

В. И. Драгунов
А. И. Айнемер
В. И. Васильев

Основы анализа

осадочных
формаций

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В. И. Драгунов,
А. И. Айнемер,
В. И. Васильев

ОСНОВЫ АНАЛИЗА ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

Под редакцией
акад. Ю. А. КОСЫГИНА

18576



Издательство «НЕДРА»
Ленинградское отделение
Ленинград · 1974



Драгунов В. И., Айнемер А. И., Васильев В. И. Основы анализа осадочных формаций. Л., «Недра», 1974. 159 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. ордена Ленина науч.-исслед. геол. ин-т).

Учение о геологических формациях в настоящее время охватывает почти все стороны деятельности геолога. В этих условиях особое значение приобретают проблемы принципов и методов учения. Авторы, основываясь на концепции уровней организации вещества, предлагаю ввести в учение о формациях систему понятий, подобную системам понятий минералогии, петрографии и палеонтологии. Изложены методы выделения формаций [парагенераций (парагенезисов слоев горных пород) и геоформаций (парагенезисов тел парагенераций)] по их составу и строению, а также методы полевых и камеральных исследований, основанных на анализе формаций. Описаны математические методы выделения парагенераций, выявления стабильности накопления слоев и корреляционных связей малых элементов в породах, слагающих парагенерации, для выяснения их генезиса.

Книга рассчитана на геологов, работающих в областях распространения осадочных и других стратифицированных геологических формаций, а также аспирантов, специализирующихся в области формационного анализа, тектоники и минерагении.

Таблиц 22, иллюстраций 14, список литературы — 240 назв.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие редактора	4
Введение	7
Г л а в а 1. Основные понятия учения о геологических формациях	11
Современное состояние учения о формациях	—
Геологические формации — парагенезисы горных пород	16
Естественные тела — индивидуальные объекты естествознания, их виды и состояния пространства (уровни организации)	21
Геологические формации (<i>s. lato</i>) — уровень организации вещества, их элементы, структура и виды	25
Основные и производные понятия учения о формациях с позиций концепции уровней организации	29
Иерархические, систематические и прикладные целевые аспекты классификаций геологических формаций	33
Принципы массового производства, смешения элементов и физической непрерывности — основа выделения голотипов формаций	39
О трансляции систем понятий геологии	41
О терминологии и номенклатуре учения о формациях	45
Г л а в а 2. Систематика структур парагенераций и их элементарных ячеек	59
Основные аспекты структуры геологических объектов	60
Основные виды и свойства границ геологических объектов	61
Систематика структур и форм элементарных ячеек парагенераций	63
Систематика структур и форм парагенераций	92
Г л а в а 3. Математические методы выделения парагенераций и реконструкции условий их образования	103
Математическое моделирование парагенераций	—
Реконструкции условий образования парагенераций	111
Г л а в а 4. Формационные объекты и анализ закономерностей геологического строения и размещения полезных ископаемых	121
Стратиграфические, тектонические и минерагенические отношения формационных объектов и их ассоциаций	—
Выделение и изучение парагенераций	130
Региональное исследование парагенераций правобережья низовьев р. Енисея	140
Заключение	149
Список литературы	150

Учение о формациях занимает одно из центральных мест в теоретической геологии и решении проблем, связанных с закономерностями размещения и поисками полезных ископаемых. Однако до сих пор многие аспекты этого учения остаются неясными. Работа В. И. Драгунова и его соавторов посвящена рассмотрению наиболее важных вопросов учения о формациях и вопросам выделения так называемых конкретных формаций.

В этой работе предпринята попытка разрешить теоретические трудности геологии на основе методологического подхода, разработанного в физике, с использованием математических методов. Таким образом, эта работа примыкает к работам наиболее перспективного направления в теоретической геологии.

Любая попытка совершенствования учения о формациях, если она зиждется на подходящих методологических основах, должна всячески приветствоваться. В геологии сейчас можно различать, с одной стороны, генетические и морфологические подходы к изучению объектов исследования, например формаций, а с другой — неформальные и формальные (модельные) подходы к их изучению. Авторы используют морфологический подход, что, бесспорно, является правильным. В работе содержится, что очень важно, много ярких примеров и доводов в пользу морфологического подхода. В построениях используется формальный (модельный) подход, в частности статистический алгоритм выделения формаций.

Попытка использования формального подхода — моделей — является, безусловно, прогрессивным начинанием, однако в своем толковании модели объекта исследования авторы стоят на позициях универсализма, полагая, что одному и тому же объекту исследования следует приписывать одну и только одну модель, которая обязана учитывать все «существенные» стороны объекта. Опыт показывает, что таких моделей построить нельзя, так как понятие о суще-

ственных сторонах объекта есть функция целевой установки. Модель объекта определяется, во-первых, устройством объекта, во-вторых, нашими целевыми установками. Одному и тому же объекту может соответствовать много моделей. Нельзя построить модели объекта, не задаваясь определенной целью. Думается также, что математику не следует применять без строгой формальной фиксации того, к чему она применяется. Однако вряд ли можно считать строго формализованной систему понятий, в которой в качестве фундаментальных принятые такие понятия, как «элементарный объект», «структура» и «уровень организации», сами по себе весьма расплывчатые.

Формации без каких-либо попыток исследования вопросов существования и единственности решения выделяются авторами с помощью известного алгоритма Д. А. Родионова. Сущность этого алгоритма недостаточно исследована, и пока затруднительно сказать, приемлем ли он для выделения формаций.

В книге геологические формации понимаются в самом общем смысле, включающем не только осадочные, но также магматические, рудные и метаморфические формации. Это следует из введения, где говорится о работах Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, Ю. А. Билибина, Ю. А. Кузнецова и других специалистов по магматическим формациям, и из основного текста, где упоминаются осадочно-вулканогенные и магматические формации, а также метаморфические, рудные и рудоносные формации. Однако основной анализ проводится практически на примере только учения об осадочных формациях, о чем свидетельствует хотя бы предлагаемая авторами классификация главных направлений этого учения — выделение, например, «стратиграфического», «палеогеографического» и других направлений. В этом можно видеть характерное еще для многих стремление к неявной подмене общего понятия «геологическая формация» более частным понятием «осадочная» или «осадочно-вулканогенная» и любая «стратифицированная формация». По существу, в книге рассмотрены только проблемы стратифицированных формаций. Однако существуют большие логические и содержательные трудности в разработке общего учения о формациях, включая такие нестратифицированные «дискретные» структурно-вещественные ассоциации, как магматические (интрузивные) и рудные, которые также называются «формациями». Проблема общности и различий этих классов формаций, требующих разных методологических подходов, заслуживает всяческого внимания.

Авторами существенно разработаны вопросы, связанные с понятием парагенезиса. Не рассмотренным остался такой аспект парагенезисов, как близость не пространственная, а близость по вещественным признакам, без чего нельзя распространять понятие о парагенезисах на магматические и рудные формации. Отметим еще, что «естественность» («качественная определенность») объектов, в том числе и стратифицированных геологических формаций, является следствием постоянства и повторяемости «существенных» свойств,

которые в свою очередь определяются в равной мере как объективными особенностями предмета, так и целями исследования. Новым методам и новым целям соответствуют новые «естественные» расчленения природы по новым свойствам.

В публикуемой книге содержатся теоретические разработки, важные для дальнейшего развития и совершенствования геологических исследований. Так, в ней рассмотрены парагенетические и генетические исследования в геологии, показаны их самостоятельность и последовательность; рассмотрены также соотношения генетического и морфологического (структурно-вещественного) подходов. Сделан вывод, что этап генетических построений должен предваряться этапом аксиоматизации структурно-вещественных моделей. С точки зрения обобщенного принципа дополнительности рассмотрены и объяснены противоречия тех случаев генетического подхода, когда генетические построения основываются на исходных генетических же посылках и на генетических признаках выделения объектов исследования, а не на структурно-вещественных данных. Убедительно показано, что невозможно одновременное выделение формации и выявление ее генезиса, что это две принципиально разные задачи, что решение одной из них требует, чтобы другая была уже решена независимо от первой.

Публикуемый труд представит большой интерес для широкого круга геологов как одна из первых работ с применением прогрессивных идей геолого-математического направления для решения важных теоретических проблем нашей науки, а обсуждение, которое, надо полагать, развернется вокруг некоторых содержащихся в нем дискуссионных положений, будет, несомненно, полезно для дальнейшего развития учения о формациях.

Учение о геологических формациях, зародившееся более двухсот лет назад, привлекает особенное внимание современных геологов.

Начиная примерно с 90-х годов XIX в. наиболее значительные теоретические и прикладные достижения в развитии учения о формациях связаны с именами русских и советских геологов. В. В. Белоусов, Ю. А. Билибин, А. А. Борисяк, Н. Б. Вассоевич, Г. С. Дзоценидзе, А. А. Иванов, Г. А. Иванов, Т. Н. Иванова, А. А. Иностранцев, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, В. П. Казаринов, Б. М. Келлер, Ю. А. Косыгин, Г. Ф. Крашенинников, В. А. Кузнецов, Ю. А. Кузнеццов, М. В. Муратов, Д. В. Наливкин, В. А. Обручев, А. В. Пейве, Ю. Ир. Половинкина, В. И. Попов, Л. Б. Рухин, Д. Н. Соболев, Н. М. Страхов, М. А. Усов, В. Е. Хайн, Д. С. Харкевич, Н. П. Херасков, И. В. Хворова, Е. В. Шанцер, Е. Т. Шаталов, Н. С. Шатский, Н. А. Штрейс, А. Л. Яншин в своих исследованиях охватили наиболее значительные стороны учения о формациях.

В последнее время многие существенные аспекты учения о формациях развивают в своих трудах А. И. Анатольева, А. Ф. Белоусов, М. Г. Бергер, К. В. Боголепов, Л. И. Боровиков, Ч. Б. Борукаев, Ю. П. Бутов, Ю. А. Воронин, О. А. Вотах, Э. А. Еганов, М. А. Жарков, Ю. В. Казицын, Д. А. Кириков, Р. М. Константинов, И. В. Крутъ, В. Л. Либрович, Н. С. Малич, В. Н. Москаlevа, С. В. Москаlevа, Е. В. Плющев, Д. В. Рундквист, А. А. Смыслов, В. А. Соловьев, С. В. Тихомиров, В. М. Цейслер, Г. В. Циндадзе, В. Н. Шванов, Э. Н. Янов и ряд других исследователей. Ими получено много новых заслуживающих самого серьезного внимания достижений в теории и методике учения о формациях и в его практических приложениях.

Большую роль в развитии учения о формациях имеют труды М. Бертрана, С. Брейслака, А. Гумбольдта, Д. Доломье, Э. Ога,

К. Прево, Э. Реневье. Хотя интенсивность изучения формаций за рубежом сейчас относительно невелика, однако исследования К. Данбара и Дж. Роджерса, В. Крумбейна и Л. Слосса, М. Кея, П. Нигли, Дж. Л. Нила, Ж. Обуэна, Ф. П. Петтиджона, Дж. Л. Робертса, Р. Ф. Фэйрбриджа и других показывают, что формации находятся в поле зрения крупных зарубежных геологов. Серьезное значение формационным исследованиям придают геологи стран народной демократии — Р. Иванов, В. Пэх, Д. Франке и другие. Все это свидетельствует, что интерес к изучению геологических формаций характерен для современной геологии во многих странах.

В нашей стране учение о формациях привлекло особое внимание в связи с тем, что кроме традиционно связываемых с этим учением возможностей тектонического анализа выявлены значительные перспективы минерагенического изучения формаций. Учение о геологических формациях, таким образом, нашло приложение в отраслях геологии, развитием которых занята значительная часть геологов.

Учение о геологических формациях в настоящее время охватывает почти все стороны деятельности геолога, что определяет как сильные, так и слабые стороны этого учения в его современном состоянии: сильные — поскольку учение тесно связывается в своем становлении со всем предшествующим опытом геологии и постоянно поступающими в ходе геологических исследований материалами; слабые — поскольку учение при такой ситуации рискует потерять свои контуры, растворяясь в общегеологических исследованиях.

В этих условиях особое значение приобретают проблемы определения объекта учения о формациях, его принципов и методов. Их разрешению и посвящена предлагаемая книга. Авторы сделали попытку образования системы понятий учения о формациях, подобной системам понятий, разработанным и применяемым в смежных областях геологии — минералогии, литологии и палеонтологии. Учение о формациях рассматривается как самостоятельная область знания или как одна из геолого-минералогических наук, подобная минералогии, литологии, петрографии, палеонтологии. Объектом учения о формациях являются однородные ассоциации тел, сложенных горными породами и характеризующихся как наборами определенных видов последних, так и видом (типов) соотношений этих тел. Эти ассоциации представляют собой индивидуальные элементарные объекты учения о формациях, первой из основных задач которого является выделение видов формаций.

Подобно тому как под влиянием требований поисков полезных ископаемых были введены понятия о минералах и горных породах и положено начало выделению и систематизации их видов, в настоящее время совершенствуются основы учения о новом предмете геологии — формациях. В геологических формациях формациолог получает предмет своих исследований подобно тому, как геохимик — атомы, минералог — минералы, петрограф и литолог — горные породы. Успешное развитие учения о геологических формациях тре-

бует накопления сведений об их видах, выделение и систематика которых составляет важную проблему.

Серьезным, хотя и косвенным, стимулом развития учения о формациях, как, впрочем, и всей геологии, послужило интенсивное внедрение математических методов на основе электронной вычислительной техники. Возможности вычислительной техники в решении задач формационного анализа пришли в противоречие с недостаточной разработанностью, неопределенностью системы понятий и связанной с этим неопределенностью системы наблюдений.

В отличие от минералогии и геохимии, предмет знания которых определен достаточно четко, учение о геологических формациях обсуждается с самых разнообразных позиций. В связи с этим нередко предлагается отложить проникновение математических методов исследования в учение о формациях до тех пор, пока не будет достигнута договоренность о предмете исследований. Такая точка зрения представляется ошибочной. Математизация той или иной области науки — это прежде всего формализация ее содержательных теорий, за которой следует проникновение различных математических методов более узкого приложения. Развитие учения о формациях в значительной мере может быть ускорено, с одной стороны, путем анализа его понятийной базы, а с другой — использованием некоторых известных алгоритмов.

Теория учения о формациях развивается на основе понятий о парагенезисе, об естественном теле, анализ которых позволил обнаружить заложенные в них понятия об элементе, структуре, виде и уровне организации. Это обстоятельство позволило ввести в учение о формациях (а также в геологию в целом) концепцию уровней организации, что дало возможность в теоретическом аспекте существенно приблизить учение о формациях к таким развитым геологическим наукам, как минералогия, петрография, палеонтология. Основное внимание сосредоточивается на парагенерациях — элементарных парагенезисах горных пород, которые в большинстве своих работ Н. С. Шатский, Н. П. Херасков и Б. М. Келлер выделяли в качестве формаций, а И. В. Хворова — элементарных породных ассоциаций. Известно, что кроме парагенезисов пород в учении о формациях рассматриваются также парагенезисы парагенезисов горных пород и формационные ряды, которые в данной работе подробно не анализируются.

Последовательно изложена: 1) система основных и производных понятий, допускающая эмпирическую проверку; 2) систематика структур парагенераций; 3) некоторые алгоритмы выделения парагенераций как статистически однородных совокупностей слоев горных пород; 4) пути и примеры анализа парагенераций в полевых геологических исследованиях.

Эти проблемы и задачи авторы решали, опираясь на труды В. И. Вернадского, Б. Л. Личкова, Б. М. Келлера, Ю. А. Косыгина, Ю. А. Кузнецова, В. В. Менинера, Н. П. Хераскова, Н. С. Шатского, Н. А. Штрейса, А. Л. Яншина и их последователей А. И. Ана-

толъевой, Ч. Б. Борукаева, М. А. Жаркова, В. Л. Либровича, Ю. В. Казицына, Е. В. Плющева, Д. В. Рундквиста, А. А. Смыслова. Большое значение имели также работы В. В. Белоусова, Н. Б. Васкоевича, А. А. Иванова, Г. А. Иванова, Д. В. Наливкина, А. В. Пейве, Ю. Ир. Половинкиной, В. И. Попова, Л. Б. Рухина, Н. М. Стражова, В. Е. Хаина, Е. В. Шанцера и других. Исключительно полезным было обсуждение содержательных и формальных аспектов учения о формациях и полученные в ходе этого обсуждения советы и замечания Б. А. Андреева, Л. И. Боровикова, А. Н. Бугайца, Ю. А. Воронина, В. Н. Верещагина, И. Н. Голынко, Э. А. Еганова, Ю. С. Маймина, В. Н. Москалевой, А. С. Остроумовой, В. С. Певзнера, В. А. Черепанова, которым авторы приносят свою искреннюю благодарность.

Гл. 1 и 4 написаны В. И. Драгуновым, гл. 2 — В. И. Васильевым. Раздел, посвященный математическому моделированию парагенерации (гл. 3), подготовлен А. И. Айнемером и В. И. Драгуновым; методы реконструкций условий образования парагенераций изложены А. И. Айнемером.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ УЧЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ

Мы должны признать, что ни один опытный факт не может быть сформулирован помимо некоторой системы понятий и что всякая кажущаяся дисгармония между опытными фактами может быть устранена только путем надлежащего расширения этой системы понятий.

H. Бор

Современное состояние учения о формациях

История развития учения о формациях и его основных понятий изложена Н. Б. Вассоевичем [35], Ю. А. Косыгиным [98], Г. П. Леоновым [116], И. В. Лучицким [120], Н. М. Страховым [171], Н. П. Херасковым [186], Н. С. Шатским [200—205], Р. Ивановым [82], В. Пэхом [234], Д. Франке [228] и другими геологами. Определения понятия о формации, принадлежащие различным авторам, приведены во 2-м издании «Геологического словаря». Здесь же дан лишь самый общий обзор современного состояния учения и направлений его развития, необходимый для более полного восприятия изложенного в последующих разделах.

Содержание понятий, связываемых с термином геологическая формация (ассоциация породная, аффилиация, литологическая формация, петрографическая формация, геогенерация, парагенолит, парагенерация, градация, над-, суб- и подформация и т. д.), при всех расхождениях в его определениях отражает представления о единстве более или менее однородных ассоциаций тел горных пород в тех или иных отношениях.

В учении о формациях исторически сложились три основных направления: *стратиграфическое, генетическое и парагенетическое*, которые объединяют различные течения и концепции.

Стратиграфическое направление в изучении ассоциаций слоев горных пород — горных серий (*Series montana*) Г. Х. Фюкселя — существовало еще до введения А. Г. Вернером термина формация. В связи с этим работы Г. Х. Фюкселя нередко относят к предыстории учения о формациях, полагая основателями стратиграфического направления А. Гумбольдта и Д. Доломье, которые придали термину формация стратиграфическое содержание. Геологические карты Европейской России, созданные в середине XIX в. Н. И. Кокшаровым и Г. П. Гельмерсеном, были картами формаций, рассматриваемыми в стратиграфическом аспекте. Позднее стратиграфическое

направление исследования формаций развивали геологи Сибири во главе с М. А. Усовым. Формации, по определению М. А. Усова, соответствуют примерно серии по современной стратиграфической терминологии. В этом смысле формации всегда индивидуальны; естественно, что при этом не возникает проблемы их вида. Стратиграфическое содержание термина «формация» сохраняется в американской геологии, несмотря на то что в 1881 г. на II сессии Международного геологического конгресса принято решение об исключении термина «формация» из стратиграфической терминологии.

Генетическое направление в учении о формациях основывается на представлении об определяющем влиянии условий среды при возникновении формаций определенного вида. Наиболее распространенной является точка зрения о влиянии фациальных (в частности, палеогеографических) и геотектонических условий на образование формаций. Фациальное (применительно к изучению осадочных толщ — палеогеографическое) течение, связываемое в своем становлении в начале XIX в. с именами С. Брейслака и К. Прево, получило некоторое развитие в трудах Э. Ога [132] и Э. Реневье [236] и особенно интенсивно стало совершенствоваться А. А. Борисяком [16], В. А. Обручевым [130], Д. В. Наливкиным [128], Н. М. Стражовым [171], В. И. Поповым [141—143]. Сторонники фациального палеогеографического подхода к формациям полагают их образованиями определенных фациальных, преимущественно палеогеографических, обстановок.

Геотектоническое (стадийно-зональное) направление в учении о формациях, в своих основных чертах определенное М. Берtranом [224] в конце прошлого века, в настоящее время развивается В. В. Белоусовым [8 и др.], Н. Б. Вассоевичем [33—35] и В. Е. Хайнем [182]. Сторонники данного течения считают, что значение стадии геотектонического этапа и положения в геотектонической зоне для образования формаций определенного вида являются определяющими. М. В. Муратов и В. М. Цейслер [125] отмечают, что реально существующие взаимоотношения формаций и структур земной коры значительно сложнее по сравнению с принимаемыми сторонниками тектонического подхода. Л. Б. Рухин [158], в целом поддерживая тектонический принцип выделения формаций, большое значение придает их литолого-структурным особенностям. Геотектонический принцип выделения угленосных формаций используется Ю. А. Жемчужниковым [79], Г. А. Ивановым [81], Н. И. Погребновым [139], П. П. Тимофеевым [172].

Парагенетическое направление получило свое название от термина «парагенезис», который был введен Н. С. Шатским [200—202, 204, 205 и др.] и Н. П. Херасковым [186] в определение формации. Первоначальное понимание парагенезиса как смежности — сонахождения минералов, предложенное В. М. Севергиным [161] и А. Брейтгауптом [225], распространено затем на сонахождение химических элементов В. И. Вернадским [38] и, наконец, — на сонахождение горных пород. Интересно, что уже в труде А. Г. Вернера

«Новая теория образования жил» отразился подход к выделению геологических тел формаций, который основывался на их составе и структуре [209]. Таким образом, подход к формационным подразделениям представителей парагенетического направления основывается на том, что учение о формациях относится ими к классу наук о веществе, подобно химии, минералогии, петрографии. Н. С. Шатский и Н. П. Херасков развили учение о формациях как о парагенезисах горных пород. Формации рассматриваются как «... естественные парагенезы горных пород... Если минералы — парагенезы элементов, горные породы — парагенезы минералов, то геологические формации — парагенезы горных пород» [201, с. 58].

Н. П. Херасков ввел понятия об абстрактных и о конкретных формациях (о видах и индивидах формаций) и об эталоне определенного вида формаций — голотипе.

Вулканогенные формации в парагенетическом аспекте исследовал И. В. Лучицкий [120], осадочно-вулканогенные — И. В. Хворова [189], Л. Н. Формозова [181] и другие. Значения парагенетического подхода при выделении формаций магматических пород ярко показал Ю. А. Кузнецов [110], весьма четко изложив теоретические проблемы учения о формациях.

Теоретические разработки Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова нашли широкое применение в практике формационных исследований. Выявились некоторые новые аспекты парагенетического направления, связанные с определением основных признаков формационных объектов и их границ в разрезах. И. В. Хворова [187] предложила различать в составе формации породные ассоциации (несколько позднее названные ею же [189] элементарными породными ассоциациями) — сочетания определенных типов (видов) горных пород, чередующихся в разрезе. Выделены также градации [187], характеризующие изменения формаций в латеральном направлении; границы между градациями проводятся по преобладанию определенных породных ассоциаций.

Существенные усовершенствования наметились исследованиями Б. М. Келлера [89], который в достаточно строгом соответствии со смыслом парагенетического определения формации выделил в Зилаирском синклиниории Южного Урала несколько конкретных флишевых и молассовых формаций, отвечающих породным ассоциациям И. В. Хворовой [187]. Б. М. Келлер пробил первую брешь в представлениях, согласно которым та или иная формация лишь один раз появляется в том или ином формационном ряду, и показал, что (в формационном ряду) возможно неоднократное появление формаций одного и того же вида. В неявном виде Б. М. Келлер вплотную подошел к необходимости статистического описания размещения формаций в земной коре.

Большое значение в развитии учения о формациях и понимания исторической перспективы появления тех или иных идей имело издание выбранных трудов Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова. В предисловиях к этим трудам А. Л. Яншин [221] и Н. П. Штрейс-

[217] дали глубокие и обстоятельные обзоры идей основоположников парагенетического направления. Н. П. Херасков предполагал исследовать формы тел геологических формаций, а также значение их мощностей как отражения фактора времени. По мнению Н. П. Хераскова, мощности формаций, относимых к тому или иному их виду или типу, могут уменьшаться до ничтожной величины. В этом случае создается впечатление об отсутствии формации данного типа или вида в формационном ряду, тогда как в действительности пачка пород, представляющая формацию данного вида в разрезе, ошибочно при соединена к телу смежной формации [217].

Значение исследований Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова с особенной четкостью проявилось в последнее десятилетие в связи с интенсивным развитием теоретической геологии и внедрением математических методов. Пути этого развития достаточно сложны и еще не вполне определились.

Вероятно, прежде всего можно различить линию, занятую Ю. А. Ворониным и первоначально Ю. А. Косыгиным и ориентирующуюся на «внешнюю» формализацию геологии и учения о формациях, сохраняемую сейчас Ю. А. Ворониным и Э. А. Егановым.

Формализация оказалась действенной в тех отраслях, где уже разработана содержательная теория, и бессильной за пределами ее применимости. В отраслях геологии, располагающих теорией и методами оперирования с такими естественными телами, как атом, молекула, минерал, горная порода, палеонтологические объекты, достаточно быстро распространились различные математические приемы обработки наблюдений. Пропагандируемый же Ю. А. Ворониным и Э. А. Егановым «целевой» подход к выделению формаций на практике означает отказ от выделения формаций как самостоятельного объекта геологии и ведет к подмене формационных исследований минералогическими и геохимическими, которые основываются на объектах, понятия о которых формализованы.

Вторая линия — системный подход — получает наиболее ясное выражение в последних работах Ю. А. Косыгина, В. А. Соловьева и других [83, 101, 103].

Ю. А. Косыгин в своих монографиях по проблемам тектоники [98 и др.], придавая большое значение в их разрешении учению о формациях, последовательно развивает парагенетическое направление. В его трудах и трудах его сотрудников обобщены результаты, полученные советскими исследователями формаций, показаны возможности дальнейших разработок идей Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова в условиях математизации геологии. С одной стороны, учение о формациях стало быстро освобождаться от некоторых ранее нечетко сформулированных и даже ошибочных выводов, логически противоречиво включенных в систему производных понятий учения и не следующих из его основных исходных положений, с другой — появилась возможность развивать систему производных понятий, основывающихся на исходных принципах, сформулированных Н. С. Шатским и Н. П. Херасковым.

