранитов – обогащение геденбергитом, хотя сам гранит очень беден железом…» [Лодочников, 1955, 4 изд., с. 190-191]. Это явление «по частой его повторяемости» автор назвал **правилом полярности магматических и эпимагматических минералов**. Согласно данному правилу, эпимагматические процессы способствуют обогащению такими элементами или окислами, которыми бедны вулканические образования.

Правило полярности В.Н. Лодочникова приведено и в Геологическом словаре 1973 г. с замечанием авторов словаря: «В связи с развитием теории метасоматических процессов, в частности представлений о биметасоматозе, в настоящее время это чисто эмпирическое правило утратило свое значение» (с. 132). К такому заключению присоединился и И.П. Шарапов [1989, с. 101].

Однако, мы располагаем фактами и знаниями закономерностей, которые не позволяют согласиться с таким мнением. Наша уверенность основана на следующем.

Во-первых, биметасоматоз является процессом метасоматического взаимодействия двух непосредственно контактирующих друг с другом химически неравновесных горных пород. Но в природе подобная ситуация может являться лишь частным случаем среди других вариантов достаточно произвольных сочетаний составов взаимодействующих в контакте сред. К тому же, приведенные в сопри-

косновение породы при биметасоматозе, как правило, разновозрастны. Разрыв во времени их накопления бывает весьма внушительным. А у В.Н. Лодочникова речь идет о конкретной закономерности, выраженной полярностью составов, при «частой повторяемости» явления, которое наблюдается «всюду и постоянно». В этом случае полярные по составу минералы, скорее всего, должны бы являться членами единой парагенетической ассоциации.

Во-вторых, в последние годы получили широкую известность и другие геологические закономерности, позволяющие считать, что данное правило вполне правомочно. Так, стало известно, что полярность состава свойственна не только минеральным ассоциациям изверженных тел и зон их контактов, как об этом писал В.Н. Лодочников, но и целым породным сериям: с одной стороны магматическим, а с другой — связанным с ними осадочным толщам. Выяснилось, что для геоактивных зон складчатых областей характерны комплексы типовых формаций — формационные ряды. Мы уже отмечали, что каждый такой ряд представлен базальтовой недифференцированной, базальт-липаритовой контрастной, базальт-андезит-дацит-липаритовой последовательной, порфиритовой базальт-андезитовой, а также флишевой формациями. Любая из перечисленных формаций состоит из одновозрастных вулканических и осадочных пород, чаще всего согласно переслаивающихся между собой. Да и во всем мире вулканиты основного состава недифференцированных формаций ассоциируют с большим количеством осадочных кремней. Таким образом, ненасыщенные кремнеземом изверженные породы сопровождаются кремнеземом осадочного генезиса. Последовательно дифференцированные формации, где резко возросло количество изверженных пород кислого и среднего составов бедных кальцием, осадочная часть представлена преимущественно кальциевыми карбонатными породами. Здесь мы видим, что бедные кальцием вулканиты сопровождаются осадками, в которых эти химические элементы преобладают. Карбонатные и терригенные типы осадочных пород развиты среди эффузивов порфиритовой формации и являются основными для флишевой. Следовательно, на-

мечается закономерная тенденция, **когда изверженная часть типовой формации дополняется осадочной составляющей полярного химического состава, что подтверждает правило полярности не только на минеральном, но и на формационном уровне**.

Нельзя не отметить, что нередко одни и те же вулканические комплексы разные авторы относят к различным типам формаций. Это затрудняет воссоздание однозначной геодинамической ситуации на формационной основе. Как справедливо отмечал А.С. Бобохов [1991], большинство исследователей: «в своих построениях использовали данные петрохимического анализа вулканитов, а определение их формационной принадлежности аргументировалось отнесением к той или иной петрохимической серии. Тем не менее, уровень, на котором проводились подобные исследования, т.е. простое отнесение к толеитовой или известково-щелочной сериям, не привел, как оказалось, к существенному изменению положения» (с. 19). Потому границы не только конкретных формаций, но и в целом формационных рядов являлись как бы «блуждающими». Такая ситуация сохраняется и ныне, несмотря на то, что степень достоверности геодинамических реконструкций на основе геохимических сопоставлений однотипных формаций в последующие годы значительно возросла. При сравнении составов вулканитов современных геодинамических обстановок с вулканизмом геологического прошлого в настоящее время широко используются сочетания не только основных петрогенных компонентов и окислов, но и различного рода соотношения рудных, редких и редкоземельных элементов, и пр. Объяснить создавшееся положение можно и тем, что изверженные и осадочные члены единой формации, как правило, рассматриваются отдельно, оторвано друг от друга, что обусловливается одним из распространенных определений формаций, как сообществ генетически связанных между собой пород. Но мало у кого вызывает сомнение, что осадочные и изверженные породы имеют разный генезис. Видимо потому и прижилось тектоническое направление в формационном анализе, предложенное Н.С. Шатским и Н.П. Херасковым. Это направление достаточно полно раз-