Третья линия разработок, развивающаяся авторами этой книги [5, 31, 32, 69], И. В. Крутем, Д. В. Рундквистом и А. А. Смысловым [109, 156, 164], основывается на концепции уровней организации объектов геологии в содержательном аспекте и на теории типов теории множеств в формальном аспекте*.

Введение концепции уровней организации в качестве наиболее общей теоретической основы геологии подготовлено В. И. Вернадским [38—41], Б. Л. Личковым [118], Н. С. Шатским [201, 202], которые разъяснили значение понятий о естественном теле, состоянии пространства, парагенезисе. Анализ системы основных понятий геологии [32, 69, 70, 145] показал, что на всех этапах ее развития исключительно важное значение имели понятия о естественном теле и парагенезисе. Понятие о естественном теле является понятием об индивидуальном однородном структурно-вещественном объекте — однородном в смысле принадлежности к определенному виду определенного уровня организации.

Понятию парагенезис Н. С. Шатский, по словам А. Л. Яншина, придавал очень большое значение не только для учения о формациях, но и для геологии в целом. «Занимаясь в последний период своей жизни изучением комплексов горных пород в связи с увлечением его проблемой формаций, Николай Сергеевич выдвинул задачу всесторонней разработки содержания понятия „парагенезис“ и считал этот вопрос относящимся к числу важнейших... проблем геологии» [221, с. 35]. Понятие о парагенезисе разлагается на более простые, одним из которых является понятие об уровне организации. Последнее же теснейше связано с понятием о состоянии пространства, введенным в науку П. Кюри и развитым затем В. И. Вернадским и Б. Л. Личковым. Все это позволило рассмотреть проблемы формационного учения в более общем и глубоком аспекте, чем тектонический и другие аспекты, определило место учения не только в геологии, но и в естествознании [5, 32, 156 и др.].

Введение понятия о формации как об уровне организации вещества открыло дорогу разработке понятийной базы учения, аналогичной понятийным базам минералогии, петрографии, литологии и палеонтологии. Это, несомненно, позволяет ускорить процесс перерастания учения о формациях в науку — формациологию.

При всех различиях существующих направлений, течений и школ в учении о геологических формациях удается обнаружить и общее — выделение парагенезисов горных пород как объектов формационного уровня организации вещества. Это обстоятельство сблизило позиции представителей различных направлений. На этой основе удалось прийти к единому мнению о существовании парагенетического и генетического этапов исследований, дополняющих друг друга. Признание последнего обстоятельства открыло дорогу взаимопониманию и по ряду других вопросов, в том числе связанных с организацией и координацией формационных исследований в стране.

* Следует заметить, что вторая и третья линии теоретических разработок в самое последнее время все более сливаются [20, 83, 99, 102 и др.].

Геологические формации — парагенезисы горных пород

Геологические формации, согласно Н. С. Шатскому и Н. П. Хераскову, представляют собой естественные тела, являющиеся парагенезисами горных пород. Н. С. Шатский настойчиво подчеркивал, что выделение формаций есть выделение парагенезисов горных пород. «...Парагенезы пород — это не только определение формаций, но и метод их изучения» [202, с. 171]. Геологические формации — «... такие же естественно-исторические тела, как и породы, как и почва, как и минералы» [201, с. 53].

Определение понятия о геологической формации дано через понятие о парагенезисе, о горной породе и естественном теле. Существует два альтернативных понимания термина *парагенезис*: либо как сонахождения, либо как сопроисхождения тех или иных геологических объектов.

Первое понимание термина парагенезис выражает эмпирическое обобщение о сонахождении определенных природных объектов, которое характеризуется устойчивостью набора (списка) видов этих объектов, видом их структурных связей и статистической однородностью количественных соотношений. Такое понимание парагенезиса так или иначе отражено в работах А. Брейтгаупта, В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, Н. С. Шатского, Н. П. Хераскова и их последователей, хотя формулировки понятия, принадлежащие различным авторам, в деталях не однозначны.

В таком содержании понятие о парагенезисе сформулировано первоначально применительно к ассоциациям минералов, встречающимся совместно. Истоки этого понятия В. И. Вернадский [38] относит к глубокой древности и связывает их с практикой рудокопов.

Идею о парагенезисе минералов использовал А. Г. Вернер; он не только ввел термин формация, но и разработал идею о совместном нахождении минералов.

В начале XIX в. В. М. Севергин [161] в России и Д. Доломьев во Франции идею о сонахождении минералов оформили уже как научную теоретическую проблему. Вскоре А. Брейтгаупт ввел термин «парагенезис минералов» и дал следующее его определение: «Под парагенезисом минералов следует понимать более или менее выраженный способ их совместного нахождения — ассоциации» [180, с. 379].

От понятия о парагенезисе минералов В. И. Вернадский [38] перешел к понятию о парагенезисе химических элементов, а Н. С. Шатский [200, 202, 205—211] и Н. П. Херасков — о парагенезисе пород.

В. И. Вернадский [38—40] парагенезис минералов и парагенезис химических элементов понимал как их сонахождение. А. Е. Ферсман [180] принимал определение, данное А. Брейтгауптом. Н. П. Херасков [186] развил понятие о парагенезисе, показав, что парагенезис минералов осуществляется в сравнительно мало распространенной

форме сообществ крупно- и гигантокристаллических агрегатов минералов и в форме горных пород.

Вторая трактовка содержания термина парагенезис исторически сложилась позднее первой.

Успехи физико-химических исследований ассоциаций минералов привели к ревизии первоначального содержания термина парагенезис минералов и к предложению заменить его представлением о парагенезисе как о сопроисхождении минералов; обычно приводимая при этом аргументация дополнялась доводами этимологического характера. Такое понимание термина распространено преимущественно среди исследователей физико-химических равновесий различных минеральных ассоциаций. Возникшая при этом двойственность в понимании термина парагенезис отразилась и в учении о формациях.

Анализ многочисленных определений геологических формаций, предложенных в разное время советскими и иностранными учеными, привел к выводу, что парагенезисы горных пород в том их понимании, которое отстаивали Н. С. Шатский и Н. П. Херасков, являются единственной основой учения о формациях.

Сторонники различных направлений и течений формационного учения, как правило, указывают используемые ими признаки выделения формаций. Достаточно обычны высказывания о необходимости учете возможно большего количества признаков, о ведущем значении тектонических признаков или каких-либо других — климатических, палеогеографических и т. д. Выбор признаков и их группировка четко характеризуют позицию различных исследователей, изучающих формации, что уже было неоднократно отмечено автором [5, 58, 145].

К наиболее настойчиво упоминаемым признакам формаций относятся:

1) набор видов пород, тела которых слагают формацию;

2) взаимоотношения тел горных пород, слагающих формацию и определяющие ее внутреннее строение — структуру;

3) положение в современной структуре земной коры;

4) геотектонические условия образования;

5) климатические условия образования;

6) палеогеографические (*s. stricto*) условия образования;

7) стратиграфическое положение;

8) метаморфизм;

9) минералогический состав;

10) химический состав;

11) полезные ископаемые;

12) мощность.

Иногда используются и другие признаки, в частности, И. В. Хворова [188] предлагает учитывать петрофонд. Группировки признаков могут быть самыми разнообразными, а их количество $P_n = n!$, где n — количество признаков; в частности, $P_{12} \approx 4.8 \cdot 10^8$, $P_{13} \approx 6.2 \cdot 10^9$. Выбор признаков и способа их группировки



определяет позицию исследователя и принадлежность его к тому или иному направлению или школе в учении о формациях. Стремление учесть возможно большее количество признаков, если не определен способ их группировки, приводит к тому, что количество потенциальных направлений в учении о формациях при $n = 13$ почти вдвое превышает население земного шара.

При выделении формаций исследователь независимо от того, к кому направлению он следует, в явном (если он сторонник парагенетического направления) или неявном виде (если он сторонник того или иного течения в генетическом направлении) использует кроме иных признаки 1 и 2. Обозначим символически группировки признаков формаций, предложенные различными исследователями*.

А. (1, 2); (1, 2 иногда 3) — А. И. Айнемер (1968 г.), А. И. Анатольева (1972 г.), В. В. Белоусов (1961 г.), В. И. Васильев (1968 г.), М. А. Жарков (1969 г.), Р. Иванов (1968 г.), Б. М. Келлер (1949 г., 1968 г.), Ю. А. Косыгин (1958 г., 1964 г.), И. В. Крутъ (1968 г.), Ю. А. Кузнецова (1962 г., 1964 г., 1965 г.), И. В. Лучицкий (1972 г.), Н. П. Херасков (1967 г.), Е. В. Шанцер (1966 г.), Н. С. Шатский (1965 г.), В. Н. Шванов (1965 г.), Н. А. Штрейс (1955 г., 1967 г.), А. Л. Яншин (1963 г., 1972 г.), Дж. Нилл (1959 г.), П. Нигли (1952 г.).

Б. (1, 2, 4); (1, 2, 4 иногда 3) — В. В. Белоусов (1948 г.), Н. Б. Вассоевич (1940 г., 1951 г., 1966 г.), Г. С. Дзоценидзе (1965 г.), Ж. Обуэн (1967 г.), А. В. Пейве (1948 г.), Ю. Ир. Половинкина и Т. Н. Иванова (1959 г.), В. Е. Хайн (1954 г.), Е. Т. Шаталов (1963 г.).

В. (1, 2, 4, 5) — Г. Ф. Крашенинников (1957 г., 1968 г.), М. В. Муратов и В. М. Цейслер (1968 г.), Л. Б. Рухин (1953 г., 1955 г., 1969 г.), В. Е. Хайн (1964 г., 1973 г.), И. В. Хворова (1961 г.), Э. Н. Янов, Н. С. Малич (1968 г.).

Г. (1, 2, 5) — В. А. Зубаков (1966 г.), Н. М. Страхов (1960 г.).

Д. (1, 2, 4, 5, 6) — Г. А. Иванов (1967 г.), М. Кэй (1955 г.).

Е. (1, 2, 6) — Д. В. Наливкин (1956 г.), В. И. Попов (1955 г., 1959 г., 1966 г.).

Ж. (1, 2, 7) — К. Данбар и Дж. Роджерс (1962 г.), М. А. Усов (1945 г.).

З. (1, 2, 9, 10) — В. П. Казаринов, В. И. Бгатов и др. (1968 г.).

Используются и другие группировки признаков, в числе которых находятся группировки, предложенные Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом (1888 г., 1925 г.), охватывающие признаки состава, условий формирования, размещения и взаимодействия с вмещающими массами.

* Сравнение высказываний по проблемам учения о формациях, сделанные в разное время представителями различных направлений и течений, позволяют обнаружить «парагенетические» положения в трудах исследователей, основное внимание уделяющих развитию генетических направлений. И наоборот, в работах исследователей, придерживающихся парагенетического направления, недрого проскальзывают положения, которые вполне могли бы быть приняты сторонниками генетических течений.

Список группировок можно продлить, их количество равно $n!$ Очевидно, что пересечение (логическое произведение) группировок дает группировку (1, 2).

$$(1, 2, 3) \cap (1, 2, 5) \cap (1, 2, 4) \cap (1, 2, 4, 3) \cap \dots$$

$$\dots \cap (1, 2, 9, 10) = (1, 2),$$

что наглядно можно показать (рис. 1) с помощью кругов Эйлера. Только группировка (1, 2) является общей; другие, получаемые путем ее дополнения теми или иными признаками, можно применять лишь

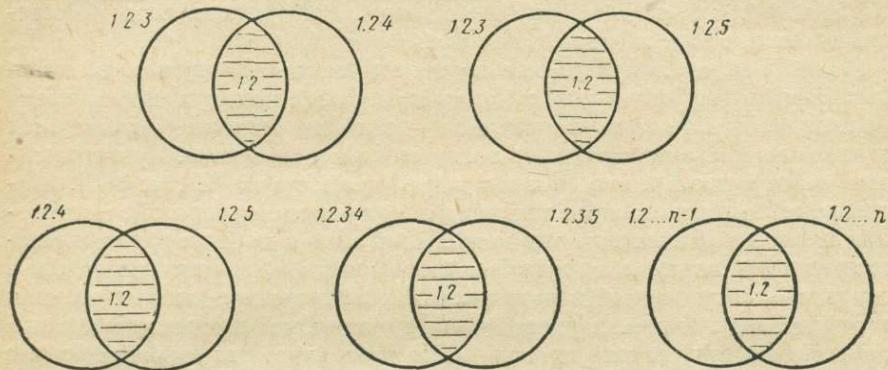


Рис. 1. Круги Эйлера, иллюстрирующие общность признаков в группировках признаков формационных подразделений, принимаемых различными авторами.

1 — «набор» видов горных пород; 2 — взаимоотношения однородных слоев.

в тех или иных более частных целях или для индивидуализации формаций.

Группировка признаков (1, 2) и есть группировка признаков парагенезиса горных пород в трактовке Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова. Таким образом, выделение формаций как парагенезисов горных пород является общей операцией при самых различных подходах к анализу формаций.

Против такого понимания формаций и соответствующего способа их выделения возражали сторонники различных генетических течений, а в последнее время и ряд исследователей, работающих в области математизации геологии.

Существенно, что в первом случае возражения связаны с представлением о недостаточности парагенетических признаков для выделения формаций, во втором — основываются на реально существующих разногласиях понимания парагенезиса и на отрицании необходимости использования понятия об естественном теле. Дальнейшее развитие учения о формациях как учения о парагенезисах горных пород потребовало более строгого анализа определения понятий о естественном теле и о парагенезисе и усовершенствования методов выделения парагенезисов тел горных пород.

Это означает, что понятия о естественном теле и о парагенезисе, принимаемые ранее как первичные исходные в учении о формациях, перестают рассматриваться в качестве таковых и «замещаются» системой других понятий, принимаемых за первичные, исходные, интуитивно ясные и т. д. С этим обстоятельством связаны некоторые методологические проблемы, затронутые ниже лишь в самой общей форме и более полно рассмотренные в других работах.

Наиболее важна проблема аксиоматизации знания. Построить теорию тех или иных разделов естествознания, в том числе и учения о геологических формациях, можно как на основе эмпирических обобщений [44], т. е. принципов или аксиом данного раздела естествознания, так и на основе гипотез.

Наиболее четко построение науки на основе принципов, из которых потом дедуктивно получают следствия, показал на примере физики С. И. Вавилов. «Принципы — аксиомы физики — доказуемы только опытом, они могут быть логически и недоказуемы. Принципы — это обобщенные опытные факты» [27, с. 384]. Построение науки на основе принципов делает ее нерушимой, построение же ее на основе гипотез может привести и неоднократно приводило к крушению. «Структура гипотетической физики может быть столь же безупречной в логически-математическом отношении, как и физика принципов..., однако нет гарантии, что в один прекрасный день исходная гипотеза прямым опытом не будет опровергнута и все построение рушится... Наоборот, физика принципов несокрушима: принципы могут обобщаться, несколько изменяться, но рушиться полностью они не могут, поскольку они суть выражения прямого опыта» [27, с. 385].

Способ построения физики принципов, предложенный И. Ньютоном, сформулирован следующим образом. «Вывести из явлений два или три общих принципа движения и затем изложить, как из этих ясных принципов вытекают свойства и действия всех вещественных предметов..., хотя бы причины этих принципов и не были еще открыты» [27, с. 384].

Одно из лучших изложений существа метода принципов при построении теории принадлежит А. Эйнштейну. Высшим долгом исследователей является поиск принципов — «...общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция... Теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам теории» [219, с. 9—10]. Принципы, отражающие общие черты множества установленных опытным путем фактов, становятся основой теории, которая проверяется по вытекающим из нее следствиям и соответствуя последних фактам. «Но до тех пор, пока принципы, могущие служить основанием для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны: ибо он не в состоянии ничего предпринять с единичными эмпирически установленными

общими закономерностями» [219, с. 6]. Научная теория создается, таким образом, в два этапа: на первом индуктивно определяются принципы, на втором дедуктивно выводятся из них вытекающие следствия.

При этом вполне четко разделяются понятия описания и объяснения реальности. Принципы описывают реальность; следствия, полученные дедуктивно, объясняются с помощью этих принципов.

С изложенных позиций исходные первичные понятия, система которых определяет понятие о парагенезисе, должны иметь общенаучный характер и обоснованы опытом их применения в различных отраслях естествознания, прежде всего науках о Земле — палеонтологии, минералогии, петрографии, литологии, учении об оболочках. С этой точки зрения теория учения о геологических формациях строится теми же методами, с помощью которых создана теория развитых естественных наук.

**Естественные тела — индивидуальные объекты
естествознания, их виды и состояния пространства
(уровни организации)**

В своем научном творчестве В. И. Вернадскому дважды пришлось обратиться к проблеме естественного или природного тела, изучаемого естествоиспытателями. В первом случае эта проблема возникла в связи со становлением почвоведения, созданного В. В. Докучаевым (учителем В. И. Вернадского), науки о почвах как особых естественных телах, отличных от горных пород. Второй случай (если можно так говорить об исключительном по его результатам периоде деятельности В. И. Вернадского) — был связан со становлением биогеохимии.

В. И. Вернадский пишет по этому поводу: «Странным образом это основное понятие, в сущности проникающее все естествознание, обычно оставляется без внимания и без серьезного логического анализа... Мне пришлось в молодости ярко и сознательно пережить проявление его значения. Мой учитель В. В. Докучаев в своей творческой работе в почвоведении выставил положение, что почва есть особое естественное тело, отличающееся от горной породы. Как известно, он доказал этот тезис и тем самым позволил вникнуть своим современникам на ярком примере успешного синтеза в основы творческой работы естествознания. Но в истории науки и в научной текущей жизни такие события редки. Обыкновенно споры не доходят до основных положений научного знания. Об этих положениях не говорят и о них забывают» [41, с. 8].

Проблема естественного тела, таким образом, неизбежно возникает, как только естествознание начинает научно осваивать ранее не охваченные им объекты природы. Проблема геологических формаций как естественных тел равна по своему значению проблемам объектов почвоведения и биогеохимии, а ее появление относится к числу тех редких событий, примером которых служит возникновение

новых крупных отраслей естествознания. Иными словами, эта проблема не только и не столько геологии, сколько естествознания.

В. И. Вернадский в своей последней монографии [44] дал определение понятия об естественном теле. «В основу современного точного естествознания кладется представление о естественном (природном) теле или о естественном (природном) явлении. Только такие тела изучаются натуралистом реально, будь это астроном, геолог или физик, который касается природных тел. Естественное или природное тело — это есть всякое природное, независимо от нас обособленное в пространстве и времени от других природных тел и природных явлений, материальное или материально-энергетическое проявление. С точки зрения пространственных явлений мы различаем в окружающей нас земной, т. е. планетной, среде естественные тела: горные породы, почвы, океаны, минералы, кристаллы, животные, растения и т. п. То же мы видим за пределами нашей планеты и Солнечной системы: газовые туманности, галаксии или спиральные туманности, космическая пыль, кометы, метеориты, тектиты и т. п.» [44, с. 161].

В трудах В. И. Вернадского и Б. Л. Личкова даны многочисленные пояснения и примеры использования понятия об естественном теле. Рассмотрим их по основным линиям анализа этого понятия.

Первая линия ведет к понятию индивидуальности объекта — от атома в физике до индивидуума в биологии и личности в социальных науках. В. И. Вернадский связывал отход от лапласовского понимания причинности физиков, исследующих атомные и субатомные объекты, с непредсказуемостью их индивидуального поведения: «... детерминизм исчезает для современной физики для определенной категории физических явлений. Недаром некоторые физики увидели здесь не только аналогию с индивидуумом биолога, но явление той же логической природы» [43, с. 415].

Вторая линия анализа понятия о естественном теле включает в качестве составной его части понятие о различии материально-энергетических проявлений, которое отражается в различии состояний пространства этих тел. Развитие понятия (а затем концепции) состояний пространства изложено Б. Л. Личковым [118]. Этому понятию предшествовало понятие о дисимметрии, введенное Л. Пастером в ходе его исследований кристаллических веществ органического происхождения. П. Кюри [113] распространил область применения понятия о симметрии и ее нарушениях — дисимметрии — далеко за пределы кристаллографии, на широкий круг физических явлений. В. И. Вернадский полагал, что симметрию природных объектов и ее нарушения научное мышление отображает в пространственных геометрических представлениях. П. Кюри, согласно В. И. Вернадскому, наиболее правильно понимал симметрию как состояние пространства естественных тел. «Самый глубокий недоконченный охват учения о симметрии был сделан П. Кюри, который, в сущности, рассматривал симметрию как состояние пространства, т. е. как структуру физического пространства» [43, с. 187].

Независимо от П. Кюри, ботаник В. Н. Хитрово [190] сформулировал закон диспропорциональности пространства вещественных тел и их агрегатов. Увеличение тел сопровождается изменением отношений между периметром (или диаметром), поверхностью и объемом. В. Н. Хитрово подчеркивал, что подобие тел в их пространственно геометрических отношениях возможно лишь в геометрии; в физическом же смысле эти тела различны. Б. Л. Личков [118] развил идею В. Н. Хитрова в аспекте качественно-количественных отношений в естествознании. «Чем меньше какой-нибудь объект, тем больше отношение периметра его к поверхности и поверхности к объему... Измерение пространства есть основа всех вообще наших измерений. Все остальные количества носят производный от пространства (основного количества) характер. Пространство занимает как количество совершенно исключительное положение. Оказывается, что состояний пространств много и каждое носит свои особые качественные черты... В основе каждого состояния пространства лежат его геометрические свойства, которые для материальных агрегатов разной величины в силу диспропорциональности или размерности пространства различны» [118, с. 7].

Третья линия анализа понятия естественного тела показывает, что В. И. Вернадский понимал естественность как однородность, допускающую выделение «видов животных и растений — однородных живых веществ» [41, с. 9], видов горных пород и минералов. Исключительно важно следующее высказывание В. И. Вернадского: «Морфологически в биогеохимии живое вещество проявляется как вид, род, раса и т. д. Мы различаем живое вещество однородное — родовое, видовое и т. п. — и живое вещество неоднородное, как лес, степь, биоценоз вообще, состоящее из однородных живых веществ, их закономерные смеси» [41, с. 6].

Изложенное позволяет сделать вывод, что с понятием (достаточно сложным) о естественном теле В. И. Вернадский связывал понятия относительно простые об индивидуальном объекте, особенностях состояния его пространства и его видовой, родовой и других однородностях. Ценотические ассоциации естественных тел В. И. Вернадский четко отличал в системе понятий от самих тел.

Создавая биогеохимию, В. И. Вернадский особое внимание обращал на своеобразие пространств живых и косных естественных тел, что и побудило дальнейшее развитие концепции состояний пространства. В высшей степени знаменательно обращение В. И. Вернадского к этой весьма общей концепции, позволяющей выделить объект биогеохимических исследований как живое вещество, т. е. вещество, характеризующееся особым состоянием пространства*.

Дальнейшее развитие идей о состояниях пространства и его диспропорциональности позволило перейти к понятию об уровнях

* В трудах В. И. Вернадского содержатся глубокие мысли о роли изучения как пространственных и временных, так и пространственно-временных закономерностей.

организаций *, распространенному в биологических науках, и введению его в круг основных понятий геологии в целом, и учения о геологических формациях в частности [5, 69, 83, 99, 108, 109, 145].

К сожалению, опыт создания биогеохимии, и особенно опыт заложения ее основ, не был своевременно исследован и не использован при разработке теории учения о формациях.

Основные положения научного знания, которые В. И. Вернадскому пришлось восстанавливать в «их правах» при создании биогеохимии как науки о живом веществе, имеют непреходящее значение и при исследовании косного вещества геологических формаций. Здесь также стоят проблемы формаций как естественных индивидуальных тел, их состава и строения, видовой (таксономической) однородности, их различных ценотических ассоциаций.

Проблема естественного тела в учении о формациях является первоочередной; неслучайно, что первые же попытки теоретических разработок учения о формациях, в частности, и геологии в целом, оказались связанными с этой проблемой, поскольку она является проблемой объекта исследования. Серьезным стимулом развития проблемы естественного тела в учении о формациях явилась необходимость формализации понятий этого учения в связи с математизацией геологии.

Неоднократные возражения Ю. А. Воронина и Э. А. Еганова [53, 54, 77] против понятия естественного тела носят скорее этимологический, чем смысловой характер. Выше было показано, что естествоиспытатели с этим термином связывают содержание, которое лучше передается термином *индивидуальное тело*, характеризующееся определенной видовой однородностью вещества, находящегося в определенном состоянии его пространства. В естествознании понятие индивидуального тела как неделимого и элементарного и понятие тела естественного — одно и то же, хотя терминологически выражаются различно. Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов возражали [52—54, 77] и против введения понятия о формации как веществе определенного уровня организации (веществе, характеризующемся особым состоянием пространства).

Остается пожелать, чтобы в дальнейшем понятие об уровне организации было эффективно использовано при сохранении тех высоких требований к логической строгости геологических построений, которые декларировались этими авторами. Сейчас же приходится следовать испытаным путем естествознания, которое имеет дело с индивидуальными объектами, образует понятия об этих объектах, разрабатывает те или иные операции исследования их свойств и классифицирует их по этим свойствам. Такая программа действий не отрицается самыми строгими формализаторами, хотя содержательная сторона этих действий подвергается ими осуждению или сомнению. Как бы то ни было, такая программа оправдала себя, в конечном счете, на опыте.

* Идеи о состояниях пространства и его диспропорциональности являются своеобразной пространственной компонентой концепции уровней организации.

Геологические формации (s. Iato) — уровень организации вещества, их элементы, структура и виды

Опыт усовершенствования теории учения о формациях и его приложений в геологии, прежде всего в стратиграфии, тектонике и минерагении, связан с анализом и формализацией основных понятий геологии, в том числе понятий о парагенезисе и о естественном теле, введенными В. И. Вернадским. Анализ этих понятий (табл. 1) стимулировался приведенными выше высказываниями Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова о парагенезисе, а также идеями о состояниях пространства естественных тел, развитыми П. Кюри, В. И. Вернадским, В.Н. Хитрово и Б. Л. Личковым.

Идеи о состоянии пространства довольно быстро привели к понятию об уровне организации, а высказывания о парагенезисе — к понятиям об элементе, структуре и их виде как о первичных понятиях, вводимых на примерах (а не путем логического определения) [27, 145, 219].

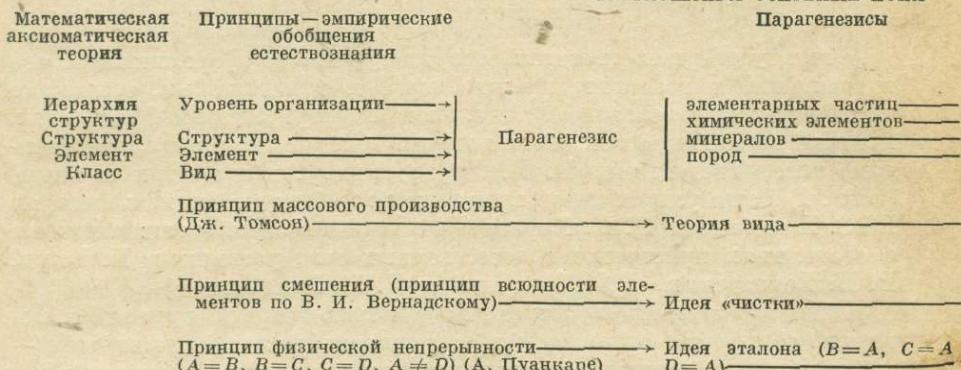
Исследователи, приступая к изучению любого объекта, прежде всего пытаются определить, является ли он индивидуальным телом или же ассоциацией индивидуальных тел. Индивидуальное тело — кристалл минерала, животное, растение — либо относят к одному из известных видов, либо, если это не удается, выделяют новый и в этом случае говорят об его открытии, например нового вида минерала. При определении индивидуальных тел (например, кристаллов минералов) по их принадлежности к тому или иному виду используют прежде всего формальные понятия об элементе и классе (виде, роде и т. д.). Однако такое определение возможно лишь в том случае, если уже известно, что определяемый объект является минералом (а не горной породой) и тем самым является элементом в сфере применимости операций минералогии. Так Н. И. Кокшаров [90] почти столетие назад называл минералы настоящими индивидуумами (неделимыми) неорганической природы.

В естественно-научном аспекте понятие элемента означает неделимость некоторого объекта в системе операций той или иной науки, т. е. его неразложимость, начиная с какого-то шага, без потери качественной характеристики. Понятие об элементе и элементарности отражает представление о неделимости (в определенных пределах) того или иного объекта. «Понятие элементарности в современном естествознании есть не что иное, как обобщение того несомненного факта, что каждая наука принимает за исходное некоторую относительно простейшую для данного круга явлений форму материи» [88, с. 231].

Понятие вида наиболее привычно для естествоиспытателей, его логическим аналогом является понятие класса.

В приведенных примерах индивидуальные тела охарактеризованы с использованием понятий об их виде, причем сами тела полагаются при этом элементами, т. е. неразложимыми объектами. В подобной, наиболее обычной, для исследователей ситуации индивидуальные

Соотношения основных понятий



тела относятся к тому или иному виду, затем исследуются их различные отношения друг с другом, обстановка, в которой они находятся, количественные отношения и т. д.

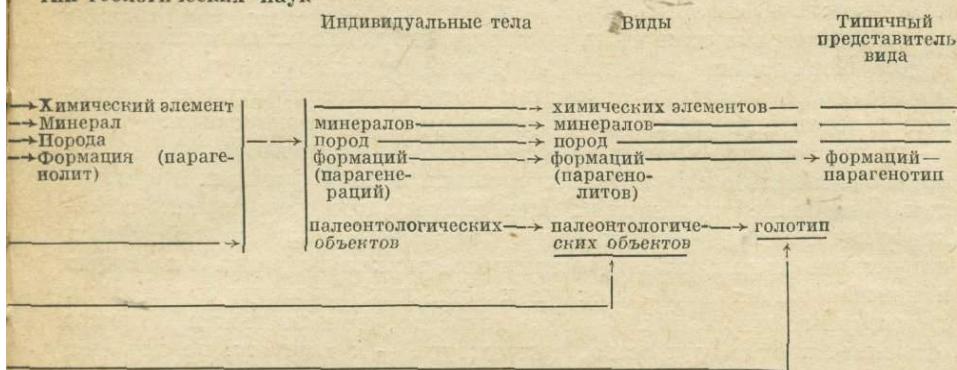
Индивидуальные тела рассматриваются обособленными в пределах того или иного пространственного ареала или временного интервала, и образуют различные ценозы, популяции и так называемые фили — последовательности индивидуальных тел, происходящих друг от друга (по А. С. Серебровскому), и т. д.

Однако ассоциации индивидуальных тел могут сами выступать как индивидуальные тела. Так, клетки образуют ткани, ткани — органы, органы — организм. Атомы образуют кристалл минерала, кристаллы — слой горной породы, слои — формации... Кристаллы минералов кварца, полевого шпата и слюды слагают горную породу — гранит (если соотношение этих кристаллов определяется как гравитовая структура) или арковый слюдистый песчаник (если кристаллы находятся в отношениях, определяемых как псаммитовая структура). Гранит и арковый слюдистый песчаник как горные породы различного вида имеют свойства, которые не могут быть описаны перечислением минеральных видов слагающих его кристаллов и указанием вида их соотношений. В свою очередь кристаллы полевых шпатов, кварца и слюды есть нечто большее, чем та или иная ассоциация атомов кремния, алюминия, кислорода и т. д.

Ассоциации индивидуальных тел описываемого типа являются объектами изучения разных наук. Тело гранитов исследуют петрограф, минералог и геохимик с помощью методов петрографии, минералогии и геохимии, причем только петрографические методы позволяют определить вид горной породы исследуемого тела. В описываемой ситуации определение объекта как индивидуального тела или как ассоциации индивидуальных тел предполагает определение уровня организации вещества, на котором объект исследуется. Введение понятия об уровне организации очерчивает границы применимости понятия об элементе.

Таблица 1

тий геологических наук



Элементами в определенной отрасли естествознания являются индивидуальные тела, дальнейшее разделение которых переводит их в тела предшествующего уровня организации. Так, кристалл пирита можно раздробить на мельчайшие части, однако его вещество остается веществом пирита, веществом минерального уровня организации, и лишь химическое разложение на железо и серу приведет его к исчезновению как элемента минерального уровня [32]. Исчезновение индивидуального тела как элемента на одном уровне организации ведет к появлению индивидуальных тел как элементов другого уровня, освобождающихся при этом от связей, благодаря которым они ранее составляли единое целое.

Ситуация, в которой исследователь находится в рассматриваемом случае, значительно более сложна, чем в разобранном ранее. Это именно та редкая ситуация, в которой, согласно В. И. Вернадскому, научные споры должны дойти до «основных положений научного знания» [см. выше, с. 21].

Если в обычной ситуации вполне достаточно понятий об элементе и виде, то в период становления новых отраслей знания приходится использовать понятия об уровне организации и структуре изучаемого объекта. Понятие о структуре выражает представления о связях (отношениях) элементов. Эти связи могут быть: а) пространственные, временные и пространственно-временные, б) причинно-следственные (лапласовски-детерминированные) и статистически-детерминированные, в) функциональные и вероятностные и т. д. Формально в математике под структурой понимается упорядоченность тем или иным способом множеств элементов [24, с. 248—253].

На начальных стадиях развития той или иной отрасли знаний прежде всего рассматривают пространственные структуры; лишь позднее можно построить историческую картину, иными словами, раскрыть исторические и генетические — временные — связи [69, 96, 177, 211]. Можно привести многочисленные примеры и обобщения относительно решающей роли изучения пространственных

отношений тех или иных объектов в ходе становления наук, изучающих неживую материю. По образному выражению Х. Шепли [211], пространственные измерения являются азбукой организаций в природе. Неслучайно понятие об уровне организации в геологии определилось в связи с развитием концепции состояний пространства и переходом от нее к концепции уровней организации.

До настоящего времени многие исследователи предпочитают говорить и писать о структурных уровнях, а не об уровнях организации. Внедрение структурных исследований при этом нередко не сопровождается введением понятия об уровне, например, полагается интуитивно ясным, что виды минералов можно выделить с помощью понятий о видах слагающих их химических элементов и видах их структурных отношений. То обстоятельство, что химические элементы относятся к одному уровню, а структура — к другому, не смущает исследователя, так как ему приходится действовать в ситуации, когда объект исследования уже определен. Переход от различных классификаций минералов к их кристаллохимической (структурно-вещественной в широком смысле) систематике сопровождался введением понятия об их структуре и об их составе. Однако это были понятия о структуре и о химическом составе минералов, а не понятия о структуре и составе на определенных уровнях организации.

Понятия об элементе, структуре и виде относятся к наиболее устойчивым понятиям естествознания, которые оставались вполне достаточными до тех пор, пока объекты, описываемые с их помощью, могли считаться в своих границах интуитивно ясно очерченными в пределах компетенции той или иной науки. Однако при переходе к совокупности наук необходимо ввести понятие об уровне организации. Формальным аналогом последнего является понятие об иерархии структур.

История геологии показывает, что понятия о виде, элементе, структуре и уровне организации так или иначе использовались при разделении минералогии и петрографии, при переходе от химических классификаций минералов к классификации (систематике), основывающейся на химическом составе и структуре, и т. д. Геохимики, минералоги, петрографы, специалисты формационного анализа, изучающие видовой состав атомов, минералов, горных пород, их количественные и другие соотношения в телах различных геологических формаций и их ассоциациях ценотического типа, в сущности, описывают последние на различных уровнях слагающего их вещества. Лишь разобщенностью геологических наук можно объяснить, что представители геохимии, минералогии, петрографии и учения о формациях, равно как и исследователи, занимающиеся математизацией геологии, сравнительно поздно обратили внимание на понятие об уровнях организации.

Можно ожидать, что понятия об уровне организации, элементе, структуре и виде, позволяющие научно описывать самые разнообразные индивидуальные (естественные) объекты — химические элементы, минералы, горные породы — окажутся эффективными в качестве

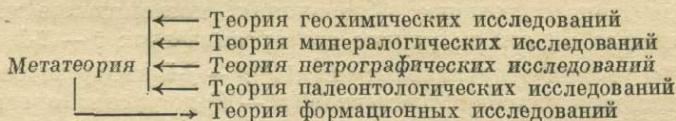
основных понятий создающейся в настоящее время новой отрасли естествознания — учения о формациях. Эти понятия имеют естественно-научное содержание, а их аналоги в формальных науках (логике и математике) — понятия об иерархии структур, элементе, структуре, классе — позволяют формализовать систему понятий учения о формациях.

Основные и производные понятия учения о формациях с позиций концепции уровней организации

Концепция состояний пространства и учение о парагенезисе с большей или меньшей степенью выраженности содержат все основные понятия концепции уровней организации. Исследования в области формализации понятий геологии, и прежде всего в области понятий учения о формациях, лишь ускорили становление уровнево-организационной концепции.

Введение этой концепции позволило использовать опыт построения теории и разработки методов геологических исследований, основанных на изучении геохимических, минералогических, петрографических (в меньшей степени) и палеонтологических объектов. Тем самым концепция уровней организации выступила в качестве метатеоретической основы, содержательными интерпретациями которой являются существующие теории геохимических, минералогических, петрографических и палеонтологических исследований, а также теория формационных исследований.

Простая схема соотношения метатеории и содержательных теорий отдельных отраслей геологии может пояснить некоторые преимущества этой метатеоретической концепции.



В логическом аспекте различные теории геологии являются содержательными интерпретациями метатеории, поскольку ее понятия являются понятиями большей степени общности. В историческом аспекте индуктивный ход развития естествознания определяет неравномерность его продвижения в разных областях. Это и отражено на схеме: стрелки, направленные влево, отражают переход от относительно частных теорий различных разделов геологии к ее метатеории; стрелка, направленная вправо, отвечает созданию теории учения о формациях путем содержательной интерпретации метатеории. Нетрудно видеть, что таким образом можно ускорить создание теории учения о формациях.

Соотношения науки и метанауки неоднократно исследовались различными авторами. Интересно отметить, что необходимость выяснения этих соотношений возникла в ситуации, подобной той, в которой сейчас находится учение о формациях, т. е. при определении

основных понятий, сферы их применимости и т. д. В частности, эти соотношения анализировал Г. Грековский [61], которому принадлежат приведенные далее определения науки и мета науки.

Наука — множество предложений, выраженных на определенном предметном языке, описывающее определенный фрагмент действительности; при этом предполагается, что это множество достаточно богато (полно), достаточно сильно связано внутренней логикой и состоит из предложений, достаточно общих. Мета наука — множество предложений, выраженных на метаязыке, описывающее науки, их предмет, логическую независимость основных понятий (предложений), логическую непротиворечивость, экспериментальную проверяемость.

С изложенных позиций проблемы предмета науки, полноты и независимости ее исходных понятий являются мета научными.

Приведенные выше определения понятий элемента, структуры, уровня организации и вида в этом смысле являются мета научными. Их формальными аналогами являются основные понятия математики, к которым Н. Бурбаки [24] относит понятия элемента, математической структуры, иерархии структур; аналог понятия о виде — понятие о классе (см. табл. 1).

Понятия об элементе, структуре, уровне организации и виде образуют систему основных — исходных — понятий.

Введем обозначения E — элемент, S — структура и n — уровень организации, получим общую формулу

$$E_{n-1}S_n \rightleftarrows E_n, \quad (1)$$

отражающую состав и структуру вещества на любом уровне его организации.

Введем дополнительные обозначения, позволяющие различать виды вещества на любом уровне его организации: i — i -й вид элемента n -го уровня организации; $(E_{n-1}^1 \dots ^m)^i$ — j -й набор видов, в частном случае один из видов, элементов $(n-1)$ -го уровня организации; r — вид структуры i -го элемента n -го уровня организации. Тогда формула (1) преобразуется к виду

$$(E_{n-1}^1 \dots ^m)^i S_n^r \rightleftarrows E_n^i. \quad (2)$$

Она выражает вид соотношений элементов определенных видов и уровня организации в элементе последующего уровня (существенно, что элементами являются индивидуальные, естественные тела определенного вида и уровня организации).

На основе понятий об уровне организации, элементе, структуре и виде можно образовать производные понятия, которые можно получить соединением основных понятий по два, по три и по четыре. Образование производных понятий иллюстрируется геометрической моделью. Исходное количество понятий не случайно и, по-видимому, связано со способом образования понятий об окружающем мире. Учитывая евклидовский характер восприятия человеком реальности, в качестве геометрической модели основных и производных понятий

примем тетраэдр, являющийся предельной для трехмерного мира фигурой, вершины которой расположены на равном расстоянии друг от друга (рис. 2).

Соотнесем с вершинами тетраэдра понятия *уровень организации, элемент, структура, вид**. Тогда ребра тетраэдра будут отвечать производным понятиям, образуемым из числа основных соединением по два:

а) ребро nE — ...элемент уровня... или ...уровень элемента... Это понятие отражает иерархию элементов и в неявной форме используется во всех естественных науках. Символическое обозначение этого понятия E_n ;

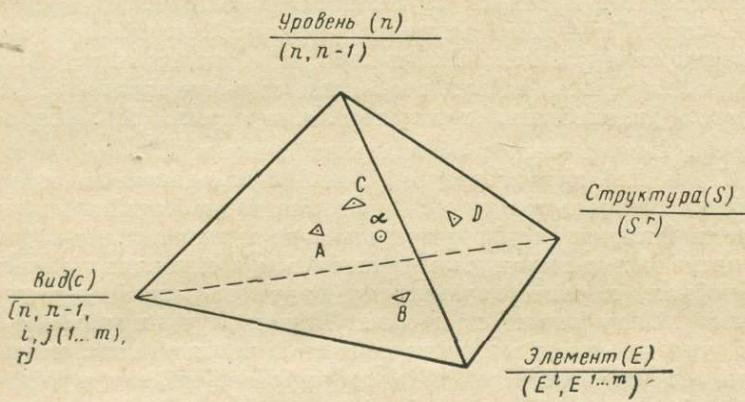


Рис. 2. Геометрическая модель системы понятий об элементе, структуре, уровне организации и виде [162].

б) ребро nc — ...вид уровня... или ... уровень вида... Примером являются понятия об атомном, молекулярном, минеральном и других уровнях или уровнях атомов, молекул, минералов и т. д. Символическое обозначение понятия ... $n - k, \dots, n - 1, n, \dots, n + k, \dots$;

в) ребро nS — ...структура уровня... или ... уровень структуры... Иллюстрацией могут служить понятия ...структур атомов, структура молекул, структура минералов... или же ... атомная структура, молекулярная структура, минералогическая структура... Символическое обозначение понятия S_n ;

г) ребро Sc — ...вид структуры... или ... структура вида... Примеры таких понятий: ... гиподиоморфнозернистая структура

* Вершины тетраэдра имеют двойное обозначение: в числителе — понятие и его символ, в знаменателе у вершин с числителем — уровень (n), элемент (E), структура (S) — приведены символы их определенных видов: сопряженных уровней ($n, n - 1$), элементов (E^l, E^{l+m}), структур (S^r); в знаменателе у вершины с числителем вид сданы соответственно символы определенных видов уровней, элементов и структур. В формуле (1) используются символы, стоящие в знаменателях при вершинах тетраэдров.

(горных пород), центрогранная (некоторых минералов) и т. д. Символическое обозначение понятия S^r ;

д) ребро Ec — ...вид элемента... или ...элемент вида... На основе данного понятия вводят понятия типа ...атомарный водород, молекула ДНК, пирит... Символическое обозначение понятия E^i ;

е) ребро SE — ...отвечает понятию о структурном элементе или элементарной структуре. В минералогии, петрографии, учении о формациях этому понятию соответствует понятие о единичной элементарной ячейке в условиях, когда уровень организации исследуемого объекта определен. Символическое обозначение понятия ES .

Граням тетраэдра соответствуют производные понятия, получаемые из исходных путем их группирования по три.

А. Грань nEc — ...вид элемента на уровне... или ...вид элемента фиксированного уровня... Например, вид химического элемента, молекулы, минерала (в двух последних случаях термины молекула и минерал употреблены в смысле молекулярный и минеральный элементы). Символическое обозначение понятия E_n^i .

Б. Грань EcS характеризует соотношения элементов определенного вида и отвечает понятию о виде элементарной ячейки в пределах той или иной науки, когда эти пределы явно не указаны. По-видимому, это понятие может выражать представление о единичных элементарных ячейках, характеризуемых по виду отношений образующих элементов и виду (видам) последних. В этих случаях введение понятия об уровне организации не является необходимым, поскольку объекты, определяемые как элементарные ячейки, могут рассматриваться не только в указанном аспекте, но и в качестве ассоциаций ценотического типа, что не требует указаний на принадлежность элементов одному уровню, а структур — другому. Иными словами, грань EcS отвечает понятию о виде единичных — индивидуальных — элементарных ячеек, не подвергающихся перемещениям, согласно которым они могли бы выполнить объем того или иного объекта. Символическое обозначение понятия E^iS^r . Здесь с используется дважды для обозначения вида элемента i и вида структуры r .

В. Грань nSc — ...вид структуры на уровне... или... вид структуры фиксированного уровня... Символическое обозначение понятия S_n^* .

Г. Грань nES отвечает понятию, определяющему уровень элементов и уровень их структурных отношений, иными словами, — отвечает понятию об иерархической ячейке. Символическое обозначение понятия E_nS_{n-1} . Здесь понятие уровень применяется дважды: для определения уровней элемента и структуры.

Наконец, тетраэдр в целом будет отвечать понятию о виде элемента определенного уровня организации — E_n^l , который имеет определенные видовой состав $(E_{n-i}^{1 \dots m})^j$ на предшествующем уровне организации $(E_{n-i}^{1 \dots m})^j S_n^r$ и структуру определенного вида — S_n^r . Оно отвечает понятию о естественном теле Б. И. Вернадского, поскольку естественность, как это следует из контекста его высказываний, а также высказываний Н. С. Шатского, Н. П. Хераскова, понимается

как однородность. По крайней мере, уточнения и примеры, которые приводили В. И. Вернадский, Н. С. Шатский и Н. П. Херасков, поясняя значение этого термина, позволяют считать, что такая интерпретация понятия о естественном теле лежит на пути развития его содержания, намеченном этими крупнейшими геологами современности.

Иерархические, систематические и прикладные целевые аспекты классификаций геологических формаций

Понятиям естествознания об индивидуальном естественном теле и его виде отвечают понятия логики о вещи и классе вещей, выделяемом по их свойствам; при этом вещь определяется как «целостная и относительно устойчивая часть материального мира, существующая объективно» [93, с. 73]. Наряду с содержанием понятия о вещи как о целостном объекте, распространено понятие о вещи как о системе свойств. В первом понимании вещь есть, согласно В. И. Вернадскому [44], качественно обособленное природное явление; во втором — та или иная группировка свойств, избираемых в зависимости от целей исследования. Значительные затруднения, испытанные на пути построения теории учения о формациях, связаны с представлением о них как о вещах во втором понимании.

Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов [53, 54], формулируя понятия геологии и учения о формациях, пришли к своеобразному противоречию, признав понятия о минерале формализованными, а понятия о горной породе и формации не формализованными. Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов (равно как и последователи их в данном вопросе) в своей аргументации не обратили внимания, что в ходе геологических исследований и минералы, и горные породы, и формации являются прежде всего естественными телами, по В. И. Вернадскому (или вещами в первом понимании). Трудности построения теории учения о формациях не ограничиваются трудностями формализации понятий этого учения, в большей мере они связаны с содержанием самих понятий. Содержание же понятий определяется опытом, в данном случае опытом минералогии, петрографии и учения о формациях, степенью их совершенства в целом, и совершенства процедур взаимодействия исследователя с объектами исследования в частности. Противоречие, к которому пришли Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов относительно формализованности понятий о минерале, горной породе и формации, возникло в связи с тем, что в данном случае они не различали концептуальные и перцептуальные аспекты минералогии, петрографии и учения о формациях. Концептуальные (*conceptio* — понимание) аспекты петрографии и учения о формациях для значительнейшей массы геологов (по крайней мере, для последователей Н. С. Шатского, Н. П. Хераскова в учении о формациях, А. П. Карпинского, А. Н. Заварицкого в петрографии) одинаковы с концептуальными аспектами минералогии, поскольку речь идет о формализованности основных понятий этих наук.

Перцептуальные аспекты петрографии, учения о формациях и минералогии, выражющиеся в восприятии (*регистрации*) их объектов исследователями, различны. Это выражается прежде всего в том, что минералы диагностируются (*определяются*) сравнительно просто и однозначно, горные породы сложнее и еще более сложна и неоднозначна диагностика формаций.

Преодолеть существующие затруднения в учении о формациях можно путем введения понятия о формациях как естественных индивидуальных телах. Кристаллы (тела) минералов, слои горных пород и тела формаций определенного вида — это естественные тела по В. И. Вернадскому, т. е. вещи в их первом понимании. Признав формализованными понятия о минералах, являющихся естественными телами, тем самым приходится признать необходимость использования понятия об естественных телах горных пород и формаций. Даже приняв понятие о геологических объектах как о вещах — группировках свойств, приходится сразу же принять понятие об этих же объектах и как о вещах — естественных телах. Так, понятия о горной породе и геологической формации приходится выражать через понятия о телах — вещах (в первом смысле), образованных веществом предшествующего уровня организации — о кристаллах минералов или о химических элементах.

Встав на иную точку зрения в решении проблем учения о формациях, пришлось бы просто ограничить решения геологических задач методами минералогических и геохимических исследований, лишить учение о формациях его собственных методов и ликвидировать как самостоятельную науку. Геологией уже изучены естественные тела минералов, и нет основания отказываться от изучения естественных тел формаций. Это не означает отказа от формализации понятий учения о формациях, а означает лишь признание необходимости счи-таться с объективностью изучаемых геологией естественных тел.

Эти тела рассматриваются как вещи и их классы, а само научное описание является группированием, классификацией в широком смысле, которая подразделяется в содержательном аспекте на составляющие: иерархизацию, систематизацию и целевые классификации (табл. 2).

Группирование естественных тел по принадлежности их к тому или иному уровню организации вещества будем называть *иерархизацией*, а ее результат — *иерархией*. Это утверждение можно выразить иначе: группирование естественных тел по иерархическим признакам есть их иерархизация, а ее результат — иерархия.

Формации в иерархическом ряду вещества [...]минералы — горные породы — формации — ...оболочки (геосфера)...] занимают промежуточное положение между горными породами и оболочками Земли.

Первым уровнем организации вещества (изученным естествознанием), согласно В. И. Вернадскому, был уровень минералов. Анализ минералов есть их исследование на атомном уровне; изучение ассоциаций минералов открывает дорогу исследованию вещества

Таблица 2

**

Соотношение классификации (s. lato) и индивидуализации естественных тел [145, 162]

Классификация (s. lato)		Индивидуализация	
Общенаучная классификация — иерархия уровней организации вещества	Конкретно научная классификация — систематика		
Галактики	Типы, . . . , семейства, . . . , виды тел, отнесенных к определенному уровню организации вещества	Классы тел (предварительно систематизированных в пределах определенного уровня организации вещества), выделяемые по различным признакам в соответствии с какой-либо прикладной целью	Естественные тела, систематизированные в пределах определенного уровня организации вещества и индивидуально обособленные
Звезды			
Планеты			
Оболочки планет			
Геоформации			
Парагенерации			
Горные породы			
Минералы			
Молекулы			
Атомы			

55

более высоких уровней организаций, прежде всего горных пород, затем формаций.

Принципиальная возможность исследования горных пород и формаций на основе системы понятий, использованной в минералогии, определяется повторяемостью в объектах определенного уровня и определенного вида ассоциации тел предшествующего уровня, характеризующейся однородным набором видов этих тел и определенной однородностью — видом — их структурных отношений. Концептуальной моделью такой ассоциации является понятие об элементарной ячейке (с. 32).

Группирование иерархизированных естественных тел (минералов, горных пород, формаций) по наборам видов составляющих их тел предшествующего уровня организации и виду их структурных отношений будем называть *систематизацией*, а ее результат — *систематикой*. Иными словами, группирование иерархизированных естественных тел по их систематическим признакам (наборам видов тел предшествующего уровня организации и виду их структурных отношений) есть их *систематизация*, а ее результат — *систематика*.