вито А.В. Пейве, Ю.А. Косыгиным, К.В. Боголеповым, В.В. Белоусовым и многими другими отечественными тектонистами. Согласно ему, формация — это парагенетическое единство пород, связанных **общностью тектонических условий их накопления**. При этом авторы формационного анализа на тектонической основе специально подчеркивали не случайность набора пород, а естественность их парагенезисов. Данное определение явилось надежной основой объединения изверженной и осадочной составляющих в единую типовую парагенетическую ассоциацию формационного уровня.

А.С. Бобохов не случайно в цитируемой выше работе подметил: «как исключение выглядит формационная схема Т.Т. Казанцевой, вовлекшей в круг анализа осадочные члены формаций, что позволило обоснованно представить преобладающий характер геодинамического режима на Южном Урале в палеозое» [1991, с. 19]. Это действительно так. Кроме того, положение упростилось после того, как мы впервые доказали, что каждый формационный ряд палеозойской Уральской и некоторых других складчатых областей завершается флишем, и уравняли «в правах» вулканическую и осадочную составляющую каждой типовой формации [Казанцева, 1981; 1987; Казанцев и др., 1992]. Первое позволило нам выделить несколько полных формационных рядов и, соответственно, полновесных тектонических циклов в геоактивной в прошлом зоне Урала. Второе — повысить информативность формационного анализа в целом, в результате чего некоторые насущные проблемы петрологии получили существенно иное объяснение.

В частности, известно, что эволюция химического состава вулканической серии складчатых областей заключается в покислении изверженных горных пород от начала к концу тектонического цикла (формационного ряда). Это гомодромный характер направленности вулканизма. Такая, хорошо проявляющаяся в складчатых областях закономерность привела многих исследователей к выводам о постепенном обеднении фемическими и, соответственно, накоплении салических элементов в процессе кристаллизации магмы, и о том, что кристаллизуется из магмы в первую

очередь то, что в ней преобладает. В свете показанного выше, это весьма сомнительно. В действительности же, выявленная закономерность: **чем выше основность изверженной части формации, тем больше кремнезема в ассоциирующей с ней осадочной составляющей и наоборот**, свидетельствует о том, что **дискутируемый многие годы вопрос об исходной магме вулканизма складчатых областей решается в пользу преимущественно среднего, андезитового ее состава. Этот вывод хорошо согласуется и со сделанным нами ранее заключеинем о том, что кристаллизуется из магмы вначале не то, что в ней преобладает, а то, что может образовываться согласно геодинамическим условиям (тектоническим режимам) в каждый конкретный отрезок времени.** Данное положение мы неоднократно обосновывали в своих публикациях, начиная с 1981 г.

Следует специально оговорить и тот факт, что использование автором правила полярности терминов «эпимагматический» и «постмагматический» как синонимов неудачно. Согласно петрографическим словарям, в частности, составленным авторитетнейшими петрологами Ф.Ю. Левинсон-Лессингом и Э.Л. Струве, приставка «эпи» означает вторичность процессов, ведущих к любым последующим изменениям и новообразованиям. Потому, понятие «эпимагматичность» чаще всего применяется как термин свободного пользования, противопоставляясь «синмагматичности». Напомним, что предпринятая в середине двадцатого столетия попытка Л.В. Пустовалова конкретизировать смысл данного термина, была признана нецелесообразной. Его мнение приложить это понятие к поздней диагенетической стадии породообразования вызвало осуждение известных литологов страны: М.С. Швецова, Н.Б. Вассоевича, Н.М. Страхова и других, и потому не было принято. Постмагматический же процесс непосредственно следует за кристаллизацией магмы и связан с ней парагенетически. Для этого процесса характерно проявление вулканических эманаций, эксгаляций и гидротерм. Потому, при определении правила полярности В.Н. Лодочникову правильнее было бы оперировать понятиями «магматический» и «по-

стмагматический», исключив «эпимагматический». В таком случае полярность минералогического состава, на которую ссылается автор правила, скорее всего, свидетельствует об остаточном характере постмагматических химических компонентов, которые не были задействованы при кристаллизации очередной порции вулканических пород.

Итак, правило полярности В.Н. Лодочникова реально существует. В настоящее время оно дополнено новыми доказательствами и является составной частью открытого нами геологического закона внутрисистемной (парагенетической) компенсации.

Уточненную формулировку правила полярности можно представить в следующем виде: **в пределах единой парагенетической ассоциации постмагматические процессы несут с собой такие элементы или окислы, которыми бедны непосредственно предшествующие им вулканические извержения**.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев А.А. Магматические комплексы зоны хребта Урал-Тау. М.: Наука, 1976. 170 с.

Архангельский А.Д. К вопросу о покровной тектонике Урала //Бюлл. МОИП. Отд. геол. Т. 10. №1. 1932. С. 105-112.

Бобохов А.С. Эндогенная динамическая система Южноуральской палеоостровной дуги. М.: Наука, 1991. 180 с.

Богатиков О.А. и др. Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли. М.: Наука, 1987. 438 с.

Бокий Г.Б. Кристаллохимия. М.: МГУ, 1960. 357 с.

Брэгг У.Л., Кларингбулл Г.Д. Кристаллическая структура минералов. М.: Мир, 1967. 390 с.

Бэрри Л. Полиморфизм /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 263-264.

Винчелл А., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М.: Иностран. лит-ра, 1953. 561 с.

Вернадский В.В. Кристаллография. Избранные труды. М.: Наука, 1988. 342 с.

Голованов В.Н. Законы в системе научного знания М.: Мысль, 1970. 232 с.

Грачев А.Ф. и Поляков А.И. Кайнозойский рифтовый магматизм: тектонические и петрохимические закономерности /Континентальный и океанский рифтогенез. М.: Наука, 1985. С. 109-121.

Гумбольдт А. Космос. Опыт физического мироописания, ч. 1 М.: 1862. 54 с.

Декарли П. Коэсит и стешовит /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 110.

Заварицкий А.Н. Введение в петрохимию изверженных горных пород. М.; Л.: АН СССР, 1950. 400 с.

Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: АН СССР, 1956. 479 с.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.

Иванов С.Н. О байкалидах Урала и природе метаморфических толщ в обрамлении эвгеосинклиналей. Свердловск, 1979. 77 с.

Казанцева Т.Т. Геологическое строение северной части Зилаирского синклинория Южного Урала в связи с перспективами нефтегазоносности. Автореф. канд. дис. М.: 1970. 21 с.

Казанцева Т.Т. Происхождение и развитие геосинклиналей. Уфа: БФАН СССР, 1981. 26 с.

Казанцева Т.Т. Тектонические циклы и формационные ряды. Уфа: БФАН СССР, 1983. 37 с.

Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А. Геосинклинальное развитие Урала //ДАН СССР, 1986. Т. 288. №6. С. 1449-1453.

Казанцева Т.Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1987. 169 с.

Казанцева Т.Т. Системы, ранги и геологические законы /Шарьирование и геологические процессы. Уфа, 1989. С. 47-48.

Казанцева Т.Т. Тектоника и эволюция. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. 40 с.

Казанцева Т.Т. О современном состоянии теоретической геологии /Познание, освоение и сбережение недр Республики Башкортостан. Уфа. 1996. С. 3-6.

Казанцева Т.Т. Системные представления и законы геологии //Известия Отделения наук о Земле и экологии. Геология. Уфа: АН РБ, 1998. №3. С. 53-64.