Создание систематики формаций, таким образом, ставится в зависимость от создания: а) систематики горных пород, тела которых являются элементами формационных тел, и б) разработки систематики геометрических отношений элементарных (однородных) тел горных пород.

Решить проблему систематики видов горных пород и формаций можно после определения набора видов их структур, т. е. после построения в петрографии и учении о формациях аналога кристаллографии. Далее в гл. 2 предложен опыт построения набора видов структур формаций. К сожалению, в петрографии аналогичная работа еще только начата Р. Л. Бродской [22], Е. В. Плющевым [137] и Д. В. Рундквистом [162]. Сейчас же, основываясь на имеющихся атласах структур горных пород, составленных под редакцией Ю. Ир. Половинкиной (которые удовлетворяют критериям метода экспертных оценок), и на составах горных пород, можно существенно улучшить их систематику. Для скрытокристаллических пород при этом можно использовать их химический состав, для подавляющего большинства пород — минералогический. Существование видов горных пород, образованных обломками пород другого вида (например, конгломератов разного состава), не противоречит изложению, поскольку в данном случае гальки выступают как элементы конгломератов.

Построение систематики объектов разного уровня организации иллюстрируется рис. 3. В произвольной шкале отложим по оси ординат виды структурных отношений (виды структур S_n^r) систематизируемых объектов, по оси абсцисс — наборы видов (E_{1-n}^{1-m})_j (в частности, отдельные виды) составляющих элементов предшествующего уровня организации. Структура и состав объектов определенных видов изображаются полями в пределах данного пространства систематических признаков. Реальным телам горных пород

и формаций в этом пространстве отвечают поля точек, сгущения которых интерпретируются в качестве таксонов низшего ранга — видов $L, M, N, Q, F, H\dots$. Введение той или иной метрики позволяет сделать эти поля объектом таксономического анализа, в частности, в той его форме, которая предложена А. Н. Олейниковым [194], Е. С. Смирновым [163] и другими, что в свою очередь даст возможность вычи-

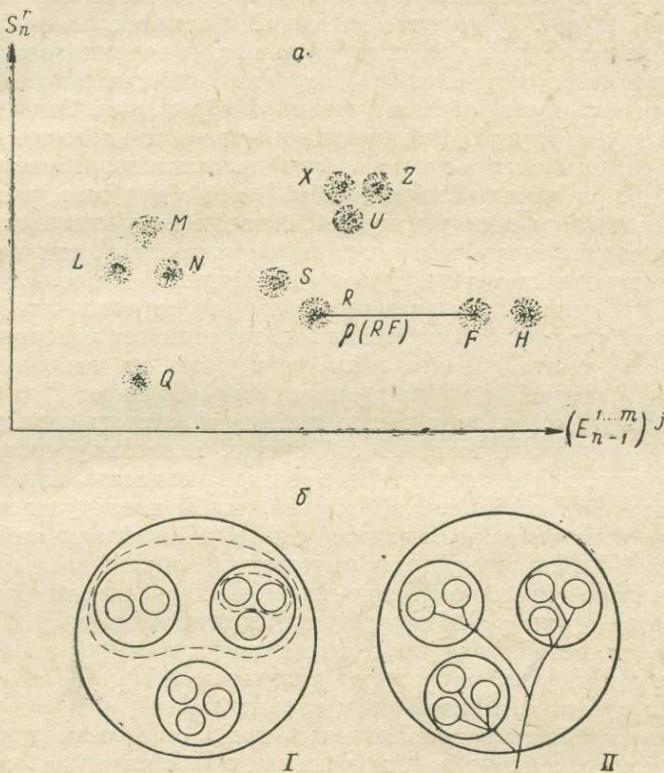


Рис. 3. Схемы систематики вещества произвольного уровня организации (а) [162] и превращения (б) энкапсиса систематических признаков (I) в родословное дерево (II) (По К. Ремане, 1955 г.).

слить различные «расстояния» $\rho(R, F)$, характеризующие видовую, родовую и прочие принадлежности исследуемых объектов — слоев горных пород, тел формаций и т. д.

Понятие о систематических признаках нередко подменяется понятием о диагностических. Простой пример позволяет иллюстрировать их различие: диагностическим признаком алмаза является его твердость, самородной платины — плотность; однако их систематические признаки — определенные наборы химических элементов и виды структур. Диагностические признаки связаны однозначно

для с определенными полями пространства систематических признаков, что и создает иллюзию их равнозначности. Неслучайно, в минералогии систематическими признаками являются только состав и структура, тогда как диагностических признаков около десяти.

Группировка систематических признаков $(E_{1-n}^1 \dots E_{1-n}^m)^j S_n^r$ различных геологических тел симметрична относительно любых ее дополнений другими признаками, необходимость которых вызывается теми или иными целями. Выделение формаций и их использование в тех или иных целях должны рассматриваться как дополнительные операции. Стремление соединить эти операции является непреодолимым препятствием на пути развития учения о формациях. Эти операции находятся друг к другу в отношении дополнительности в том смысле, что одновременное их осуществление невозможно. Понятие (или принцип) дополнительности введено Н. Бором для того, чтобы «характеризовать связь между данными, которые получены при разных условиях опыта и могут быть наглядно истолкованы лишь на основе взаимоисключающих друг друга представлений» [14, с. 49]. Л. Розенфельд [154] интерпретирует принцип дополнительности как возможность выбора порядка изучения и измерения тех или иных параметров исследуемого объекта и невозможность их одновременного изучения и измерения в каждом отдельном опыте. Для учения о формациях это означает, в частности, невозможность одновременно выделить формуацию и выявить ее генезис, поскольку соответствующие операции несовместимы. Их последовательность определяется из принципа соответствия. Необходимо, чтобы последующие исследования не отвергали достигнутое ранее, а обращали его в частности [166, 177]. По этому принципу следует сначала дать структурно-вещественное (пространственно-вещественное) описание того или иного объекта и уже затем переходить к генетическому [58, 69, 145]. Принцип соответствия широко, хотя и в интуитивной форме, использован в геологических науках при создании систематики палеонтологических остатков, минералов и горных пород.

Введение принципов дополнительности и соответствия в учение о формациях прекращает поиски решения проблемы выделения формаций по генетическим признакам и заставляет в ее составе различать несколько (по крайней мере две) проблем, одновременное решение которых невозможно: выделение формаций по структурно-вещественным признакам и изучение их генезиса, а также те или иные проблемы, возникающие в связи с различными целями геологических исследований. Это положение основывается на опыте минералогии, петрографии и палеонтологии. Тем не менее значительная часть исследователей, к которым присоединились сторонники так называемого целевого подхода при выделении формации (Ю. А. Воронин, Э. А. Еганов и другие), в той или иной мере сохраняют надежды «принципиально» обойтись без этих принципов.

Систематизированные объекты можно группировать по каким-либо другим свойственным им признакам или по особенностям их положения в различных ценотических и других ассоциациях. Такое

дополнительное группирование естественных систематизированных тел (минералов, горных пород, формаций), а также их тех или иных таксонов в каких-либо целях будем называть целевым классификацированием, а результаты этого группирования — целевыми классификациями [145, 162].

Среди целевых классификаций формаций особое значение имеют стратиграфическая, тектоническая и минерагеническая, а также наиболее тесно связанная с систематикой — филогенетическая. Особенности этих классификаций с позиций концепции уровней организации рассмотрены далее, в гл. IV.

Принципы массового производства, смешения элементов и физической непрерывности — основа выделения голотипов формаций

На современной стадии развития учения о формациях большое значение приобретает выделение их видов. Для того чтобы перейти от выделенного в разрезе формационного объекта к понятию определенного вида формации, необходимо ввести принципы: массового производства Дж. Томсона [174], смешения В. И. Вернадского [44] и физической непрерывности А. Пуанкаре [15].

Принцип массового производства утверждает, что все созданное в природе реализуется в большом количестве индивидуальных тел.

Естествоиспытатели выделяют на основании немногих реализаций или представителей новый вид минералов, палеонтологических и других объектов, основываясь на этом принципе. Так, палеонтолог, выделяя по одному или двум (вообще ограниченному количеству) представителей найденной раковины новый вид, основывается на принципе массового производства, полагая, что таких раковин существует достаточно много. Поэтому, встречая тот или иной индивид формации, можно воспользоваться принципом массового производства и перейти к понятию об определенном виде формации.

Однако, как писал В. И. Вернадский, в природе ничто в чистом виде не распространено, поскольку действует принцип постоянного смешения — «всюдности» — элементов. В. И. Вернадский ввел этот принцип для описания закономерностей распространения химических элементов. Введение концепции уровней организации позволяет использовать этот принцип и для элементов минерального, горно-породного и формационного уровней. Так, при изучении кристаллов горного хрусталия, заключающего включения рутила, золота или серпентита, отдельно определяются систематические признаки индивидов различных минеральных видов.

Серьезные затруднения в систематике горных пород связаны с недостаточной осознанностью проявлений принципа смешения. Среди пород магматического происхождения достаточно часто встречаются шлиры; среди осадочных пород — линзы, прослойки; горные породы, слагающие шлиры, линзы и прослойки, как правило, различаются либо в систематическом и индивидуальных отношениях, либо

(не отличаясь систематически) индивидуально. В первом случае фиксация различий позволяет избежать смешения систематических признаков разных видов горных пород, во втором — индивидуализировать тела горных пород, сложенных одним и тем же их видом, но различающихся по каким-либо другим признакам.

Смешение систематических признаков объектов разного вида может вызвать ошибочное выделение нового вида, что нежелательно. Н. А. Штрейс [217], анализируя развитие идей Н. П. Хераскова в области учения о формациях, обратил особое внимание на случаи кажущегося выпадения в формационных рядах формаций определенного вида. Если мощность пачки парагенетически связанных горных пород уменьшается до весьма малой величины, эту пачку присоединяют к смежным формациям. Обычная примесь в теле одного формационного вида тел других видов, недостаточно учитываемая при их выделении, существенно затрудняет систематику формаций. Поэтому, прежде чем выделить вид, необходимо предварительно «очистить», т. е. исключить все примеси в отнесенных к нему телах.

Таким образом, на основе принципа элементарности парагенезиса пород как определенного уровня организации вещества, вводя принцип массового производства, принцип смешения и основанную на нем идею чистки индивида, можно на основании изучения парагенезисов тел горных пород выделить виды формаций.

Третий принцип, с которым приходится считаться при выделении тел формаций определенного вида, — принцип физической непрерывности. Попарное сравнение нескольких (например, десяти) индивидов одного и того же вида позволяет сделать заключение о том, что первый из них равен второму, второй — третьему, ..., девятый — десятому. Однако при сравнении первый может оказаться не равным десятому, поскольку определение систематического сходства и различия между индивидами имеет ограниченную точность.

Отношения эквивалентности формаций, относимых к одному и тому же виду, возможны лишь в формально-логическом аспекте сравнения систематических признаков в их так или иначе закрепленных градациях. Только в этом формально-логическом смысле систематические признаки индивидов, отнесенных к одному и тому же виду, могут быть рефлексивны xRx , транзитивны xRy , $yRz \rightarrow xRz$ и симметричны $xRy \rightarrow yRx$. Реально же наблюдаемые значения систематических признаков в различных индивидах одного и того же вида могут и не оказаться в отношениях эквивалентности, если учесть, что в природе действует принцип физической непрерывности А. Пуанкаре. Понятие об эталоне ($A = B$; $A = C$; $A = D$..., где A — эталон) вводится, чтобы избежать затруднений, связанных с этим принципом ($A = B$; $B = C$; $C = D$; ...; $A \neq D$). Вводя понятие об эталоне, удается обойти также трудности, выраженные в уже упоминавшемся принципе «всюдности» элементов В. И. Вернадского: эталон всегда приходится очищать от инородных примесей.

Изложенная выше система понятий в их конкретном приложении к выделению формаций в геологических разрезах предполагает воз-

можность определения видов горных пород, которыми слагаются те или иные слои или пласти, их последовательности и мощности. С этой точки зрения необходима разработка систематики горных пород и видов отношений форм их залегания. Систематика горных пород может быть развита на основе уже существующих разработок в петрографии и в этом смысле не является задачей учения о формациях. Систематика видов структур геологических формаций является первоочередной задачей учения о формациях, требующей разрешения.

Хотя затруднения в выделении формаций, возникающие вследствие неразработанности систематики горных пород и структур формаций, достаточно значительны, тем не менее их легче преодолеть по сравнению с затруднениями, связанными с выделением формаций по генетическим и другим признакам. Виды формаций можно выделить только на основе той или иной группировки видов горных пород и отношений образуемых ими слоев в геологических разрезах.

О трансляции систем понятий геологии

На основе понятий об уровне организации, элементе, структуре и их виде проанализированы существующие в геологических науках неформализованные системы описания. Их анализ показал, что в различных геологических науках существует известное единство некоторых понятий и их группировок и соответственно операций, связанных с применением этих понятий в ходе исследований (табл. 3).

1. Первой операцией является определение уровня объекта, что связано с использованием понятия «быть объектом, рассматриваемым как элемент определенного уровня организации». Например, «быть минералом», ..., «быть формацией» и т. д.

2. Вторая операция (определение систематического положения) связана с применением понятия «быть элементарным объектом определенного уровня организации, принадлежащим определенному виду». Например, «быть пиритом», ..., «быть флишем» и т. д. Это понятие может быть развернуто в операциональном отношении: «быть объектом, все части которого могут быть идентифицированы с транслируемой элементарной ячейкой определенного вида, определяемой списком видов элементов предшествующего уровня организации и видом отношений образованных ими элементарных тел».

После того как объекты иерархизированы и систематизированы, они могут быть дополнительно описаны с помощью следующих понятий (обычно присоединяемых с помощью союза «и» к понятию 2, характеризующему систематическое положение объектов):

3. — и принадлежать более высокой таксономической категории (роду, семейству и т. д.);

4. — и принадлежать более низкой таксономической категории (разновидности);

5. — и занимать определенное положение среди объектов, онтогенетические признаки которых отражают филогенетическое развитие;

Объекты	Дерархия	Систематика				Филогения	Индивидуализация						По	
		1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	
Палеонтологии	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	0
Минералогии	I	I	I	I	I \ 0	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Петрографии	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I	I \ 0	I	I \ 0	I	I	I	I \ 0	I \ 0
Формационные геологи N	P	I	I	I	I	I \ 0	I	I	I	I	I	I	I	I
	G	0	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I \ 0	I	I \ 0	I \ 0	I	I	I \ 0	I \ 0
Идеализированная система	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Примечания. 1. I — понятие применяется; 0 — понятие не применяется;

6. — и ограничиваться поверхностью, отделяющей его (объект) как от иных объектов тождественного вида, так и от объектов иных видов;

7. — и образовывать включения в объекте иного вида;

8. — и заключать в себе включения объектов иного вида;

9. — иметь определенные пространственно-временные координаты в принятой системе;

10. — и взаимодействовать с различными физическими полями;

11. — и взаимодействовать как с иными объектами тождественного и иного вида своего уровня организации, так и с объектами иных уровней;

12. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, являющихся образующими для данного уровня организации;

13. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, являющихся аксессорными для данного уровня организации;

14. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, кларк концентрации которых в фиксированной области ≈ 1 ;

15. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, кларк концентрации которых в фиксированной области достигает некоторого, отличного от 1 значения;

применяемых в геологии

распространенность			Классификация												Минерагеническая				
			Экологическая				Хорологическая				Стратиграфическая				Тектоническая				
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
0	I	V	0	I	I	I	V	0	0	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	V	0	I	V	0	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	V	0	I	V	0	I	I	V	0	I	I	V	0	I	I	V	0	I	I
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

— или. 2. Р — парагенетическая школа; Г — генетическая школа.

16. — типоморфному для определенных условий образования;
17. — конвергентному для различных условий образования;
18. — и отражать в особенностях своей структуры и состава на предшествующих уровнях организации условия образования;
19. — и входить в ассоциацию объектов тождественного и иного вида, типоморфную для определенных условий образования;
20. — по распределению объектов которого расчленена фиксированная область на те или иные части;
21. — руководящему для интервала ... в ареале ... (принадлежать однородному стратиграфическому объекту определенного вида);
22. — проходящему несколько интервалов ... в ареале ... (принадлежать стратиграфическим объектам различного вида);
23. — и принадлежать ассоциации (комплексу) объектов тождественного и иного вида, руководящей для интервала ... в ареале ... (принадлежать стратиграфическому объекту определенного вида);
24. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, концентрация которых направленно изменяется в различных интервалах и ареалах;
25. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, концентрация которых периодически изменяется в различных интервалах и ареалах;

26. — и ограничиваться поверхностью, геометрические формы которой определяются его структурой (быть недеформированным объектом);

27. — и ограничиваться поверхностью, геометрические формы которой, определяемые внешней средой объекта, не отвечают его внутренней структуре (быть деформированным объектом);

28. — и принадлежать той или иной ассоциации объектов тождественного и иного вида, ограниченной поверхностью той или иной геометрической формы;

29. — и принадлежать определенной ассоциации объектов тождественного и иного вида, ограниченной поверхностью определенной геометрической формы (т. е. принадлежать определенному тектоническому объекту определенного вида);

30. — и принадлежать типоморфной ассоциации объектов тождественного и иного вида, ограниченной поверхностью определенной геометрической формы (т. е. принадлежать определенному тектоническому объекту типоморфного вида);

31. — и принадлежать типоморфной ассоциации объектов тождественного и иного вида, ограниченной поверхностью той или иной геометрической формы (принадлежать определенному тектоническому объекту, типоморфному для реконструируемого интервала);

32. — и принадлежать ассоциации объектов тождественного и иного вида, которые при определенной концентрации в определенном ареале и определенных экономических условиях являются используемыми в народном хозяйстве.

Группировки понятий, их подсистемы, отвечающие отдельным геологическим дисциплинам, показаны в табл. 3.

В принципе перечисление понятий может быть продолжено, а их объем так или иначе изменен. Тем не менее и в предложенном виде система понятий может быть объектом дальнейшего рассмотрения. Она является обобщением существующих систем понятий, явно или неявно действующих в геохимии, минералогии, петрографии, учении о формациях, учении об оболочках, стратиграфии, тектоники и минерагении и в этом смысле являются идеализированной системой понятий геологических наук, оперирующих с объектами различных уровней организации вещества. В формальном отношении эта система рассматривается в качестве матрицы, образуемой трансляцией вектора-строки, элементами которого являются понятия 1—32 (табл. 3).

В этом смысле можно говорить о симметрии системы геологических понятий. Реально действующие системы понятий измеряются отношением числа, отвечающего действующей системе, и числа, отвечающего абстрактной системе. Эти числа, записанные в двоичной системе, могут быть переведены в десятичную и в привычной форме могут дать оценку различий действующей и идеализированной систем. С помощью табл. 3 можно сравнить системы понятий, принятых различными школами, различными авторами, а также применяемых тем или иным исследователем на разных этапах его деятельности.

Табл. 3 можно использовать и для оценки эффективности метанучного способа построения системы понятий учения о формациях.

В условиях, когда перечисленные простые понятия не различаются, они замещаются системой сложных понятий, количество которых определяется как 2^k , где k — число простых понятий. Отношение $2^k : k$ количественно характеризует эффективность метанучного способа построения системы понятий. Система k понятий, подобная изложенной, замещается системой 2^k сложных понятий, если последние образуются комбинаторно. Так, тектоническое генетическое течение в учении о формациях связывает понятие о формациях с тектоническими условиями ее образования. Это означает, что сторонники данного течения замещают понятия 1—25 (табл. 3) системой сложных понятий, количество которых 2^{25} . Поскольку k и 2^k понятий связаны с различными операциями наблюдений и измерений, поскольку с их соответствующими системами связаны и различные экономические затраты. Приняв для простоты, что эти затраты одинаковы для ответа на любой из вопросов, связанных с применением любого понятия из любой системы, нетрудно получить, что затраты, связанные с использованием метанучной системы, составляют $k : 2^k$ затрат, связанных с системой сложных понятий.

О терминологии и номенклатуре учения о формациях

В последние годы во многих разделах геологии ведутся исследования по уточнению понятий, терминологии и номенклатуры. При всех различиях в их постановке и методах решения они неизменно направлены к достижению единобразия в способах фиксации и передачи результатов геологических исследований. По своему характеру проблема единобразного обозначения одинаковых предметов является проблемой семантической, с одной стороны, и проблемой семиотической — с другой. Семантический характер проблемы связан с необходимостью отображать в понятиях значение результатов исследований; семиотический характер определяется необходимостью обозначать понятия терминами (и другими знаками).

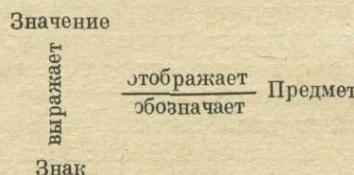
Развитие знания ведет к постоянному изменению понятий, их уточнению; изменяются и выражающие понятия знаки — слова, имена, термины. Однако понятия меняются быстрее, чем обозначающие их знаки и термины, о чем писал еще более столетия назад Ч. Ляйель: «В геологии . . . наша работа постоянно перерастает язык. Прилив наблюдений так быстр, что усовершенствования теории забегают вперед перемен номенклатуры. Попытка называть новые истины теми же словами, которые служили для выражения иного, иногда противоположного мнения, постоянно способствует, по силе ассоциации, к упрочению заблуждений, и догматы, отвергнутые рассудком, еще продолжают властвовать над воображением» [121, с. 120].

Развитие понятий теснейше связано с развитием восприятий, которые для своей фиксации в принципе не требуют какой-либо знаковой системы. Возникнув, понятие фиксируется в более или менее

удачных определениях, формулировках, в которых его содержание становится доступным исследователям. Именно об этом писал А. Эйнштейн: «Само по себе не представляется необходимым, чтобы понятие соединялось с символом, действующим на органы чувств и воспроизведимым (со словом); но если это имеет место, то мысль может быть сообщена другому лицу» [219, с. 133].

Различие скоростей изменения понятий и терминов приводит к существенным разногласиям, среди которых можно выделить чисто терминологические (семиотические или знаковые) и более глубокие, связанные с состоянием системы понятий (семантические).

Взаимоотношение предмета (объекта знания), значения (содержания понятия о предмете или об объекте знания) и знака (обозначения понятия о предмете или об объекте знания) наглядно выражают семантические треугольники Л. О. Резникова [152]



и Н. Б. Вассоевича (рис. 4).

Роль знаков особенно велика при фиксации результатов познания; по-видимому, их роль снижается в ходе самого процесса познания, особенно в периоды охвата знанием ранее неизвестных областей реальности. Этим, в частности, объясняются затруднения, связанные с сообщением о нетривиальных результатах, получаемых в областях знания, находящихся в стадии становления. Однозначное соответствие термина понятию является исключительно важным фактором при передаче сообщений о результатах исследовательской деятельности. Проблема однозначного сообщения особую остроту приобретает в условиях, когда результаты научных разработок начинают интенсивно внедряться в практику.

Аналогичная проблема стояла перед стратиграфами в связи с упорядочением общих и местных стратиграфических подразделений [168, 169]. Опыт, полученный в ходе ее решения, а также более ранний опыт исследований по терминологии и номенклатуре в минералогии, зоологии и ботанике должен быть использован и в учении о формациях.

Анализ довольно многочисленных работ, посвященных терминологии и номенклатуре, позволил обнаружить достаточно часто встречающуюся неопределенность в самом понимании предмета терминологических и номенклатурных изысканий, связанную с некоторой неопределенностью значения или содержания знаков «термин» и «имя» как собственных — однозначных — имен понятий и вещей.

А. Черч, излагая теорию содержания собственных имен Фреге, указывает, что «собственное имя всегда есть, или по крайней мере всегда считается чьим-то именем. Мы будем говорить, что собствен-

ное имя обозначает или называет то, чим именем оно является» [195, с. 17]. Поскольку определенный термин есть знак определенного понятия, поскольку термин есть имя понятия. По-видимому, следует обратить внимание (табл. 4)* на специфичность употребления имени для обозначения: а) содержания предмета, когда таковым является научное понятие, б) содержания предмета, когда он, будучи научным

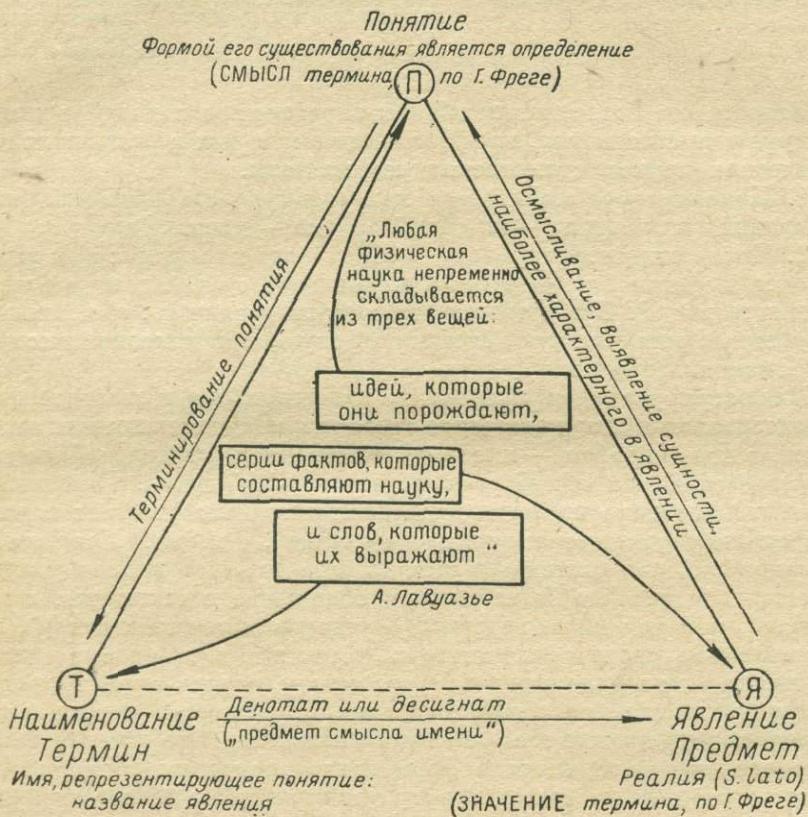
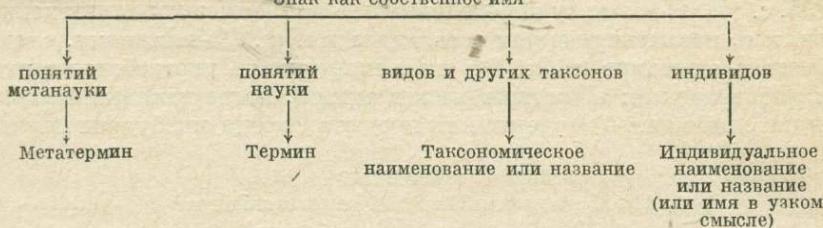


Рис. 4. Семантический треугольник [36].