Казанцева Т.Т. Теоретическая геология и общегеологические законы эволюции //Известия Отделения наук о Земле и экологии. Геология. Уфа: АН РБ, 2001. №7. С. 8-24.

Казанцева Т.Т. Основы шарьяжно-надвиговой теории формирования земной коры /Сборник научных трудов. Серия «Тектоника и геодинамика». Вып.1. Ставрополь, 2002. С. 11-27.

Казанцева Т.Т. Научные законы в геологии //Вестник АН РБ. 2003. Т.8. №1. С. 3-13.

Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А. и др. Структурная геология Магнитогорского синклинория Южного Урала. М.: Наука, 1992. 184 с.

Казьмин В.Д. Развитие континентальных рифтов и вулканизм /Континентальный и океанский рифтогенез. М.: Наука, 1985. С.136-150.

Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т. Аллохтонные офиолиты Урала. М.: Наука, 1983. 168 с.

Камалетдинов М.А. О клиппенах на Среднем Урале //ДАН СССР, 1962. Т. 146. №5. С. 1160-1163.

Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 230 с.

Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т. Особенности строения надвигов и шарьяжей Южного Урала //Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1970. №4. С. 60-76.

Каррери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. М.: Мир, 1985. 232 с.

Кедров Б.М. О повторяемости в процессе развития. М.: Госполитиздат, 1961. 102 с.

Келлер Б.М. Флишевая формация палеозоя в Зилаирском синклинории на Южном Урале и сходные с ней образования. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 165 с.

Ковалев А.А. Новая глобальная тектоника и металлогения. М.: Наука, 1978. 280 с.

Кондаков Н.И. Логический словарь. М.: Наука, 1971. 656 с.

Кориневский В.Г. Древние грабеновые формации Урала /Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления тараташского комплекса /Тр. Ильменский запов. им. В.И. Ленина. Вып. 19.Свердловск, 1978. С. 44-55

Краткий словарь по философии. М., 1966.

Левисон-Лессинг Ф.Ю. Избранные труды. М.: АН СССР, 1955. 446 с.

Лейтон У., Уилсон М. Амфиболы /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 22-29.

Ленных В.И., Петров В.И. Стратиграфия айской свиты и проблема ее возраста / Вулканизм, мета-

морфизм и железистые кварциты обрамления тараташского комплекса Тр. Ильменский запов. им. В.И. Ленина. В. 19. Свердловск, 1978. С. 33-43

Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. 4-е изд. М., 1955. 248 с.

Мегоу Э.Д., Кемпстер К.Дж.Е., Радослович Е.В. Структура анортита /Физика минералов. М.: Мир, 1964. С. 117-147.

Милановский Е.Е. Рифтовые зоны геологического прошлого и связанные с ними образования //Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1974. №5. С. 57-84.

Молчанов Ю.Б. Развитие и время //Вопросы философии. 1979. №12. 72 с.

Моррисон-Смит Д. Пластические деформации в минералах //Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 25.

Мукатанов Н.К. От Страбона до наших дней. М.: Мысль, 1985. 235 с.

Мурхауз В. Практическая петрография. М.: Иностр. литра, 1963. 480 с.

Мюллер Р. Порядок – беспорядок /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 267-269.

Парначев В.П. О формационной принадлежности вулканогенно-осадочных комплексов рифея Башкирского мегаантиклинория /Докембрий в фанерозойских складчатых поясах. Л.: Наука, 1982. С. 96-106.

Патнис А., Мак-Коннелл Дж. Основные черты поведения минералов. М.: Мир, 1983. 304 с.

Пейве А.В. Новая модель строения Срединно-Атлантического хребта /Тектоника и структурная геология. Планетология. М.: Наука, 1976. С. 21-31.

Пейве А.В. Глубинные разломы /Тектоника в исследованиях геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980. С. 95-122

Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев: Наукова думка, 1966. 547 с.

Половинкина Ю.И. Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. М.: Недра, 1966. 240 с.

Пригожин И.Р. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.

Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 431 с.

Пригожин И.Р. Философия нестабильности //Вопросы философии. 1991. №6. С. 46-52.

Пучков В.Н. Важнейшие закономерные и индивидуальные черты геологической эволюции Урала и сопредельных территорий //Литосфера. 2001. №1. С. 15-31.