понятием, является понятием о виде (классе в формальной логике) и в) понятия о вещи как индивиде. В первом случае имя формально называется термином и определяется как имя научного понятия, во втором — видовым именем, в третьем — индивидуальным. В связи с традицией естественных языков при переходе от формального представления об имени к именам видов и индивидов неживой или косной (по В. И. Вернадскому) природы говорят об их названиях или наименованиях, а не об их именах.

* В табл. 4 показано положение метатерминов в системе имен. См. с. 50.

Таблица 4



Изложенное позволяет подойти к определению понятий о номенклатуре и терминологии, представления о которых в различных геологических науках существенно неодинаковы.

1. Номенклатура понимается как совокупность названий (наименований) или лучше — в общей форме — имен.

2. Имена относятся к объектам различного характера: а) к видам и более высоким таксонам, б) к индивидам, в) к индивидам определенного вида *. Вследствие этого следует различать: а) номенклатуру видов (или видовую, систематическую, или таксономическую) и б) номенклатуру индивидов.

Иллюстрируем это примерами из палеонтологии и стратиграфии. В палеонтологии к номенклатуре относятся наименования или имена видов, в стратиграфии — индивидуальные имена стратиграфических подразделений как общей, так и региональной шкал. Гомологами видовых имен палеонтологии типа *Stringocephalus burtini* в стратиграфии являются термины типа ярус, отдел, система. Словосочетание «кембрийская система» в этом смысле отвечает индивиду определенного вида. Еще более сложно положение в тектонике: в ней имя является не только видовым (складчатость германотипная), но, как правило, родовым (складчатость, сброс и т. д.). Видовые и родовые имена в тектонике относятся к терминам, точнее, считаются ими. Неопределенность подобной ситуации, с которой сталкивается геолог, опасна прежде всего ее неосознанностью. Эта опасность особенно велика для учения о формациях, поскольку очень многие геологи традиционно связывают его с тектоникой, с палеогеографией и другими разделами геологии.

Развитие учения о формациях сопровождается стремительным словарным ростом в области терминологии и номенклатуры. В условиях дискуссионности основных понятий, неопределенности терминологии и отсутствия хотя бы неявно принятых правил номенклатуры словарный рост учения о формациях неконтролируем. Опыт составления раздела «Учение о геологических формациях» в новом издании «Геологического словаря» показал, что нельзя ограничить количество терминов и наименований видов формаций на основе предложения о необходимости борьбы с лишними терминами; не-

* Этот случай обычно не вызывающий затруднений в интерпретации имени, семантически вполне ясен.

обходимо указать критерии, по которым определяются ненужные термины. В такой ситуации ограничение их количества приводит не к улучшению терминологии, а к ее ухудшению. Распространенные термины беспредельно расширяются в своем содержании, вновь вводимые остаются в сравнительно мало известных работах; в том и другом случаях термины гибнут. В этом смысле попытки искусственно задержать рост количества терминов в развивающейся области знания, по-существу, основываются на предположении о возможности фиксировать результаты мышления вне форм языка.

Опыт развитых геологических наук — палеонтологии, минералогии, петрографии — показывает, что их теория как система фиксируемых в терминах основных понятий и правил вывода производных понятий направлена на решение следующих проблем:

- а) выделения различных видов объектов этих наук;
- б) группирования видов в надвидовые таксоны — роды, семейства . . . типы;
- в) описания соотношений индивидуальных тел, отождествляемых с тем или иным видом, в связи с решением различных научных и прикладных задач, прежде всего, стратиграфии, тектоники, минералогии, расшифровки геологической истории.

Решение первой проблемы является наиболее ответственным, ибо определяет результаты всех дальнейших исследований, основывающихся на объектах данного уровня организации. Терминологические и номенклатурные затруднения учения о формациях прежде всего отражаются в теоретических построениях, которые тормозятся представлениями об учении о формациях как синтезе достижений всех геологических наук. В разное время подобные представления развивались относительно геохимии и особенно геотектоники.

В пред- и послевоенные годы геотектоника достаточно прочно утвердилась во мнении многих геологов в качестве синтезирующей отрасли геологических знаний — своеобразной науки геологических наук. Уступив на некоторое время такое «лидерство» учению о формациях, геотектоника вновь утверждается в этом же положении, на этот раз в форме новой глобальной тектоники. Однако с течением времени приходит более реальная оценка возможностей любой отрасли знания и тогда вместо цели синтеза достижений, полученных в смежных науках (с которыми они, кстати, прекрасно спариваются и сами), формулируются цели анализа природных явлений собственными методами; как правило, за анализом становится возможным и синтез.

Требование синтеза геологических знаний находящимся в условиях становления учением о формациях тормозит его развитие, создавая иллюзию теоретического совершенства в виде той или иной комбинации заимствованных в разных разделах геологии понятий и отвлекая внимание и силы от необходимой разработки собственной системы понятий.

Построение собственной системы понятий различных геологических наук — палеонтологии, минералогии и петрографии — потреб-

бовало нескольких столетий, столь же длительное время развивались терминология и номенклатура этих наук.

Выше (с. 30) были приведены (согласно Г. Греческому) определения науки и ее предметных языков, метанауки и ее метаязыка, выражающего метапонятия, именами которых являются метатермины. Введение метапонятий существенно сокращает период построения теории учения о формациях. Предметный язык учения, выражающий его теорию, строится как самостоятельный, частный язык данной науки, область же его применимости и способ его построения определяются общенаучным — метанаучным — методом и излагается на метаязыке. Ограничение области применимости теории данной науки освобождает исследователей от преследования ложных целей и мобилизует их на достижение целей разумных.

Введение метатерминов — элемент, структура, вид, уровень организации — как имен метапонятий естествознания и отвечающих им математических понятий — элемент, структура, класс, иерархия структур, — по-видимому, более эффективно скажется на совершенствовании терминологии и номенклатуры учения о формациях, чем прямые запреты на ввод новых терминов и наименований. В частности, все предшествующее изложение не потребовало каких-либо новых терминов, хотя оно в предложенном виде охватило, по-видимому, наиболее существенные стороны теории учения о формациях в основной ее части, касающейся выделения видов формационных объектов.

Терминология учения о формациях представляет собой совокупность терминов, отображающих понятия о виде и более высоких таксонах формационных объектов, их признаках и процедурах выделения.

В предыдущем изложении использован термин «формация», что достигнуто ценой того или иного изменения содержания существующих понятий, связываемых с этим термином. Такое изменение вообще может быть оправдано тем, что этот основной термин формационного анализа, как об этом писал в свое время уже Ч. Лайель [121], а в последние годы Н. Б. Вассоевич [35], стал термином свободного пользования*.

Понятия учения о формациях получены путем содержательной интерпретации метапонятий применительно к объектам формационного уровня организации. Это обстоятельство позволяло до некоторого момента избегать постановки многочисленных вопросов, обычно возникающих у геолога, занимающегося изучением формаций. Сейчас следует ответить на первый из этих вопросов, а именно:

* В странах ангlosаксонских и романских языков термин «формация» вообще не может применяться для обозначений формационных подразделений, поскольку он означает *образование*. В американской геологии термин «формация» применяется для обозначения стратиграфических подразделений (типа свит), широко используемых в практике геологических исследований, и, по-видимому, использование этого термина не может быть изменено для обозначения формационных подразделений в их понимании советскими геологами.

являются ли формационные объекты парагенезисами горных пород одного или нескольких порядков? Ответ на этот вопрос может быть дан лишь из содержательных соображений.

В предыдущем изложении это обстоятельство, поскольку оно не влияло на логическую сторону проблемы, было оставлено без внимания; однако сейчас, поскольку приходится обратиться к содержательным аспектам учения о формациях, необходимо ввести соответствующие понятия и термины.

Н. С. Шатский и Н. П. Херасков наряду с формационными подразделениями — парагенезами горных пород — выделяли парагенезы породных ассоциаций или парагенетические группы внутри формаций, а также парагенезы формаций, иногда называемые формационными рядами.

Парагенезисы пород и формаций можно рассматривать как объекты формационного уровня организации вещества, находящиеся в соотношениях, аналогичных соотношениям атомов и молекул «химического» уровня организации. Парагенезисы пород и породных ассоциаций следует достаточно четко различать и давать им особые обозначения. Парагенезисы горных пород автор [69, 70, 73, 74] предложил обозначать термином *парагенерация*, если эти парагенезисы рассматриваются как геологическое тело, *парагенолитом с собственным наименованием* — поскольку данные парагенезисы характеризуются по их принадлежности определенному виду парагенераций, *парагенолитом* — поскольку они являются объектом определенного уровня организации.

Парагенезисы парагенезисов горных пород, т. е. парагенезисы парагенераций целесообразно обозначать предложенным Н. Б. Васиевичем [35] термином «геоформация». Термин «формация» целесообразно сохранить как термин наиболее широкого значения и применять его в тех случаях, когда речь идет об относительно общих проблемах учения или когда степень знаний относительно конкретных формационных подразделений определенных регионов не позволяет различать среди них парагенезисы слоев горных пород различных порядков.

Далее приведем более полные определения этих и близких к ним по значению терминов.

Парагенерация — геологическое тело, по набору видов слагающих его горных пород и виду отношений образуемых ими однородных тел (слоев, пластов, линз) отличное от смежных геологических тел. Термин может употребляться в наиболее широком диапазоне значений, особенно в тех случаях, когда видовая принадлежность парагенерации еще не определена или может быть опущена. Термин *парагенерация* образован от термина *парагенезис*. Парагенерации (не равносильны формациям) есть однородные ассоциации горных пород; формациями Н. П. Херасков называл также направленные серии горных пород. Парагенерации — парагенезисы горных пород, тогда как к формациям Н. С. Шатский и Н. П. Херасков относили и парагенезы парагенезов горных пород.

Во многих случаях парагенерации соответствуют формациям как парагенезам пород по Н. С. Шатскому и Н. П. Хераскову, что особенно характерно для работ Б. М. Келлера [89], С. В. Тихомирова [173] и других, «фациальным зонам» формаций по Н. М. Страхову [171], элементарным породным ассоциациям И. В. Хворовой [187, 189]. В других случаях парагенерации соответствуют лишь частям формаций, выделенным Н. С. Шатским, Н. П. Херасковым и другими.

На основе термина «парагенерация» образованы термины, обозначающие понятия об иерархическом (парагенолит), систематическом (парагенолит с собственным наименованием), индивидуальном обособлении тел парагенераций (парагенерация с собственным наименованием) и об эталоне их того или иного вида (парагенотип).

Парагенолит — элементарное парагенетическое сообщество тел горных пород. Термин употребляется для обозначения уровня организации вещества. Понятие о формационном подразделении в этом смысле Н. С. Шатским и Н. П. Херасковым не было введено в явной форме; однако неявно оно выражено в уже цитированных ранее словах: «Если минералы — парагенезы элементов, горные породы — парагенезы минералов, то геологические формации — парагенезы горных пород» [201, с. 53], вплотную подводящих к понятию о формации как о некотором уровне парагенезиса пород, следующем за парагенезисом минералов.

Парагенолит (*с собственным наименованием*) — статистически устойчивое и однородное парагенетическое сообщество тел горных пород, характеризующееся определенным набором видов горных пород его слагающих и их определенными отношениями, т. е. имеющее определенную структуру. Термин употребляется для обозначения вида парагенолита. Это определение очень близко к определению абстрактной формации как парагенеза пород по Н. С. Шатскому [201, 202] и Н. П. Хераскову [186], не включает, однако, в определяющем предложении таких терминов, как свита, фация, толща, относящихся к стратиграфическим и палеогеографическим понятиям различной широты содержания. Парагенолиты (*с собственным наименованием*) являются объектами исследований профессионального формациона-систематика; парагенолитам определенного вида отвечают определенные поля признакового систематического пространства.

Парагенерация (*с собственным наименованием*) — геологическое тело, представляющее собой статистически однородное сообщество тел (слоев, пластов, линз) определенных видов горных пород, находящихся в определенных структурных соотношениях. Парагенерация получает собственное наименование того парагенолита, с которым она отождествляется в систематическом отношении. Для этого необходимо провести полевые наблюдения и получить сведения о наборах видов горных пород и мощностях, образуемых ими слоев. В дальнейшем по этим сведениям определяется вид парагенерации и ее систематическое наименование. Выделение новых

видов парагенераций (новых парагенолитов с собственным наименованием) следует сопровождать указанием их голотипа или парагенотипа.

Парагенотипом того или иного парагенолита с собственным наименованием называется парагенерация, принадлежащая в систематическом отношении данному парагенолиту и избранная в качестве его эталона.

Парагенерации с собственным наименованием и парагенотипы как геологические тела [59] ограничены поверхностью, при переходе через которую теряют разрыв непрерывности или существенно меняются их систематические признаки [70, 145].

В некотором соответствии с содержанием понятия о парагенерации находится понятие о подформации (по Н. П. Хераскову [186]) и субформации (по Л. Б. Рухину [158]), рассматриваемой как часть формации.

Понятие о подформации примерно отвечает понятию о парагенерации, однако в отличие от последней, включает условие ситуационной позиции тела подформации, т. е. его принадлежность к телу определенной формации. Это затрудняет использование понятия о подформации, поскольку предполагает учет несистематических признаков формационных объектов. То же самое можно отнести к термину субформация.

В целом термин парагенерация более строго ограничен в своем содержании по сравнению с термином формация в тех случаях, когда последний дополнительно не определяется контекстом. Понятие о парагенерации примерно совпадает по определению с понятием об ассоциации осадочных пород по Дж. Л. Нилю [230] — sedimentary association, породной ассоциации по Н. С. Шатскому [202], элементарной породной ассоциации по И. В. Хворовой [187, 189], однако «пространность» последних терминов делает их неудобными в обращении.

Остановимся более подробно на термине «породная ассоциация» или «ассоциация горных пород» и связанных с ним терминах «фациальный ряд» и «фациальные сочетания».

Фациальные ряды и фациальные сочетания представляют собой (согласно Н. С. Шатскому) две основные естественные группы, объединяющие различные виды парагенетических ассоциаций горных пород, слагающих формации. Фациальные ряды — ряды одновозрастных горных пород членов формаций, фациально замещающих друг друга. Фациальные сочетания — совокупность горных пород членов формаций, связанных совместным нахождением. Породы, образующие фациальные сочетания, связаны (в отличие от пород, образующих фациальные ряды) только совместным присутствием в той или иной части формации, они могут не находиться в непосредственном соприкосновении друг с другом.

Фациальные ряды, по-видимому, соответствуют элементарным ячейкам парагенераций разного вида, фациально замещающих друг друга. Фациальные сочетания — это, вероятно, элементарные

ячейки парагенераций определенного вида, «искаженные» за счет выпадения некоторых составных элементов и включения в их состав элементов, принадлежащих элементарным ячейкам парагенераций другого вида. И фациальные сочетания, и фациальные ряды в реальности создаются при смешении геологических тел породных ассоциаций (парагенераций) разного вида.

Парагенезисы парагенераций в дальнейшем изложении называются *геоформациями*. Этот термин введен Н. Б. Вассоевичем в связи с неопределенностью термина формация. Н. Б. Вассоевич полагает, что *геоформации*, образовавшиеся в определенных геотектонических и климатических условиях следует называть *геогенерациями*. «Осадочная геогенерация — это, прежде всего, геологическая формация (геоформация), выделяемая по геотектоническим и палеоклиматическим признакам» [35, с. 71]. Предложение Н. Б. Вассоевича о введении терминов *геоформация* и *геогенерация* поддержано в той или иной мере рядом геологов, в том числе автором [70], Ю. А. Косыгиным [98] и другими. Геогенерации — это геоформации (парагенезисы парагенераций), образовавшиеся в определенной геотектонической и физико-географической обстановке в определенный период геисторического этапа. Геоформации и геогенерации объединяют несколько парагенераций или в простейшем случае соответствуют одной парагенерации, являющейся их элементарной ячейкой.

Не вполне ясна область применения понятия осадочной аффилиации; понятие можно использовать как в содержании, отвечающем понятию о типоморфной парагенерации, так и типоморфной геоформации, т. е. геогенерации.

Осадочная аффилиация — *sedimentary affiliation* — (по Дж. Л. Робертсу [237]) — есть сообщество определенных типов карбонатных и обломочных пород с широко варьирующим размером зерен и отложившихся в общих единых условиях осадконакопления. В целом понятие о геогенерации и об осадочной аффилиации приложимо к ограниченной группе видов формационных объектов, типоморфных для определенных условий образования.

Среди терминов, обозначающих те или иные ассоциации формаций, наиболее широко распространены «ряд формаций» или «формационный ряд», «группа формаций», «парагенезис формаций».

Парагенезис формаций (геоформаций) — это иерархическая категория, требующая довольно значительного запаса сведений по систематике парагенераций и геоформаций. Этих сведений еще почти нет.

Формационный ряд — категория ситуационная, т. е. описывающая соотношения тел геоформаций, безотносительно к условию трансляции их тел как элементарных ячеек следующего уровня.

Целесообразность введения новых терминов в учение о формациях оспаривается И. В. Крутем [108]. Между тем, как и во всякой другой развивающейся области знаний, особенно на начальных этапах ее развития, в учении о формациях неизбежно усовершенствование

понятийной базы и выделение новых формационных видов. Все это и находит свое отражение в стремительном словарном росте в области как терминологии, так и номенклатуры учения о формациях.

Введение новых терминов в данном случае оправдывается тем обстоятельством, что парагенерации являются представителями лишь одного из двух уровней организации вещества, следующего за породой.

Возражение И. В. Крутя [108], а также более ранние возражения И. В. Белова и Г. Д. Афанасьева против введения различных терминов для обозначения формационных подразделений как индивидов и видов неприемлемы не только в формальном, но и в содержательном аспектах. В формальном аспекте понятие о виде формационных подразделений основано на отношении их систематических признаков, т. е. связано с категориями свойств и отношений, тогда как понятие о индивиде связано с категорией вещи [176]. В содержательном аспекте терминологическое различие парагенитотов и парагенераций, имеющих собственное наименование (абстрактная формация и конкретная формация), особенно важно в условиях становления понятийной базы учения о формациях.

И. В. Крутъ полагает, что в более развитых учениях о минералах и горных породах нет деления понятия на два класса (абстрактный и конкретный), на понятие об их виде и индивиде. Однако интуитивная ясность терминов «минерал» и «горная порода», возникшая благодаря длительной практике оперирования с ними в различных ситуациях, сразу же оказывается недостаточной, как только приходится более строго определить их смысловую нагрузку. Так, исследования системы понятий, связанных с изучением минералов, проведенные Д. П. Григорьевым [62], А. С. Поваренных [138] и другими, сразу же привели к необходимости введения терминов «минеральный вид», «минеральная разновидность», «минеральный индивид» и т. д.

Усовершенствовать терминологию формационных подразделений можно путем более полного ее приближения к уже существующим различным представлениям о предмете, содержании и задачах учения о формациях.

Термины, связанные с использованием формационных объектов при решении различных геологических задач, принадлежат скорее соответствующим разделам геологии — стратиграфии, тектонике, минерагении, палеогеографии, исторической геологии, учению о генетических типах, учению о фациях, чем учению о формациях. Дополнительные классификации формационных объектов, систематизированные по их вещественному составу и структуре, позволяют ввести достаточно устоявшуюся систему понятий и соответствующих им терминов, необходимость которых диктуется широким применением изучения формаций в самых разнообразных целях.

Среди геологических формаций можно различать осадочные магматические, метаморфические и другие — по их генезису; коробразующие и акцессорные — по их распространению; рудные,

рудоносные и безрудные — по признакам рудоносности; типоморфные (для определенных условий образования) и нетипоморфные; руководящие для определенного интервала разреза и т. д. Это более подробно рассмотрено в гл. 4.

Номенклатура формационных подразделений представляет собой совокупность их таксономических имен, и в этом отношении она гомологична номенклатуре минералогии, петрографии и палеонтологии. Кроме таксономического имени, формационное подразделение может иметь и индивидуальное.

Уже сейчас виды парагенераций и геоформаций могут обозначаться с использованием немногих правил, опирающихся на некоторые традиции.

А. Правило приоритета. Согласно ему опубликованное наименование и описание вида парагенераций или геоформаций следует применять при обнаружении формационных объектов данного вида.

Б. Формационная номенклатура независима от всех других — географической, геологической, стратиграфической, палеогеографической, минералогической, биологической и др. Формационное наименование не может быть отвергнуто вследствие его тождественности наименованию в одной из перечисленных наук. Так, названия «московская», «сибирская» могут быть использованы для обозначения вида парагенераций или геоформаций, несмотря на существование Московской синеклизы и Сибирской платформы.

В. При выделении нового вида — парагенерации или геоформации — следует указывать их типичный индивид, соответственно парагенотип или голотип данного вида; т. е. наименования парагенерации и геоформации должны быть основаны на их эталонах — парагенотипе или голотипе.

Следует особо отметить обстоятельство, связанное с введением эталонов — голотипов — как хранителей вводимых видовых названий. Эту роль голотипов для систематики и номенклатуры на примере палеонтологических объектов очень хорошо показал Б. К. Лихарев: «Установление голотипа... не имеет ничего общего с созданием новых видов или вообще с определением форм. Единственное назначение выбора голотипа заключается в том, чтобы закрепить данное новое видовое название за какой-то конкретной особью вида. Если в дальнейшем другой исследователь придет к заключению, что первичный материал, отнесенный к одному виду его автором, является на самом деле разнородным и содержащим и другие виды (или вид), он обязан сохранить старое название вида за той группой особей, которая заключает установленный голотип» [117, с. 352].

Указание голотипа вновь выделяемых видов парагенераций или геоформаций позволяет параллельно с ходом разработки их систематики эффективно закреплять видовые названия за каким-то вполне определенным экземпляром (одним из их индивидуальных тел), не подменяя в то же время понятия вида понятием голотипа. Введение голотипов позволяет постоянно совершенствовать систематику

видов, а применительно к учению о формациях является предпосылкой создания в недалеком будущем ее первого варианта.

Г. При пересмотре систематических признаков и выделении новых таксонов в эталонных разрезах следует сохранить за одним из выделяемых таксонов уже существующее наименование.

Д. Необходимо приводить достаточно ясное описание выделяемых видов, отражающее видовой состав горных пород, слагающих парагенотипы и голотипы геоформаций, характер сочетаний образуемых ими монопородных тел; необходимо указывать тела горных пород, считающихся включениями и не использующиеся в качестве систематических при выделении данного вида.

В целом, все эти предварительно намечаемые правила * имеют целью стабилизацию существующих наименований формационных объектов в их определенном систематическом значении.

Среди существующих наименований видов формационных объектов различаются: а) исторически сложившиеся, б) образованные от географического названия типичных или впервые описанных разрезов; в) производные от этнографических наименований, известных в типической местности; г) производные от наименований горных пород или полезных ископаемых; д) по наименованию тектонических, палеогеографических или палеоклиматических условий образования; е) прочие.

Наиболее бесспорны исторически сложившиеся наименования типа флиш и моласса; однако они принадлежат скорее группам молассовых и флишевых геоформаций, может быть их родам или семействам. Это заставляет поставить вопрос о целесообразности биномиальных наименований.

Наименования географического и реже этнографического происхождения наиболее уверенно входят в формационную номенклатуру. Наименование принимается либо в форме *кремнисто-сланцевая формация «устепенского (или сакмарского) типа»*, либо в форме *кремнисто-сланцевая устепенская формация* [201]. Эти зачатки биномиальной номенклатуры следует поддержать и развить.

В дальнейшем наименования парагенераций и геоформаций необходимо образовывать так, чтобы «родовое» имя было либо исторически сложившимся, либо состояло из названия горной породы с некоторым суффиксом, либо из сокращенных наименований горных пород, образующих слой элементарной ячейки (патрические члены, по Н. С. Шатскому), а видовое «имя» отражало географическое положение парагенотипа.

Биномиальные наименования можно было бы латинизировать, что дает большое преимущество, поскольку латинский язык во многом сохраняет позиции международного языка науки в тех случаях, когда речь идет о систематике видов. Роль географических названий

* Следует иметь в виду, что эти правила ни в коем случае не могут быть распространены на термины, поскольку их возникновение и стабилизация управляются значительно более сложными обстоятельствами.

парагенераций и геоформаций, по-видимому, будет наиболее значительна и в дальнейшем, поскольку стихийный процесс развития номенклатуры идет именно в этом направлении.

Совершенно бесперспективны полиноминальные наименования типа *морская красноцветная терригенно-карбонатная или континентальная угленосная лептотхлоритовая*. Эти наименования, по существу, являются сокращенными описаниями (значениями) формаций, а не их знаками. Стремление давать такие наименования означает попытку придать им две или более функций: обозначения, описания (значение диагноза) и нередко объяснения способа образования.

Недопустимо включать в наименование видов парагенераций и геоформаций обозначение их генезиса, поскольку за исключением типоморфных видов они могут иметь различное происхождение, будучи сходными по наборам горных пород и структуре. Кроме того, представления о генезисе объектов данного вида могут претерпеть изменение не только в отношении объектов, обнаруженных вне типической местности, но и в ее пределах, и даже в отношении эталонных объектов. Так, наименование минерала «пироксен» (чуждый огню) появилось в период полемики нептунистов и плутонистов и по замыслу должно было увековечить справедливость довода нептунистов в пользу водного происхождения минералов и горных пород на примере минералов этого вида, впервые описанных на сложенных базальтами островах в океане.

В тех же случаях, когда определение обстановки или условий образования остается справедливым, оно, как правило, сделано в столь широких пределах (морская, лагунная, континентальная, геосинклинальная, платформенная), что становится неинформативным. Таким образом, не следует включать в наименования видов указания генезиса относящихся к ним индивидуальных формационных тел, учитывая либо возможность их конвергенции, либо ошибки определения генезиса, либо вследствие того, что это просто излишне.

Напомним слова А. П. Карпинского относительно номенклатуры горных пород: «Горные породы, тождественные минералогически (химически) и по структуре, должны рассматриваться как один вид и иметь одно название, какими бы ни были их способы залегания, возраст и генетическая связь с другими породами... Введение номенклатуры, подобной той, какая применяется для организмов, не только желательно, но и необходимо» [86, с. 438]. Рекомендации А. П. Карпинского сохраняют свое значение для развития номенклатуры парагенераций и геоформаций.

СИСТЕМАТИКА СТРУКТУР ПАРАГЕНЕРАЦИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЯЧЕЕК

Только научным изучением симметрий можно выявить, какие геометрические пространственные состояния могут на Земле встречаться.

В. И. Вернадский

Систематика структур объектов любого уровня организации вещества состоит из выделения видов и других таксономических рангов структур на основе их систематического описания и построения системы видов, родов, семейств, классов и типов структур.

При систематическом и классификационном описании видов структур формаций, парагенераций и их элементарных ячеек последовательно возникают следующие задачи.

1. Описание геологического тела «изнутри» как некоторого сложного объекта. Этот этап является собственно систематическим. При изучении структуры тела «изнутри» определяют отношение порядка (упорядоченности) элементов, их связи, обычно выраженные бинарными отношениями. Связи элементов тела проявляются в топологических особенностях их границ (для формаций и парагенераций можно воспользоваться понятиями, гомологичными понятиям об идио- и ксеноморфизме минералов в петрографии, и выделять поли-, изо- и энантиоморфные разности [32, 156]). Далее в теле устанавливают направления векторов упорядоченности, центры, оси и плоскости симметрии, определяют градиенты структурной анизотропии по каждому вектору и выявляют свойства границы тела «изнутри». Тем самым составляется полное описание структуры индивида, что позволяет идентифицировать ее либо с уже описанным видом структуры, либо выделить новый структурный вид. При этом нас не интересует ни ориентировка тела в пространстве, ни наличие вторичных наложенных деформаций, ни взаимоотношения с вмещающей средой.

2. Описание геологического тела в «пограничном» пространстве как некоторого целостного объекта. На данном этапе устанавливают такие важные геометрические характеристики тела, как его форма и топологические свойства границ: их идио- или ксеноморфизм,

полярность или симметричность, одно- или двусторонность и т. д. Тела, ограниченные полярными границами, располагаются в топологически открытом пространстве, ограниченные же симметричными границами — в замкнутом. Сравнивая симметрии структуры и формы, определяют недостающие элементы симметрии структуры по сравнению с формой, т. е. диссимметрию структуры. Форма тела есть результат пересечения структур объекта и вмещающей среды, поэтому она является необходимым звеном для уяснения положения тела, т. е. его взаимоотношений с вмещающей средой. Построенную таким образом пространственную модель тела с присущей ему структурой, формой и их симметрией будем называть фигурой. Фигура есть уже не содержательная модель геологического тела, описываемая языком геологии, а ее математическая абстракция. Пространственную модель элементарной ячейки парагенерации или формации будем называть элементарной фигурой, модель парагенерации или формации — фигурой парагенерации или формации.

3. Описание геологического тела «извне» как элемента более сложного объекта, который в частном случае может представлять собой объект более высокого уровня организации. Если мы рассматриваем при этом положение тела в некотором упорядоченном ряду других геологических тел и выявляем связи этих тел, направление векторов упорядоченности и симметрию этой более сложной системы, то решаемая задача представляет собой описание вида структуры объекта более высокого уровня организации и тем самым является систематической. Если же нас интересует ориентировка тела в пространстве относительно фиксированной системы отсчета и масштабы тела, то эта задача является классификационной и ее надо решать дополнительно.

Основные аспекты структуры геологических объектов

Две пары альтернативных понятий: однородность — неоднородность, изотропность — анизотропность — обладают большой общностью, поскольку отражают фундаментальные свойства пространства и времени, различные виды их симметрии и асимметрии.

Понятие об однородности определяет неотличимость, эквивалентность любых двух точек или элементарных объемов пространства геологических (и других) объектов в заданном отношении. Соответственно неоднородность объекта подразумевает различие, нетождественность любых двух точек или элементарных объемов пространства геологических (и других) объектов в заданном отношении. В зависимости от свойства признака, в отношении которого рассматривается данный объект, последний может оказаться как однородным, так и неоднородным. Далее нас интересуют не любые, а только систематические, т. е. наиболее мощные признаки геологических объектов [137, 151, 197].

Основные виды и свойства границ геологических объектов

Согласно Ю. А. Косыгину и др. [98, 121], границы геологических объектов подразделяются на:

- 1) резкостные, обусловленные резким изменением свойств вещества или любой производной;
- 2) дисьюнктивные, связанные с изменением свойств самого пространства — размерности, связности, непрерывности и т. д.;
- 3) условные, определяемые по изменению значений свойств вещества в пространстве, например по равным содержаниям полезного компонента в рудном теле и т. д.;
- 4) произвольные, определяемые требованиями практики, например участок строительства плотины, окрестность железнодорожного полотна и т. д.

Далее рассмотрим границы первых трех классов, опираясь при их выделении на видовые признаки или на их производные.

Определим границу как область пространства, в которой резко меняются свойства вещества или их производные. Будем различать свойства границы, вытекающие из структуры ее ближайшей окрестности, и собственно топологические (геометрические) свойства. В первом случае свойство границы является предельным значением свойств разделенных ею пространств, оно может быть описано изменением свойств вещества вдоль определенного направления, пересекающего границу. Это направление бывает прямолинейным или криволинейным, ортогональным или кососекущим по отношению к границе. Во втором случае исследуют топологию границы, определяют способы ее функционального или геометрического описания.

По структуре окрестности границы подразделяются на несколько групп в зависимости от непрерывного или дискретного изменения значений свойства вещества в пределах границы, от монотонности убывания (или возрастания) значений свойства по разные стороны от границы или от экстремального изменения значений свойства (возрастание сменяется убыванием или наоборот) в пределах границы (табл. 5). В соответствии с различными вариантами изменения значений свойства вещества и его производных границы подразделяют на полярные и симметричные, а по размерности — на нуль-мерные (точечные), одно- (линейные) и двумерные (площадные).

Полярные границы имеют две физически неравноправные стороны. Свойство полярности заключается в том, что никаким симметричным преобразованием из группы симметрии, присущей данному объекту, один элемент нельзя перевести в другой относительно полярной точки, линии или поверхности; таким образом, границы с полярными свойствами есть поверхности асимметрии.

Симметричные границы имеют физически равноправные стороны. Объекты, разделенные границей симметрии могут быть совмещены друг с другом определенным симметричным преобразованием отно-

Таблица 5

**Характер одно- и двумерных границ
в зависимости от структуры ближайшей окрестности**

Функции изменения значений свойств вещества	Границы, выделяемые по изменению значений свойства вещества и его производных	
	Дискретное	Непрерывное
Монотонно убывающая (возрастающая)	<p>Функция ступенчатая</p> <p>Границы полярные. Значения свойства вещества меняются на конечную величину, скорость изменения свойства вещества в пределах элементов линейная (равна нулю или конечной величине), в пределах границы — равна бесконечности</p>	<p>Функция непрерывная</p> <p>Границы полярные. Скорость изменения свойства вещества меняется нелинейно, принимая минимальные значения в пределах элементов и максимальные — в пределах границ. Значения свойства вещества меняются нелинейно</p>
	Функция кусочно-непрерывная	
	<p>Границы полярные. Значения свойства вещества в пределах границ меняются на конечную величину, в пределах элементов — непрерывно и нелинейно. Скорость изменения свойства вещества в пределах элементов меняется непрерывно и нелинейно, в пределах границ — равна бесконечности</p>	
С экстремальным значением (возрастание сменяется убыванием или наоборот)	<p>Границы — линии или поверхности зеркальной, гиперболической или инверсионной симметрии. Значение свойства вещества минимально или максимально. Скорость изменения свойства равна нулю</p> <p>По обе стороны от границы значения свойства остаются постоянными</p>	
	<p>По обе стороны от границы значение свойства непрерывно возрастает (убывает). Производная от скорости меняет знак</p>	
С разрывом непрерывности и монотонности	<p>Границы — линии и поверхности трансляционной симметрии. Значения свойства вещества по обе стороны от границы выражаются монотонно убывающими (возрастающими) функциями, в пределах границы меняются на конечную величину. Скорость изменения свойства на границе равна бесконечности</p>	

сительно точки (центра), линии или поверхности симметрии: трансляционным, зеркальным, инверсионным, гиперболическим и др.

Рассмотрим свойства границ, разделяющих элементы внутри элементарной ячейки и ограничивающих ее от внешней среды. Эти границы относятся к резкостным, обусловленным изменением свойств вещества и его производных. В трансгрессивном грануло-

метрическом ритме (элементы ритма: конгломерат — гравелит — песчаник — алевролит — аргиллит) элементы упорядочены по размеру обломков. Если рассматривать элементы как некоторые тела, не разлагаемые на свойства, то каждому элементу следует приписать одно постоянное значение зернистости. Тогда по мощности значение свойства внутри элементов остается постоянным, скорость изменения свойства равна нулю.

На границе элементов значение свойства меняется скачкообразно на конечную величину, а скорость изменения свойства в пределах трансгрессивного ритма выражается ступенчатой функцией. На границе с вышележащим ритмом трансгрессивного строения значение свойства скачкообразно увеличивается до величины исходного (конгломерат), что нарушает упорядоченность, характерную для нижележащего ритма. Далее по мощности начинается новый упорядоченный ряд с уменьшением значений свойства снизу вверх. Границы, разделяющие элементы внутри ритма, полярны, т. е. имеют физически неправильные стороны. Границы между ритмами являются поверхностями трансляционной симметрии; по достижении этой границы нижний ритм «перескакивает» выше. Граница между трансгрессивным и регressive ритмами проводится в центре тех элементов, в которых значение свойства достигает максимума и минимума. Эти границы являются поверхностями зеркальной симметрии.

В жиле выполнения кроме плоскости зеркальной симметрии, проходящей в ее центре, поверхностями гиперболической симметрии являются ее зальбанды. В этом случае внешняя граница жилы «растягивается» в бесконечности. В конических, цилиндрических, полусферических и сферических формах, свойственных эндогенным объектам, внешняя поверхность элементарной ячейки нередко является поверхностью инверсионной симметрии [30, 31].

Кроме поверхностей симметрии, ограничивающих элементарную ячейку извне, существует собственная группа симметрии, элементами которой являются центр инверсионной симметрии, оси вращения и плоскости зеркального отражения. Эти элементы также можно рассматривать как внутренние границы объекта: нуль-мерные (точки), одно- (оси) и двумерные (плоскости).

Таким образом, границей элементарной ячейки конической или цилиндрической формы является не только двумерная криволинейная поверхность, но и центральная ось вращения, границей шара — не только сфера, но его центр и бесконечное множество осей вращения и плоскостей зеркального отражения.

Систематика структур и форм элементарных ячеек парагенераций

На первом этапе построения систематики структур и форм элементарных ячеек парагенераций создаются пространственные модели изучаемых геологических тел как результат содержательного ана-

лиза и синтеза в рамках учения о парагенерациях. На втором этапе формально представляют пространственную модель в виде идеальной геометрической фигуры и определяют ее таксономическое положение. Ниже речь пойдет именно о втором этапе систематических построений.

В систематике элементарных фигур выделяются несколько таксономических рангов: типы, подтипы, ряды, отряды, классы, подклассы, семейства, подсемейства, роды и виды. Каждому таксону определенного ранга соответствует некоторое множество элементарных фигур, эквивалентных с точностью до некоторой группы преобразований, которая оставляет неизменными определенные свойства фигур. Иерархия таксономических единиц отвечает некоторая иерархия их геометрических свойств и групп преобразований.

Кратко охарактеризуем основные таксономические ранги и свойства элементарных фигур, которые не меняются при геометрических преобразованиях.

Типы элементарных фигур выделяются по размерности пространства элементарных фигур. Размерность является важнейшим топологическим свойством фигур, которое сохраняется при непрерывных гомеоморфных преобразованиях пространства фигур. Переход от фигуры одной размерности к фигуре с другой размерностью при непрерывных преобразованиях, согласно теореме Л. Брауэра, невозможен. При гомеоморфных преобразованиях эквивалентны фигуры с различными формой, размерами, углами между направлениями, криволинейными и прямолинейными поверхностями и линиями.

Количество типов элементарных фигур, исходя из содержательных соображений, ограничивается нуль-мерными, одно-, дву- и трехмерными.

Подтипы элементарных фигур выделяются по порядку связности фигур: односвязные, двусвязные, многосвязные, несвязные. В каждом типе, кроме нуль-мерного, выделяется несколько подтипов. Связность фигур характеризует непрерывность. Это свойство сохраняется при гомеоморфных преобразованиях пространства и является одним из главных топологических свойств фигур. Примером односвязных форм служит непрерывный отрезок, круг, шар, двусвязных — окружность, кольцо, шаровой слой, тор. Связности противостоят несвязность, прерывность фигуры. Несвязность может быть первичной и вторичной. Вторичная несвязность возникает после формирования фигуры и определяется изменением свойств пространства: разрывом непрерывности пространства и относительным перемещением частей фигуры по разрыву (разлому, сбросу, сдвигу и т. д.). Она может быть ликвидирована путем обратных преобразований и соединения смешанных частей фигуры в единое целое. Первичная несвязность возникает тогда, когда геологическое пространство в момент формирования фигуры является топологически дискретным, например при образовании метасоматитов, в которых гнезда с новообразованными минеральными парагенезисами пространственно разобщены, а сами парагенезисы, несмотря на разобщенность, объ-

единены зональностью в элементарную ячейку. Ниже рассматриваются в основном два подтипа каждого типа — одно- и двусвязные фигуры, причем двусвязные упоминаются бегло в виде примеров, особенно для дву- и трехмерных фигур.

Ряды элементарных фигур выделяются по соотношению количества осей анизотропии, обладающих симметрией полярного тензора или полярного вектора. В отличие от типов и подтипов, в которых фигуры выделяются по свойствам размерности и непрерывности пространства, ряды выделяются по структурным свойствам пространства, а именно: симметрии и асимметрии. Количество рядов различно в пределах каждого типа.

Отряды элементарных фигур выделяются по свойству ориентируемости фигур, которое также является важным топологическим свойством, характеризующим структуру пространства, при этом принимаются во внимание сочетания направлений полярных векторов вдоль осей анизотропии фигур. Количество отрядов в пределах каждого ряда могут совпадать или различаться. Ориентируемость фигуры связана с выделением направлений упорядоченности в пространстве, которой придается абсолютное значение. Абсолютность направления упорядоченности связана с возможностью определения меры структурной сложности или энтропичности элементов в упорядоченном ряду. Ориентируемость характеризует также абсолютное различие между правым и левым в связи с вращением (аксиальностью векторов и тензоров), но систематика элементарных фигур по этому свойству лишь намечена и будет опубликована дополнительно.

Из всех возможных отрядов в дальнейшем рассмотрен только один — с направлением полярных векторов от центра анизотропии к периферии фигуры; эта систематика полностью применима и к другому отряду — с направлением полярных векторов от периферии к центру анизотропии фигур. Систематика других отрядов будет рассмотрена дополнительно.

Классы элементарных фигур выделяются в отличие от отрядов и рядов по метрическим свойствам пространства. Метрические свойства существенно различаются для фигур, эквивалентных с точностью до аффинных (родственные), гомотетичных (подобные) и евклидовых (движения) групп преобразований.

Как известно, аффинная группа включает в себя в виде подгруппы гомотетичные преобразования (преобразования подобия), а последние содержат в себе евклидовы преобразования.

К собственно аффинным преобразованиям, которые будут рассмотрены ниже, относятся сжатие (растяжение) относительно прямой для одно- и двумерных фигур и относительно плоскости для трехмерных фигур и сдвиг. При каждом преобразовании сохраняются различные свойства фигур, соответственно выделяются классы.

Сжатие, растяжение и сдвиг изоморфны тангенциальным преобразованиям земной коры, в силу чего возникающие при этом фигуры элементарных ячеек парагенераций естественно описывать

в рамках, понятиях и преобразованиях аффинной геометрии. Аффинным преобразованиям отвечают на уровне содержательных представлений не только динамические преобразования геологического пространства, выражаемые реальными сжатием, растяжением и сдвигом, но и статические состояния пространства, анизотропного по разным направлениям. Эту двойственность следует различать и оговаривать, чтобы избежать ошибок.

Классы фигур с евклидовыми свойствами целесообразно выделять по отношениям модулей полярных векторов (равенство, неравенство модулей). В пределах классов можно наметить подклассы по порядку модулей векторов.

Ниже подробно рассмотрены в основном классы фигур с евклидовыми свойствами и менее детально — с гомотетичными и аффинными.

Семейства элементарных фигур выделяются при построении матрицы, в которой столбцы соответствуют классам, а строчки — рядам (отрядам). Каждой клетке такой матрицы отвечает семейство фигур, выделяемое одновременно по структурным и метрическим свойствам пространства. Семейства подразделяются на подсемейства, в зависимости от величины отношения модулей полярных векторов и полярных тензоров.

Роды элементарных фигур выделяются по симметрии структуры и формы элементарной фигуры.

Виды элементарных фигур выделяются по количеству элементов (границ элементов), составляющих фигуру. Различаются 1, 2, 3, ..., n -элементные виды элементарных фигур.

Одномерные фигуры

Одномерные элементарные фигуры (линейные, с нулевой толщиной) характеризуются гораздо большим разнообразием таксономических рангов (табл. 6). По связности они разделяются на подтипы, из которых ниже рассматриваются подтипы одно- и двусвязных фигур. Прерывные (несвязные) фигуры не рассматриваются.

Подтип односвязных фигур. К нему относятся незамкнутые и непересекающиеся линейные фигуры, прямолинейные и криволинейные, конечные и бесконечные: полярный вектор, полярный тензор, векторные гипербола и парабола, синусоида, затухающая синусоида.

Подтип односвязных фигур подразделяется на ряды, состоящие из одного полярного вектора (I) или одного полярного тензора (II).

Ряд I. Полярный вектор представляет собой фигуру с предельной упорядоченностью (асимметрией). Пусть полярный вектор имеет окрестность в виде цилиндра или однополостного конуса. Тогда симметрия данной фигуры есть симметрия кругового конуса. Если цилиндрической или конической окрестности придать вращение вокруг вектора, как оси симметрии, то такой вектор называется аксиальным и имеет симметрию оси вращения бесконечного порядка.

Таблица 6

Систематика видов структур и форм одномерных элементарных фигур

название	Фигуры		
	с евклидовыми свойствами, группы движений и инверсионных преобразований	с аффинными свойствами	
Полярный вектор		L_1	
Полярный тензор		c	
Инверсионный тензор	$l^2 = l_1 \cdot L_1$		то же
Полярно-инверсионный тензор	$l^2 = l_1 \cdot L_1$		то же
Сечения конической поверхности	$\infty L_2 c$	Гомотетия	Сжатие
Окружность			
Эллипс			
Парарабола	L_2		
Гипербола	L_2		
Бивектор	L_2		
Многоугольник	$3L_2$		
Правильный треугольник	$3L_2$		L_1
Квадрат	$4L_2 c$		
Правильный шестиугольник	$6L_2 c$		$2L_2 c$
Правильный n-угольник (n-четное)	$nL_2 c$		$2L_2 c$

Плоскости симметрии вокруг вектора в данном случае вырождаются из-за закрученности пространства.

Первому ряду отвечает лишь один отряд, поскольку прямое и обратное направление вектора безотносительно к окружающему пространству или отсутствующим элементам симметрии неразличимы.

Выделяются два класса аффинных (и гомотетичных) векторов разной длины, эквивалентных относительно сжатия (растяжения) и сдвига с коэффициентом k , и класс евклидовых с фиксированным модулем вектора.

Можно рассматривать криволинейные вектора — одну ветвь параболы, гиперболы, синусоиду, затухающую синусоиду, которые также не имеют элементов симметрии и лежат в одной плоскости. В пространстве синусоиде отвечает винтовая линия с равным шагом, а затухающей синусоиде — пространственная спираль. Первая линия лежит на поверхности кругового цилиндра, вторая — на поверхности кругового конуса (класс фигур с евклидовыми свойствами). Подвергнув эти фигуры аффинным или гомотетичным преобразованиям, получим аффинные и гомотетичные классы фигур.

Для неколлинеарных векторов с упорядоченно меняющейся кривизной по направлению векторов выделяются два отряда: вектор направлен в сторону уменьшения кривизны или в сторону ее увеличения.

Фигуры с симметрией полярного вектора отвечают моделям элементарных ячеек парагенераций — сечениям даек и жил, выходящих из центра, дневной поверхностью, линейным лавовым потоком, отложениям каньонов, окраинам параболических и гиперболических дельт, меандрирующих русел.

Ряд II. Фигура, составленная двумя коллинеарными векторами с равными модулями, выходящими из одной точки в разные стороны, есть полярный тензор второго ранга, обладающий центром симметрии вращения второго порядка. По ориентировке компонент полярного тензора выделяются 3 отряда с направлением векторов: а) от центра к периферии, б) от периферии к центру, в) один — от периферии к центру, другой — от центра к периферии. Последний отряд может быть рассмотрен как трансляционно-симметричная фигура парагенерации с величиной переноса, равной модулю полярного вектора. В виде полярного тензора реализуются фигуры элементарных ячеек, моделируемые как линии пересечения плоскости рудной жилы и дневной поверхности, когда центр симметрии зональности жилы в плане совпадает с ее геометрическим центром.

Пусть конец полярного вектора есть центр инверсионной симметрии, относительно которой каждой точке вектора отвечает точка на направлении вектора, лежащая по другую сторону центра инверсионной симметрии.

Если модуль вектора имеет длину l , расстояние от начала вектора до некоторой его точки l_1 , то расстояние L_1 от начала вектора до симметричной точки на его продолжении вычисляется из формулы

$l^2 = l_1 L_1$, которая характеризует инверсионную симметрию. Последняя есть дробно-рациональное преобразование и не является собственно евклидовым, но часто встречается у различных фигур с евклидовыми группами симметрии. Вектор, к которому применено инверсионное преобразование, называется инверсионным тензором.

Если концы «полярного» тензора есть центры инверсионной симметрии, то у тензора один центр зеркальной и два инверсионной симметрии и тогда его можно назвать полярно-инверсионным. Неколлинеарные одномерные фигуры: парабола, гипербола и бивектор — реализуются при сечении двумерной конической и цилиндрической поверхности различными поверхностями (эрэзионным срезом, несогласием, границами оболочек, палеогидрогеологическими экранами и т. д.). Таковы, например, сечения конической дайки какими-либо поверхностями в том случае, если при построении модели нас не интересует ее толщина. Для криволинейных фигур также выделяются два отряда с прямыми и обратными относительно центра анизотропии направлением криволинейных векторов.

Подтип двусвязных фигур. К нему относятся замкнутые непересекающиеся линейные фигуры — окружность, эллипс и вписанные в них правильные и неправильные многоугольники. Они разделяются на классы евклидовых, гомотетичных и аффинных фигур, которые относятся к одному ряду и отряду.

В случае окружности, принадлежащей классу евклидовых фигур, симметрия фигуры определяется наличием осей зеркальной симметрии L_2 и центров вращения C_∞ и инверсионной симметрии (*СИ*) — $\infty L_2 C_\infty$ СИ. Линии зеркальной симметрии в данном случае есть линии пересечения плоскости, в которой лежит окружность, с плоскостями зеркальной симметрии, проходящими через ось поверхности конуса или цилиндра, рассеченного плоскостью перпендикулярно к оси вращения. В сечении поверхности конуса плоскостью, наклонной к оси вращения, образуется эллипс, относимый к классу аффинных фигур. Эллипс из евклидовых элементов симметрии сохраняет лишь линию зеркальной симметрии.

В сечении поверхности цилиндра плоскостью, наклонной к оси, имеем эллипс, центр анизотропии которого совпадает с центром симметрии эллипса. Характерна группа симметрии ромба. Для окружности и эллипса несвойственна упорядоченность и ориентированность. Кроме гладких замкнутых одномерных фигур выделяются гомеоморфные многоугольные фигуры: треугольники, квадраты, шестиугольники, n -угольники. Если они вписаны в окружность, то обычно это правильные, если в эллипс — неправильные многоугольники, принадлежащие соответственно классам евклидовых и аффинных фигур.

Двумерные фигуры

Двумерные (площадные) фигуры как модели элементарных ячеек парагенераций постоянно находятся в центре внимания геологов, составляющих геологические карты — двумерные планы современ-

ного эрозионного среза. Эти карты являются произвольными сечениями трехмерных фигур элементарных ячеек. Элементарные ячейки представляются в виде двумерных фигур, когда две оси тела намного превосходят по величине третью, что имеет место для осадочных ритмов, силлов, стратифицированных интрузий, стратиграфических рудных тел (сингенетических и эпигенетических), даек и рудных жил.

По связности двумерные фигуры разделяются на одно- (круг, многоугольник и т. д.) и двусвязные (кольцо). Ниже рассматривается лишь подтип односвязных фигур. Он подразделяется по сочетанию тензоров T и векторов B на ряды: I — $2T$, II — $T + B$, III — $2B$ (табл. 7).

Фигуры с аффинными свойствами подразделены на два класса, отвечающих преобразованиям сжатия (растяжения) и сдвига. Выделяются также два класса гомотетичных и евклидовых фигур. На пересечении рядов и классов выделяются семейства.

Ряд I. Оси анизотропии — $2T$. По направлениям полярных векторов в ряду выделяются отряды фигур: а) с векторами, направленными от центра к периферии; б) от периферии к центру; в) вдоль одной оси — от центра периферии, вдоль другой — от периферии к центру (табл. 7). Ниже рассмотрены лишь два первых отряда.