Пущаровский Ю.М. Нелинейная геодинамика (кредо автора) //Геотектоника. 1993. №1. С. 3-6.

Пущаровский Ю.М. Линейность и нелинейность в геологии //Геотектоника. 1999, №3. С. 42-49.

Пущаровский Ю.М., Соколов С.Д. Нелинейная тектоника // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. С. 476-508.

Рябухин А.Г., Короновский Н.В. Концепция катастрофизма в геологии //Вестник Московского университета. Сер.4. Геология. 1998. №6. С. 6-15.

Сергиевский В.М. Магматизм, тектоническое развитие и основные особенности металлогении Урала. Автореф. докт. дисс. Л., 1971. 50 с.

Старки Дж. Плагиоклазы /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 250-253.

Стено Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. М., 1957. 98 с.

Сухотин А.К. Превратности научных идей. М., 1991. 272 с.

Тетяев М.М. Основы геотектоники. М.-Л. 1934. 296 с.

Федоров Е.С. О новой группе изверженных пород //Известия Моск. сельскохоз. Инст. Т. II. 1896. С. 61 – 78.

Фергусон Р.Б., Трэйл Р.Дж., Тэйлор В.Х. Кристаллические структуры низкотемпературного и высокотемпературного альбитов //Физика минералов. М.: Мир, 1964. С. 57- -95.

Философский словарь. М.: Изд-во полит. лит-ры, 1975. 496 с.

Фрей К. Полевые шпаты /Минералогическая энциклопедия. Л.: Недра, 1985. С. 259-262.

Фролов В.Т. О науке геологии. Статья 1. Законы в геологии //Вестник Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2000. №6. С. 3-14.

Херасков Н.П. Тектоника и формации. Избранные труды. М.: Наука, 1967. 403 с.

Хоментовский В.В. К истории развития антиклинория Яман-Тау //Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1952. Т. 27. №1. С. 32-51.

Хренов А.П. Динамика извержений и процессы кристаллизации магм. М.: Наука, 1982. 129 с.

Шарапов И.П. Метагеология. Некоторые проблемы. М.: Наука, 1989. 209 с.

Шатский Н.С. Избранные труды. М.: Наука, 1965. Т.4. 398 с.

Щеглов А.Д. Нелинейная металлогения // Докл. АН СССР. 1983. Т. 271. №6. С. 1471-1474.

Шолпо В.Н. Хаос и упорядоченность в структуре подвижных поясов //Геотектоника. 1993. №4. С. 3-18.

Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. М.: Мир, 1987. 324 с.

Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A. The geosynclinal development of the Urals //Tectonophysiks. 1986, v. 127. N. ¾. P. 371- 382.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....3

Системные представления и научные зако-ны.....5

Геодинамика и научный закон эволюционной направленности 13

Геологические законы эволюции.....23

Обоснование геологических законов эволюции на формационном уровне.....23

Обоснование геологических законов эволюции на минеральном и породном уровнях.....26

Закономерности состава, строения и развития породообразующих минеральных систем.....26

Закономерности состава, строения и развития формациеобразующих породных систем.....36

Закон внутрисистемной (парагенетической) компенсации.....41

Необходимы ли научные законы в геологии.....45

О «вещественности» и «историчности» геологических наук47

Эксперименты, факты и их интерпретация.....48

Общность и индивидуальность в системе наук.....51

Линейность и нелинейность в геодинамике. Принцип непрерывно-прерывистого развития геологических процессов.....54

Правило полярности магматических и эпимагматических минералов В. Н. Лодочникова.....60

Литература.....67

Для заметок

Научное издание

Казанцева Тамара Тимофеевна

НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.01.06
Формат 60x84 $^{1}/_{16.}$ Бумага офсетная.
Гарнитура «Arial». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,41. Уч.-изд.л. 4.00
Тираж 300 экз. Заказ № 03

Издательство «Гилем».
450077, г. Уфа, ул. Кирова, 15
Тел.: 73-05-93, 72-36-82

Отпечатано на оборудовании
издательства «Гилем»
450077, г. Уфа, ул. Кирова, 15
Тел.: 73-05-93, 72-36-82