В классе евклидовых фигур модули полярных векторов равны. У круга одна ось анизотропии, ориентированная по радиусу-вектору круга. В семейство входят вписанные в круг правильные многоугольники, количество сторон которых $n = 3, 4, 6, \dots, k$. В качестве элементов симметрии выступают (как и для одномерных фигур) центры инверсии (*СИ*) и вращения. Центр вращения для двумерных фигур отвечает оси вращения для трехмерных с порядком n (C_n). Центр инверсии присутствует лишь у тех фигур, у которых n — четное число. Элементами симметрии являются также линии зеркального отражения в плоскости фигуры (отвечающие плоскостям зеркального отражения в пространстве) и тождественные преобразования.

В классах гомотетичных и аффинных фигур сохраняются постоянными отношения длин, а ортогональность сохраняется при гомотетии и иногда при сжатии (растяжении), но не сохраняется при сдвиге (где неизменна площадь фигур).

Применение гомотетии к кругу и правильным многоугольникам меняет размеры фигур, оставляя постоянными углы и отношения длин. Сжатие (растяжение) вдоль одной из осей анизотропии преобразует круг в эллипс с изменившейся площадью и более низкой симметрией, сдвиг, кроме того, переводит ортогональные оси анизотропии в неортогональные сопряженные диаметры при постоянстве площади фигуры. Сжатие (растяжение) одной из осей превращает правильный треугольник в равнобедренный, квадрат — в прямоугольник (прямоугольную ленту) или ромб, сдвиг превращает правильный треугольник в неправильный, а квадрат — в параллелограмм. При этом меняется длина осей анизотропии, т. е. $x > y$, $x \gg y$ или $x < y$, $x \ll y$.

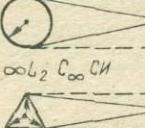
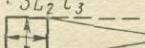
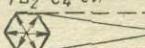
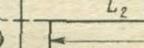
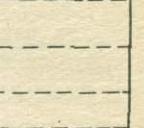
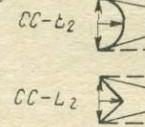
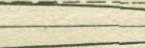
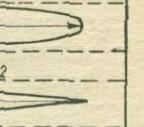
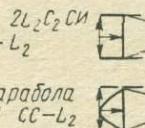
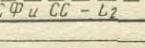
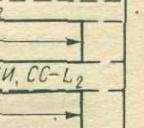
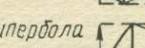
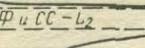
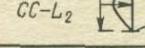
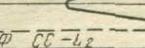
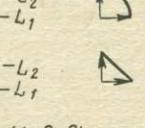
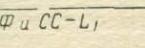
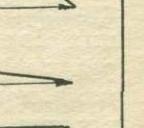
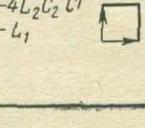
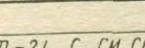
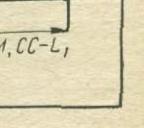
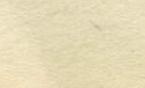
В принципе квадрат можно преобразовать в бесконечную ленту с центром анизотропии, который одновременно является центром инверсионной симметрии и центром вращения порядка 2. Если фигура ограничена односторонней границей или не имеет ее, то других элементов симметрии у нее нет. У круга внешняя граница может оказаться линией инверсионной симметрии, при переходе через которую радиус-вектор меняет свое направление на противоположное. Стороны прямоугольника (ленты) могут оказаться линиями гиперболической симметрии. Здесь линиями гиперболической симметрии могут быть либо все четыре стороны фигуры, либо только две длинные стороны, особенно в случае бесконечных и полубесконечных лент вдоль длинной оси. Формула гиперболической симметрии аналогична таковой инверсионной симметрии. Пусть мощность фигуры от линии зеркальной симметрии до внешней границы l , а кратчайшее расстояние от этой линии до какой-либо внутренней точки l_1 , тогда расстояние до гиперболически симметричной внешней точки L_1 , вычисляется из формулы $l^2 = l_1 L_1$.

Элементарные ячейки парагенераций, представимые в виде фигур данного ряда, широко распространены как среди эндогенных, так и экзогенных образований. Если эрозионный срез сечет круговой конус, цилиндр, правильную призму или пирамиду перпендикулярно к оси вращения, то получаем фигуры в виде круга и правильных многоугольников, свойственные выходам на поверхность интрузивных массивов, вулканических штоков и некков, рудных столбов и штокверков разнообразного состава. Перпендикулярные к оси сечения эллиптического конуса и цилиндра или наклонные к оси сечения кругового цилиндра дневной поверхностью приводят к появлению эллиптических фигур, свойственных тем же эндогенным образованиям. Фигуры такого облика могут формироваться также и при динамических преобразованиях первоначально круговых фигур и правильных многоугольников. Прямоугольники, ромбы и бесконечные ленты получаются при сечении интрузивных даек и рудных жил дневной поверхностью ортогонально или наклонно к главной оси анизотропии, совпадающей с радиусом-вектором гравитации.

Экзогенные элементарные ячейки, представимые в виде фигур этого семейства, обычно формируются в центральных частях мульд круговой и эллиптической формы, в грабенах и трогах многоугольных форм, ограниченных со всех сторон поднятиями (областями размыва). В данном случае ячейки представлены осадочными ритмами, мощность которых либо мала по сравнению с длиной и шириной в плане, либо не интересует нас в силу других причин (цели исследования).

Ряд II. Одна ось анизотропии — полярный тензор T , другая — полярный вектор B . Фигуры, принадлежащие данному ряду в отличие от предыдущего имеют в общем случае не совпадающие симметрию форм ($C\Phi$) и симметрию структуры (CC), в частности прямоугольник — двойной квадрат (табл. 7). Существуют 4 отряда фигур по сочетанию направлений полярных векторов: а) полярные векторы

Систематика видов структур и форм

Класс	$x=y$	$x'=y'$	$x>y$	$x<y$
ряд Направленные оси к оди- надцатому	Фигуры с евклидовыми свойствами			Фигуры с аффинными свойствами, ненаряду с фигурами с евклидовыми преобразова- ниями
		Гомотетия $k>1$	Сжатие $k>1$	растяжение $k>1$
I	 $\infty L_2 C_\infty \text{ СИ}$  $3L_2 C_3$  $a=ka'$ $4L_2 C_4 \text{ СИ}$  $a=ka'$ $6L_2 C_6 \text{ СИ}$ $nL_2 C_n$ (n-четное)	 $2L_2 C_2 \text{ СИ}$  L_2  $2L_2 C_2 \text{ СИ}$  $2L_2 C_2 \text{ СИ}$	 $2L_2 C_2 \text{ СИ}$  L_2  $2L_2 C_2 \text{ СИ}$  $2L_2 C_2 \text{ СИ}$	
II	 $C\Phi \ CC-L_2$  L_2  L_2  $C\Phi \ CC-L_2$  $C\Phi \ CC-L_2$	 $C\Phi \ CC-L_2$  L_2  L_2  $C\Phi \ CC-L_2$  $C\Phi \ CC-L_2$	 $2L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_2$  L_2  L_2  $C\Phi \ CC-L_2$  $C\Phi \ CC-L_2$	 $Парабола$ $C\Phi \ CC-L_2$  L_2  L_2  $C\Phi \ CC-L_2$  $C\Phi \ CC-L_2$
III	 $C\Phi-L_2$ $CC-L_1$  L_2  $CC-L_1$  $C\Phi \ CC-L_1$  $C\Phi \ CC-L_1$	 $C\Phi-L_2$ $CC-L_1$  L_2  $CC-L_1$  $C\Phi \ CC-L_1$  $C\Phi \ CC-L_1$	 $C\Phi-4L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_1$  L_2  $CC-L_1$  $C\Phi-2L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_1$  $C\Phi-2L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_1$	 $C\Phi-4L_2 C_4 \text{ СИ}$ $CC-L_1$  L_2  $CC-L_1$  $C\Phi-2L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_1$  $C\Phi-2L_2 C_2 \text{ СИ}$ $CC-L_1$

двумерных элементарных фигур

<p>$S = S_1$</p> <p>как результат примесей симметрии аффинных ваний</p> <p>Сдвиг</p> <p>$2L_2 \text{ СИ}$</p> <p>L_1</p> <p>СИ</p> <p>$C\Phi \text{ и } CC-L_1$</p> <p>$C\Phi \text{ и } CC-L_1$</p> <p>$C\Phi \text{ СИ, } CC-L_1$</p> <p>$C\Phi \text{ и } CC-L_1$</p>	<p>Криволинейные фигуры</p>
---	-----------------------------

направлены от центра к периферии; б) от периферии к центру; в) компоненты полярного тензора направлены от центра к периферии, а полярный вектор — от периферии к центру; г) компоненты полярного тензора направлены от периферии к центру, а полярный вектор — от центра к периферии. Ниже рассмотрены лишь два первых отряда.

Класс евклидовых фигур — половина круга, равнобедренный прямоугольный треугольник, двойной квадрат, усеченные парабола, гипербола и т. д. В аффинных классах сжатие и растяжение данных фигур к оси, совпадающей с полярным тензором или вектором, сохраняет симметрию структуры и формы (поскольку сохраняется ортогональность осей анизотропии), сдвиг понижает *СФ* и *СС* до тождественного преобразования, за исключением параллелограмма, *СФ* которого — *СИ* (центр инверсионной симметрии). Среди аффинных фигур данного ряда выделяются полубесконечные площадные фигуры (ленты с ортогональными и косыми осями анизотропии) и фигуры сечения кругового конуса — параболы и гиперболы, а также клин. Иногда внешние границы фигур являются линиями инверсионной (для круга, эллипса, параболы и гиперболы) или гиперболической (для многоугольников) симметрии. В этом случае полярные векторы меняют при переходе границы свое направление на противоположное. Бесконечные и полубесконечные ленты могут быть криволинейными: изогнутыми в виде парабол, гипербол, синусоиды и т. д.

Фигуры данного ряда часто реализуются в виде элементарных ячеек парагенераций как эндогенных, так и экзогенных. Полуэллипс, парабола, гипербола, клин — это фигуры сечения дневной поверхностью или какой-либо палеогеологической границей эндогенных объектов конической формы, а для первой фигуры — и цилиндрической. Такие объекты были перечислены ранее (штоки, некки, интрузии, штокверки). При сечении дневной поверхностью вертикальных даек и рудных жил возникают фигуры в виде удлиненных прямоугольников, параллелограммов и полубесконечных лент, центр анизотропии которых расположен в середине короткой стороны. Экзогенные элементарные ячейки представлены в виде фигур данного семейства, если они формировались в дельтах, прямолинейных грабенах с односторонним течением потока (в случае удлинения вдоль полярного вектора) или на шельфах, в предгорных шлейфах и т. д. (в случае удлинения вдоль полярного тензора). Естественно, мощность тел при этом считается равной нулю. Криволинейные (синусоидальные) ленты передко реализуются в меандрирующих речных отложениях.

Ряд III. Обе оси анизотропии — полярные векторы (2B). По направлению полярных векторов выделяются 3 отряда фигур: а) с векторами, направленными от центра к периферии; б) от периферии к центру; в) один вектор направлен от периферии к центру, другой — от центра к периферии. Ниже рассмотрены 2 первых отряда.

В классе евклидовых фигур для четверти круга и прямоугольного равнобедренного треугольника $C\Phi$ — зеркальная, для квадрата — более высокая. У всех фигур CC отсутствует. Применение аффинных преобразований к перечисленным выше фигурам переводит их в четверть эллипса, прямоугольный или неправильный треугольник, прямоугольник или параллелограмм. Такие фигуры свойственны экзогенным элементарным ячейкам, возникающим в среде, анизотропной по двум направлениям, например в речных долинах с одним крутым и другим пологим берегом, вдоль побережий бассейнов с прибрежевыми течениями (длинный полярный вектор совпадает с направлением течения, который направлен от береговой линии в глубь бассейна).

Трехмерные фигуры

Наибольшее разнообразие фигур свойственно моделям элементарных ячеек парагенераций, представленным в виде трехмерных образов. Среди евклидовых фигур с ортогональными осями анизотропии выделяется 4 класса по соотношению длин осей, т. е. степени изометрии (или коэффициенту сжатия). Длины осей равны модулям полярных векторов (x , y и z), выходящих из центра анизотропии [30, 197].

Класс

$$A: x = y = z;$$

$$B: x = y < z \quad (x = y \ll z);$$

$$C: x = y > z \quad (x = y \gg z);$$

$$D: x > y > z \quad (x > y \gg z, x \gg y > z, x \gg y \gg z).$$

По соотношению количества осей анизотропий, обладающих симметрией T или B , выделяются 4 ряда (табл. 8–11): I — $3T$, II — $2T + B$, III — $T + 2B$, IV — $3B$.

Пересечения классов и рядов отвечают семействам форм и структур (например, A-I, B-II, C-IV, D-II и т. д.). В сущности, фигуры классов B , C и D могут быть выведены из фигур класса A путем приложения к последним преобразований растяжения (класс B), сжатия (класс C) вдоль одной или (класс D) двух осей анизотропии, поэтому фигуры трех последних классов могут быть рассмотрены как аффинные, но с сохранением ортогональности осей. Класс гомотетичных фигур специально не рассматривается. По направлениям полярных векторов для разных рядов выделяются различные отряды структур (табл. 8).

Класс A ($x = y = z$), табл. 9.

Семейство A-I. Оси анизотропии — $3T$. Согласно Л. И. Четверикову [196], для шара три оси можно рассматривать как одну, ориентированную по радиусу-вектору шара, для цилиндра и биконуса — как две, одна из которых совпадает с осью вращения фигур, а другая ориентирована в плоскости кругового центрального сечения, ортогонального к оси вращения.

Фигуры данного семейства реализуются в основном в виде эндогенных элементарных ячеек — каплевидных интрузий габбро и гранитов, крупных растворенных шлиров, гнездообразных рудных тел.

При одной и той же форме на симметрию структуры оказывает влияние абсолютный линейный размер элементарной ячейки. Если

Таблица 8

Отряды структур по различным сочетаниям направлений полярных векторов вдоль осей анизотропии

Ряд	Сочетания направлений полярных векторов вдоль осей анизотропии			
I $3T$	a	δ	β	γ
II $2T + \delta$	a	δ	β	γ
III $T + 2\beta$	a	δ	β	γ
IV 3β	a	δ	β	γ

в плоскости горизонта среда формирования изометричных элементарных ячеек может быть однородной, то по радиусу-вектору гравитации среда всегда неоднородна и анизотропна. В локальном объеме эта неоднородность проявляется незначительно, что и определяет шаровую симметрию структуры у элементарных ячеек с небольшими линейными размерами. При возрастании последних симметрия структуры отклоняется от СФ шара к симметрии конуса, т. е. симметрии радиуса-вектора гравитации. Влияние линейных размеров на симметрию структуры указывает на принципиальное ограничение преобразований подобия в геологическом пространстве. Увеличение

размеров элементарных ячеек сопровождается также переходом шаровых форм в цилиндрическую, двойную коническую, пирамидальную и призматическую. Оси вращения этих фигур обычно ориентированы по радиусу-вектору гравитации.

Семейство A-II. Оси анизотропии — $2T + B$. Для половины шара, конуса и цилиндра характерны две оси анизотропии, одна из которых ориентирована вдоль полярного вектора, а другая — по радиусу-вектору кругового основания фигур. Для половины шара и конуса свойственны одинаковые группы $C\Phi$ и CC , совпадающие с симметрией конуса (*A-II.1, A-II.3, 4, 5*), для цилиндра $C\Phi$ совпадает с симметрией эллипсоида вращения, а CC — с симметрией конуса.

Конусу отвечает некоторое счетное множество вписанных правильных пирамид порядка n с совпадающими $C\Phi$ и CC (*A-II. 7, 10*), а цилинду — правильных прямых призм, у которых $C\Phi$ и CC не совпадают (*A-II.6, 8, 9*). Фигуры с такой формой возникают обычно в некотором однородном полупространстве, ограниченном сверху или снизу плоскостью (горизонтальная поверхность), отделяющей другое полупространство с существенно иными свойствами (плотностью, проницаемостью и т. д.). Например, на границе литосфера и гидросфера, литосфера и атмосфера нередко возникают полусферические или конические купола с равным радиусом основания и высотой (грязевые и шлаковые вулканы, соляные диапиры, экструзивные лакколиты), вещества которых выжато из более плотной среды по центральному каналу. Аналогичные, но перевернутые фигуры возникают под непроницаемыми плотными экранами в проницаемой нелитифицированной среде — полусферические, конические и цилиндрические рудные штокверки редкометальных, железорудных, золоторудных, полиметаллических и других месторождений. В плане зачастую они имеют многоугольные, в объеме — пирамидальные и призматические формы. Полярные векторы всех этих фигур ориентированы по радиусу-вектору гравитации.

Семейство A-III. Оси анизотропии — $T + 2B$. Четверть шара (*A-III.1*), половина цилиндра (*A-III.2*), половина правильной призмы (*A-III.6*), четверть прямоугольного правильного параллелепипеда (*A-III.8*) и четверть октаэдра (*A-III.7*) обладают одинаковой $C\Phi$ — $L_2 2P$ и CC — P . Половина конуса (*A-III.3, 4, 5*) имеет тождественные группы $C\Phi$ и CC — P (плоскость зеркальной симметрии). Наибольшей $C\Phi$ обладает прямоугольный правильный параллелепипед (*A-III.9*).

Четверти шара, половинам конуса и цилиндра отвечает некоторое счетное множество половин призм и пирамид и ряд других многогранных фигур, представляющих собой части призм и правильных многогранников. Фигуры этого семейства весьма редки и обязаны своим появлением не столько первичным, сколько наложенным процессам (смещениям по сдвигам, сбросам и т. д.).

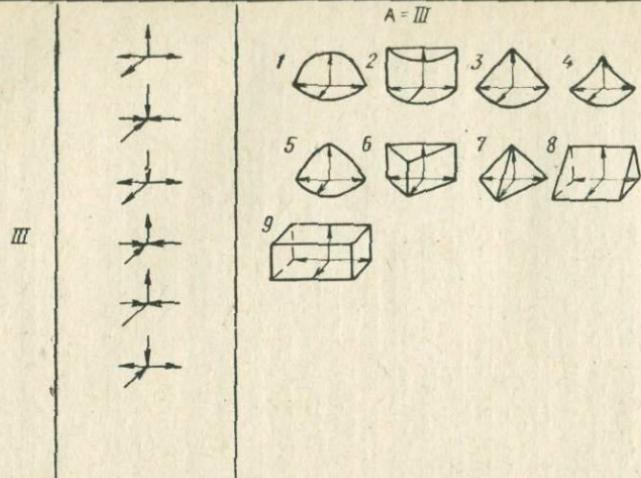
Семейство A-IV. Оси анизотропии — $3B$. По симметрии формы фигуры данного семейства разделяются на 3 группы:

1) одна восьмая шара и октаэдра;

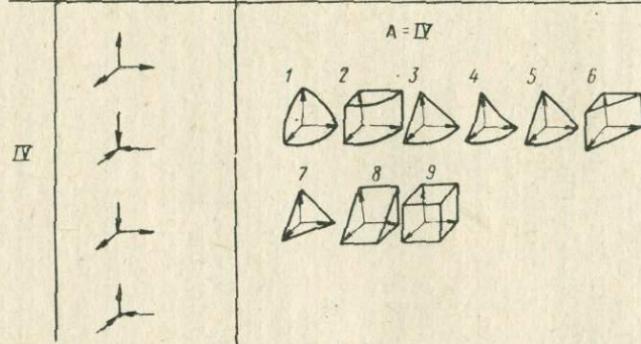
Систематика видов структур и форм трехмерных фигур с равными осями анизотропии

Класс A ($x = y = z$)

Ряд	Направления векторов и тензоров	Фигура	Симметрия форм (СФ) и структур (СС)
I		<p>A - I</p> <p>1 Шар (Sphere) 2 Цилиндр (Cylinder) 3 Двойной конус (Double cone) 4 Дицирамида (Dipyramidal shape) 5 Правильные дицирамиды (Regular dipyramids) 6 Призма (Prism) 7 Правильные призмы (Regular prisms) 8 Куб (Cube) 9 Октаэдр (Octahedron) 10 Куб (Cube)</p>	<p>Шар: СФ — $\infty L_{\infty} \infty PC$; СС — $\infty L_{\infty} \infty PC$</p> <p>Цилиндр, двойной конус с образующими отрицательной, нулевой и положительной кривизны: СФ — $L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$; СС — $L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$</p> <p>Правильные дицирамиды и призмы: СФ — $L_n n L_2 (n+1) PC$; СС — $L_n n L_2 (n+1) PC$</p> <p>Куб, октаэдр: СФ и СС — $3L_4 4L_3 9PC$</p>
II		<p>A - II</p> <p>1 Половина шара (Half sphere) 2 Конус с разной кривизной образующих (Cones with different curvature of generatrices) 3 Правильные пирамиды (Regular pyramids) 4 Тетраэдр (Tetrahedron) 5 Правильные призмы (Regular prisms) 6 Призма (Prism) 7 Правильные призмы (Regular prisms) 8 Куб (Cube) 9 Куб (Cube) 10 Тетрагональная призма (Tetragonal prism) 11 Тетрагональная призма (Tetragonal prism)</p>	<p>Половина шара, конус с образующими разной кривизны: СФ — $L_{\infty} \infty P$; СС — $L_{\infty} \infty P$</p> <p>Цилиндр: СФ — $L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$, СС — $L_{\infty} \infty PC$</p> <p>Правильные призмы: СФ — $L_n n L (n+1) PC$, СС — $L_n n P$</p> <p>Правильные пирамиды: СФ — $L_n n P$, СС — $L_n n P$</p> <p>Половина тетрагональной призмы: СС — $L_2 2P$, СС — $L_2 2P$</p>



Четверть шара, половина цилиндра, правильной пирамиды, призмы, четверть октаэдра; $C\Phi - L_2 2P$, $CC - P$
 Половина конуса с образующими разной кривизны: $C\Phi - P$, $CC - P$
 Прямоугольный правильный параллелепипед: $C\Phi - L_4 4L_2 5PC$, $CC - P$



Одна восьмая шара, октаэдра: $C\Phi - L_3 3P$, $CC - L$
 Четверть цилиндра, призмы: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - L$,
 Четверть конуса, одна восьмая пирамиды: $C\Phi - P$, $CC - L$,
 Куб: $C\Phi - 3L_4 4L_4 9PC$, $CC - L$

2) четверть цилиндра и правильного прямоугольного параллелепипеда;

3) куб.

Элементы CC у всех фигур отсутствуют, кроме тождественных преобразований. В природе фигуры этого семейства реализуются крайне редко.

Для классов B ($x = y < z$ и $x = y \gg z$) и C ($x = y > z$ и $x = y \gg z$) характерна вытянутость или сплюснутость вдоль оси вращения при равенстве радиуса-вектора в плоскости вращения. Степень изометричности этих фигур можно оценить с помощью отношения Хаббла $\varepsilon = 10(x - z)/x$, применимого для измерения сжатия галактик. Эта величина будет положительной для сплюснутых и отрицательной для вытянутых фигур. Классы B и C — результат применения к классу A сжатия (растяжения), ориентированного вдоль одной из осей анизотропии. При этом ортогональность осей сохраняется. Если применить к фигурам классов A , B и C сдвиг, ориентированный параллельно одной из плоскостей анизотропии (в частности, плоскости сжатия — растяжения), то получим класс аффинных фигур сдвига с неортогональными осями анизотропии.

Класс B ($a = b < c$ и $a = b \ll c$) (табл. 10).

Семейство B -I. Оси анизотропии — $3T$. Для эллипсоида вращения характерны две оси анизотропии, одна из которых совпадает с осью вращения (полярный тензор), а другая ориентирована по радиусу-вектору в плоскости кругового центрального сечения, ортогонального к оси вращения. То же справедливо для веретено- и иглообразных фигур, биконуса и цилиндра. Для фигур данного семейства CF и CC совпадают. Выделяются фигуры с гладкими поверхностями: эллипсоид вращения, игла, цилиндр, биконус с образующими разной кривизны (B -I.1, 2, 3, 4, 5, 6) с одинаковыми группами симметрии. Для эллипсоида характерны гладкие вершины, а для иглы и конуса — острые. Последняя фигура имеет также острое ребро в виде окружности. Игла (в отличие от биконуса) не имеет остраго ребра, на котором скачкообразно менялась бы кривизна граней. Этим фигурам отвечают счетные множества вписанных правильных дипирамид и прямых призм (B -I.7, 8, 9, 10, 11) порядка n .

Указанные фигуры реализуются в среде, однородной и относительно непроницаемой в плоскости горизонта и неоднородной, но относительно проницаемой по радиусу-вектору гравитации, вдоль которого ориентирована длинная ось анизотропии. Поскольку последняя является полярным тензором, необходимо, чтобы плоскость центрального сечения, ортогональная к оси вращения, являлась бы плоскостью зеркальной симметрии. Фигуры такого строения могут возникать в вулканических аппаратах (некки, штоки, иглы) и в рудных штокверках.

Семейство B -II. Оси анизотропии — $2T + B$, z -вектор.

Для половины эллипсоида вращения, рассеченного плоскостью ортогональной к оси вращения (B -II.1), половины иглы (B -II.6),

конуса с образующими нулевой (B-II.3), отрицательной (B-II.4), положительной (B-II.5) кривизны характерны две оси анизотропии, одна из которых ориентирована по оси вращения, другая — по радиусу-вектору кругового основания. Для этих фигур $C\Phi$ и CC тождественны и совпадают с симметрией кругового конуса. У цилиндра $C\Phi$ совпадает с симметрией эллипсоида вращения, CC — с симметрией кругового конуса. Фигурам с круговым основанием отвечают счетные множества правильных пирамид и призм (B-II.7, 8, 9, 10, 11) порядка n . У пирамид $C\Phi$ и CC совпадают, у призм различаются, у клина минимальные (B-II.12).

Указанные фигуры характерны для эндогенных элементарных ячеек: конических и цилиндрических, щелочных, кислых и ультраосновных интрузий, вулканических некков, трубок взрыва, удлиненных вдоль оси вращения рудных штокверков и т. д. Они возникают в среде, проницаемой и анизотропной вдоль радиуса-вектора гравитации, малопроницаемой и изотропной в плоскости горизонта.

В том случае, когда z — тензор, фигуры вращения рассечены плоскостью вдоль оси вращения. Наибольшей $C\Phi$ обладает прямоугольный параллелепипед, у остальных фигур $C\Phi$ и CC тождественны, причем для всех фигур данной части семейства CC одинаково идентична симметрия ромбической пирамиды.

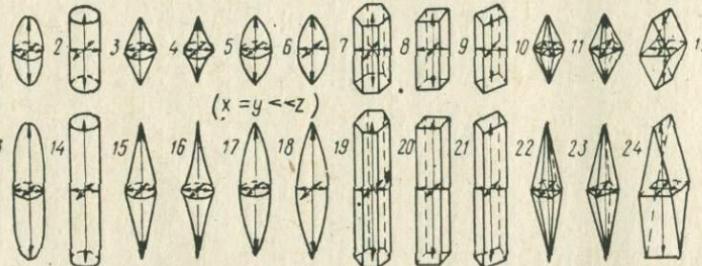
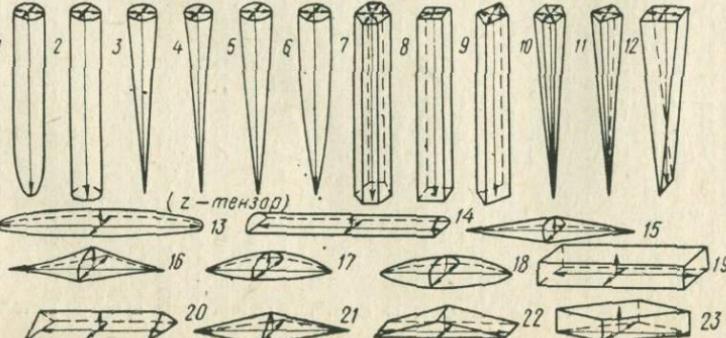
Фигуры такого облика реализуются по большей части среди элементарных ячеек эндогенного, но иногда и экзогенного типа. Обычно плоскость полярных тензоров ориентирована в плоскости горизонта, а полярный вектор — по радиусу-вектору гравитации. Ячейки в виде этих фигур возникают на границе, разделяющей полупространства с резко различными свойствами: кристаллического фундамента и осадочного покрова, литосферы с гидросферой и атмосферой. В отличие от фигур семейства A-II, канал, по которому поступает вещество, формирующее элементарную ячейку, имеет не центральную, а линейную размерность. Данные фигуры свойственны вулканическим телам в трещинных вулканах, соляным валам, линейным рифовым постройкам, типа Большого барьера и рифа и т. д.

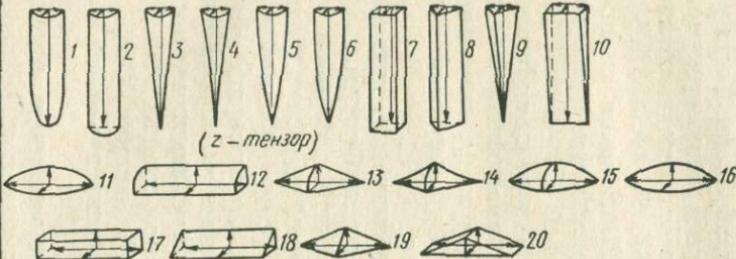
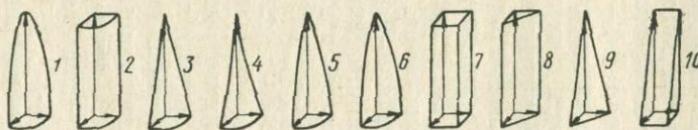
Семейство B-III. Оси анизотропии — $T + 2B$, z — тензор. Все фигуры имеют одинаковую CC , самая высокая $C\Phi$ — симметрия трехосного эллипсоида — свойственна прямоугольному параллелепипеду (B-III.7), более низкая присуща половинам цилиндра и правильной прямой призмы (B-III.2, 8). Клин четверти конуса и правильной пирамиды имеют тождественные $C\Phi$ и CC (B-III.1, 6, 3, 4, 5, 9, 10).

Для фигур, у которых z — вектор, свойственна ориентация короткого полярного тензора и длинного вектора в плоскости горизонта, а короткого полярного вектора — по радиусу-вектору гравитации. Фигуры такого облика возникают, когда проницаемость среды резко различна в плоскости горизонта, минимальна вдоль полярного тензора и максимальна вдоль длинного вектора. Они реализуются

Систематика видов структур и форм трехмерных фигур
с двумя равными и одной неравной более длинной осью анизотропии

Класс В ($x=y < z$, $\alpha = y \ll z$)

Ряд	Фигуры	Симметрия форм ($C\Phi$) и структур (CC)
$I - 3T$	<p style="text-align: center;">$B-I$ ($x = y < z$)</p>  <p style="text-align: center;">($x = y \ll z$)</p>	<p>Эллипсоид вращения, цилиндр, двойной конус с образующими разной кривизны, игла: $C\Phi - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$, $CC - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$</p> <p>Правильные призмы, дицирамиды: $C\Phi - L_{nn}L_2 \cdot (n+1) PC$, $CC - L_n n L_2 (n+1) PC$</p> <p>Ромбическая прямая призма: $C\Phi - 3L_2 3PC$, $CC - 3L_2 3PC$; $C\Phi - L_2 2P$; $CC - L_2 2P$</p>
$II - 2T + \delta$	<p style="text-align: center;">$B-II$ (z-вектор)</p>  <p style="text-align: center;">(z-треугольник)</p>	<p>Половина эллипсида вращения, конус с образующими разной кривизны, половина иглы: $C\Phi - L_{\infty} \infty P$, $CC - L_{\infty} \infty P$</p> <p>Цилиндр: $C\Phi - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$; $CC - L_{\infty} \infty P$</p> <p>Правильные призмы: $C\Phi - L_{nn}L_2 (n+1) PC$, $CC - L_n n P$</p> <p>Правильные пирамиды: $C\Phi - L_n n P$, $CC - L_n n P$</p> <p>Клин, продольные половины эллипсида, цилиндра, двойного конуса, призм, пирамид: $C\Phi - L_2 2P$; $CC - L_2 2P$</p>

$\beta\text{-III}$ (z - вектор) $\text{III} - T + 2\theta$ $\beta\text{-IV}$  $\text{IV} - 3\theta$ $(z - вектор)$

Половина цилиндра, правильной призмы: $C\Phi - L_2 2P, CC - P$

Прямоугольный параллелепипед: $C\Phi - 3L_2 3PC, CC - P$

Четверть эллипсоида, половина конуса с образующими разной кривизны, четверть иглы, половина пирамиды, клин: $C\Phi - P, CC - P$
(z - тензор)

Продольная четверть эллипсоида, цилиндра, двойного конуса, иглы, призмы, пирамиды, половина ромбической пирамиды: $C\Phi - L_2 2P; CC - P$.

Прямоугольный правильный параллелепипед: $C\Phi - L_4 4L_2 5PC, CC - P$

Одна восьмая эллипсоида вращения, иглы, четверть конуса, пирамиды, клин: $C\Phi - P, CC - L_1$

Четверть цилиндра, прямоугольного правильного параллелепипеда: $C\Phi - L_2 2P, CC - L_1$

Прямоугольный правильный параллелепипед: $C\Phi - L_4 4L_2 5PC, CC - L_1$

в виде протяженных лавовых потоков с одинаковой мощностью и шириной, вытекающих из вулканов центрального типа и обладающих зеркальной симметрией вдоль направления течения. Поверхность таких потоков снизу имеет плоскую форму, а сверху — цилиндрическую, коническую или эллипсоидную. Аналогичную структуру и форму имеют отложения прямолинейных каньонов и русел глубоковрезанных рек с цилиндрической формой дна русла. Верхняя граница этих фигур плоская. Такую форму имеют также линейные тела с плоским основанием и гладкой верхней поверхностью. Если отложения крови тела испытали излом вдоль длинного вектора, ориентированного в плоскости горизонта, то тело приобретает призматическую форму с острым верхним ребром.

Наибольшей $C\Phi$ среди фигур, где z — тензор, обладает прямоугольный правильный параллелепипед (B -III.17), у остальных $C\Phi$ тождественна симметрии ромбической пирамиды. Для структуры всех фигур свойственна билатеральная симметрия.

Полярный тензор фигур и один из векторов ориентированы в плоскости горизонта, другой — по радиусу-вектору гравитации. Фигуры реализуются в природе довольно редко. Они наблюдаются у тел, вытянутых вдоль одной из осей в плане вдоль разлома, разграничитывающего кристаллический и слоистый блоки. Тогда в силу непроницаемости кристаллического блока тела асимметрично проникнет лишь в слоистый блок, что и приведет к созданию элементарной ячейки в виде фигур B -III.11, 12, 13, 15, 16, 18, 19.

Семейство B-IV. Оси анизотропии — 3В. Восьмая эллипсоида вращения и иглы, четверть конуса и тетрагональной правильной пирамиды, клин характеризуются одинаковой $C\Phi$ — Р (B -IV.1, 3, 4, 5, 6, 9, 10). Четверть цилиндра, правильного прямоугольника (B -IV.2, 8) имеют $C\Phi$, совпадающую с симметрией ромбической пирамиды; самая высокая $C\Phi$ у правильного прямоугольного параллелепипеда (B -IV.7). Элементы CC у всех фигур отсутствуют, кроме тождественных преобразований (L_1).

В природе фигуры данного семейства реализуются, в частности, в русле реки с одним крутым и другим пологим берегом.

Класс С ($x = y > z$ и $x = y \gg z$) (табл. 11).

Все сведения о $C\Phi$ и CC различных семейств фигур класса B справедливы и для аналогичных семейств фигур класса C .

Семейство C-I. Оси анизотропии — 3Т. Характерные фигуры: сплющенный эллипсоид вращения (C -I.1), диск с гладкой поверхностью (C -I.6) и острым ребром в форме окружности в плоскости ортогонального к оси вращения центрального сечения (C -I.2), тор (подтип двусвязных фигур), цилиндр (C -I.2), биконус (C -I.3, 4, 5) и отвечающие этим фигурам счетные множества правильных прямых призм и дипирамид (C -I.7, 8, 9, 10, 11, 12).

Эти фигуры довольно часто реализуются в природе, причем характерны как для эндогенных, так и для экзогенных образований. Они возникают в среде, однородной и изотропной в плоскости центрального сечения ортогональной к оси вращения (плоскость гори-

зонта), которая одновременно является и поверхностью зеркальной симметрии (различного рода экраны: кровля интрузии, палеогидро-геологические барьеры, поверхности осадкоакопления в момент смены трансгрессивного и регрессивного этапов). Проникаемость среды в ортогональной плоскости значительно превосходит таковую вдоль оси вращения. Существенным условием возникновения фигур с такой формой и структурой является либо поступление вещества через центральный канал, приуроченный к оси вращения, и распределение вещества преимущественно в ортогональной плоскости (силлы диабазов и порфиров), апогрейзены в экзо- и эндоконтакте кровли интрузии гранитов, колчеданно-полиметаллические залежи и т. д.), либо из периферии к центру в плоскости горизонта, происходящее равномерно по радиусу-вектору (например, сочетание трансгрессивного и регрессивного осадочных ритмов в мульде круговой формы).

Семейство C-II. Оси анизотропии — $2T + B$. Фигуры этого семейства широко распространены в природе среди стратифицированных и стратифицированных образований, как эндогенных, так и экзогенных. Распределение осей анизотропии фигур, у которых z — вектор, совпадает с симметрией гравитационного поля Земли, обладающего, согласно принципу П. Кюри — И. И. Шафрановского, симметрией конуса. Действительно, вдоль радиуса-вектора кругового основания таких фигур проявлена одна ось анизотропии, а вдоль оси вращения — вторая, представленная полярным тензором. Симметрия кругового основания отражает симметрию поверхностей Земли, параллельных горизонту, асимметрия ортогонального вектора наследует асимметрию среды вдоль радиуса-вектора гравитации.

К элементарным ячейкам парагенераций, представимым в виде фигур данного подсемейства, относятся осадочные ритмы, отложенные в бассейнах круговой формы с упорядоченным расположением элементов вдоль радиуса-вектора, кольцевые ритмы осадочных и вулканогенных пород вокруг подножий поднятий и вулканов центрального типа, метасоматические рудные тела с вертикальной зональностью, отложенные на горизонтальных границах с резким перепадом физико-химических условий и т. д.

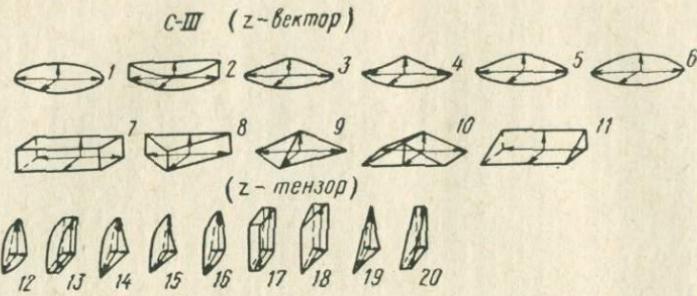
Фигуры семейства C-I, II, у которых модуль полярного вектора на несколько порядков меньше модулей компонент тензоров, можно рассматривать как бесконечно протяженные в плоскости горизонты. Таковы элементарные ячейки осадочных толщ на платформах или в пределах океанических впадин с ровным дном. У этих ячеек упорядоченность элементов (горных пород) в плоскости горизонта практически отсутствует, поэтому полярные тензоры вырождаются в скаляры — однородные и изотропные оси. В этом случае центр анизотропии исчезает, т. е. перестает быть особенной точкой фигуры.

Полярные тензоры (z — тензор) ориентированы в плоскости горизонта, длинный полярный вектор совпадает с радиусом-вектором гравитации. Фигуры подсемейства часто реализуются в природе в виде эндогенных тел: полулинзовидных жил с симметрией ромбиче-

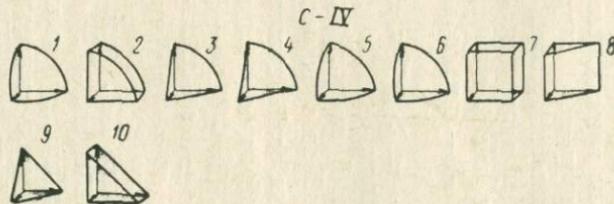
Систематика видов структур и форм трехмерных фигур
с двумя равными и одной неравной более короткой осью анизотропии

Ряд	Класс С ($x=y>z$, $x=y\gg z$)											
	Фигуры											Симметрия форм и структур
I - 3T	C-I											
	 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12											
	<p>Эллипсоид вращения, цилиндр, двойной конус с образующими разной кривизны, диск: $C\Phi - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$; $CC - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$</p> <p>Правильные призмы, дипирамиды: $C\Phi - L_n n L_2 (n+1) PC$; $CC - L_n n L_2 (n+1) PC$</p> <p>Ромбическая прямая призма: $C\Phi - 3L_2 3PC$, $CC - 3L_2 3PC$</p>											
II - 2T + B	<p><i>C-II (z - вектор)</i></p>  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22	<p>(<i>z</i> — вектор)</p> <p>Половина эллипсоида вращения, конус с образующими разной кривизны, половина диска: $C\Phi - L_{\infty} \infty P$, $CC - L_{\infty} \infty P$</p> <p>Цилиндр: $C\Phi - L_{\infty} \infty L_2 \infty PC$, $CC - L_{\infty} \infty P$</p> <p>Правильные призмы: $C\Phi - L_n n L_2 (n+1) \cdot PC$, $CC - L_n n P$</p> <p>Правильные пирамиды: $C\Phi - L_n n P$, $CC - L_n n P$</p> <p>Клин: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - L_2 2P$ (<i>z</i> — тензор)</p> <p>Продольные половины эллипсоида вращения, цилиндра, двойного конуса, призм, пирамид: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - L_2 2P$</p>										

III - I + 2B



IV - 3B



(z — вектор)
Половина цилиндра, правильной призмы:
 $C\Phi - L_2 2P$, $CC - P$
Прямоугольный параллелепипед: $C\Phi - 3L_2 3PC$, $CC - P$.
Четверть эллипсоида вращения, половина конуса с образующими разной кривизны, четверть диска, половина пирамиды, клин: $C\Phi - P$, $CC - P$.
Половина ромбической призмы: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - P$.

(z — тензор)
Продольная четверть эллипсоида, цилиндра, двойного конуса, диска, пирамиды, половина ромбической пирамиды: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - P$.
Прямоугольный параллелепипед: $C\Phi - 3L_2 3PC$, $CC - P$

Одна восьмая эллипсоида вращения, диска, четверть конуса, пирамиды, клин: $C\Phi - P$, $CC - L_1$
Четверть цилиндра, прямоугольного правильного параллелепипеда: $C\Phi - L_2 2P$, $CC - L_1$
Прямоугольный правильный параллелепипед: $C\Phi - L_4 4L_2 5PC$, $CC - L_1$

ской пирамиды, плоских даек с параллельными стенками, линейных интрузий и т. д. Продольные и поперечные плоскости зеркальной симметрии фигур перпендикулярны к плоскости горизонта.

Семейство C-III. Оси анизотропии — $T + 2B$, z — вектор. Фигуры этого семейства довольно часто встречаются в природе. Они свойственны осадочным отложениям дельт, конусов выноса, пирокластическим образованиям, возникшим в результате направленных вулканических извержений. Во вмещающей среде полярный тензор элементарных ячеек парагенераций, моделями которых являются даные фигуры, ориентирован обычно вдоль однородного и изотропного направления горизонтальной плоскости. В экзогенных стратифицированных элементарных ячейках короткий вектор анизотропии обычно совпадает с радиусом-вектором гравитации, длинный — с вектором анизотропии среды: наклоном дна бассейна осадконакопления, направлением потоков, течений.

Короткий полярный тензор и один из векторов ориентированы в плоскости горизонта, другой — по радиусу-вектору гравитации (z — тензор). Фигуры этого подсемейства реализуются в виде рудных жил с асимметричной зональностью по падению и простиранию и симметричной по мощности жилы. Такие рудные тела нередко ориентированы вдоль радиальных трещин в геометрических формах центрального типа.

Семейство C-IV. Оси анизотропии — $3B$. Фигуры данного семейства свойственны элементарным ячейкам, возникшим в среде, неоднородной по трем и анизотропной по двум или трем направлениям. Они формируются, например, вдоль береговой линии бассейнов осадконакопления, если вдоль берега действует береговое течение, нарушающее однородность среды по латерали. Тогда один из векторов (короткий) совпадает с радиусом-вектором гравитации, второй и третий — с наклоном дна бассейна и направлением берегового течения.

Класс D ($x > y > z$, $x \gg y > z$, $x > y \gg z$, $x \gg y > z$) табл. 12.

Поскольку фигуры данного класса отличаются неравенством модулей осей анизотропии, степень изометрии следует определять для каждой из трех осей в отдельности. Введем среднее геометрическое длин осей анизотропии $\alpha = \sqrt[3]{xyz}$, тогда степень изометрии для каждой из осей выразится формулами

$$x = 10 \frac{\alpha - x}{\alpha}; \quad y = 10 \frac{\alpha - y}{\alpha}; \quad z = 10 \frac{\alpha - z}{\alpha}.$$

Семейство D-I. Оси анизотропии — $3T$. Для фигур семейства характерна одинаковая *СФ* и *СС* — симметрия трехосного эллипсоида или прямоугольного параллелепипеда. Вместе с тем формы фигур значительно варьируют в зависимости от степени изометрии для каждой из осей. Характерными фигурами являются трехосный эллипсоид, эллиптическая игла, игла с дисковидным сечением, эллиптический трехосный диск, эллиптический биконус, эллипти-

ческий цилиндр, ромбическая прямая призма, ромбическая дипирамида, прямоугольный параллелепипед, в том числе в виде телесной ленты, и т. д.

Фигуры данного семейства часто наблюдаются в природе. Они свойственны элементарным ячейкам, возникшим в среде, анизотропной по трем направлениям, и свойственны как эндогенным, так и экзогенным образованиям (см. также семейство *C-I*).

Семейство D-II. Оси анизотропии — $2T + B$. Из фигур семейства наибольшей *СФ* обладают прямой цилиндр с эллиптическим основанием и прямоугольный параллелепипед (симметрия трехосного эллипсоида), у остальных фигур *СФ* более низкая (симметрия эллиптического конуса). Для всех фигур семейства структура характеризуется симметрией эллиптического конуса.

Фигуры данного семейства обладают высокой частотой встречаемости в природе, причем они свойственны как эндогенным, так и экзогенным объектам. По отношениям длин осей анизотропии в этом классе выделяются 4 подкласса фигур, причем в каждом подклассе модуль полярного вектора, ориентированного вдоль одной из осей анизотропии, может принимать наибольшее, среднее и наименьшее значения, что таксономически отвечает трем подсемействам. Итого в данном семействе выделяется 12 подгрупп фигур, каждая из которых реализуется в различных условиях. Относительно вмещающей среды полярный вектор в большинстве случаев имеет вполне определенную ориентировку, совпадая с радиусом-вектором гравитации, полярные тензоры чаще всего ориентированы в плоскости горизонта.

Семейство D-III. Оси анизотропии — $2B + T$. Аналогично предыдущему фигуры данного семейства также могут быть разбиты на 12 подгрупп в зависимости от относительных длин тензоров и векторов. Описание этих подгрупп приведено в сжатом виде.

Фигуры семейства характеризуются наибольшей частотой встречаемости в природе. Полярный тензор обычно расположен в плоскости горизонта вместе с одним из полярных векторов, другой ориентирован вдоль радиуса-вектора гравитации. Если компоненты полярного тензора обладают наименьшей длиной, то тензор в редких случаях может быть ориентирован вдоль радиуса-вектора гравитации, а полярные векторы — в плане. Если с радиусом-вектором гравитации совпадает ось с большим или средним модулем, то фигуры обычно принадлежат элементарным ячейкам эндогенных образований: дайкам, жилам, линзовидным и эллиптическим интрузиям, длина и глубина которых превосходит их ширину. Если длинная и средняя оси анизотропии приурочены к плоскости горизонта, то фигура такого рода реализуется как у эндогенных, так и у экзогенных образований: трансгрессивно-регressive осадочные ритмы, стратиформные рудные тела с прямой и обратной вертикальной зональностью и т. д.

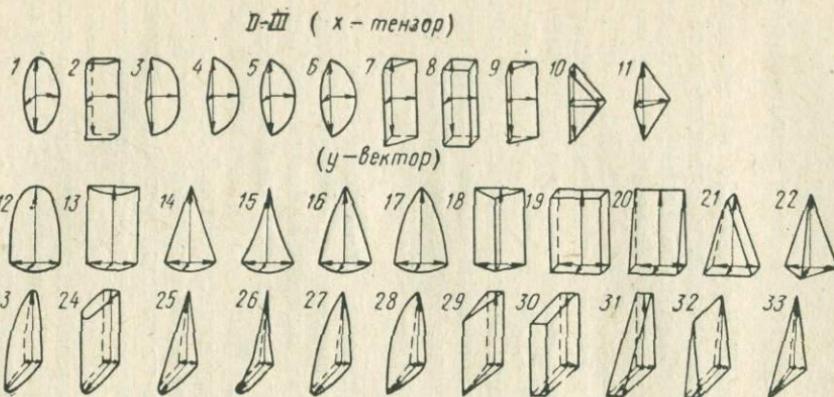
Семейство D-IV. Оси анизотропии — $3B$. Фигуры этого семейства в природе встречаются достаточно часто. Для них характерно

Таблица 12

Систематика видов структур и форм трехмерных фигур с неравными осями анизотропии

Ряд	Фигуры	Симметрия форм и структур
$I-3T$		<p>Трехосный эллипсоид, эллиптические — цилиндр, конус с обращенными разной кривизны игла, диск, прямоугольные и ромбические призмы, ромбические дицирамиды: $C\Phi - 3L_23PC$, $CC - 3L_23PC$</p>
$II-2T+\beta$		<p>Половина трехосного эллипсоида эллиптический конус, половина иглы, диска, ромбическая пирамида, клин: $C\Phi - L_22P$, $CC - L_22P$ Цилиндр, прямоугольный параллелепипед: $C\Phi - 3L_23PC$, $CC - L_22P$</p>

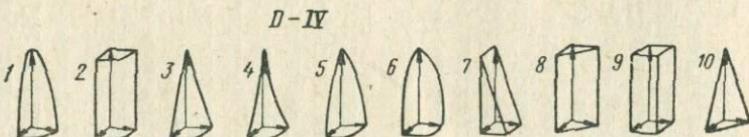
III-7+28



Четверть трехосного эллипсоида, иглы, диска, половина конуса с образующими разной кривизны, пирамиды, клин: *CФ*—*P*, *CC*—*P*.

Прямоугольный параллелепипед: *CФ*— $3L_23PC$, *CC*—*P*

IV-38



Одна восьмая трехосного эллипсоида, иглы, диска, четверть цилиндра, конуса с образующими разной кривизны, пирамиды, призмы: *CФ*—*L₁*, *CC*—*L₁*.

Клин: *CФ*—*P*, *CC*—*L₁*
Прямоугольный параллелепипед: *CФ*— $3L_23PC$, *CC*—*L₁*

большое разнообразие по преимуществу асимметричных форм и структур при значительных вариациях отношений модулей полярных векторов. Чаще всего они реализуются в виде экзогенных элементарных ячеек, хотя отмечаются и среди эндогенных образований. Один из полярных векторов обычно ориентирован по радиусу-вектору гравитации, два других — в плане.

Для класса D в целом фигуры могут быть рассмотрены как бесконечно протяженные вдоль одной ($x \gg y > z$) или двух ($x > y \gg z$) осей. Бесконечная протяженность может быть приписана фигурам вдоль полярных тензоров, полубесконечная — вдоль полярных векторов.

Если вдоль одной или нескольких плоскостей анизотропии фигуры класса D произвести сдвиг, то получим фигуры аффинного класса сдвига с тем же объемом, что у исходных фигур, но с неортогональными осями.

Систематика структур и форм парагенераций

Парагенерации обладают однородной структурой, причем мерой однородности является группа преобразований, применение которой к элементарной ячейке исчерпывает объем парагенерации. Выделяются различные сочетания размерностей фигур элементарных ячеек парагенераций и собственно парагенераций.

Основными симметричными операциями, применение которых к фигуре элементарной ячейки позволяет получить фигуру парагенерации, являются: трансляция, трансляция с зеркальным отражением, зеркальное отражение относительно точки, линии и плоскости, вращение относительно точки в плоскости и оси в пространстве, гомотетия, сжатие (растяжение) и сдвиг. Три последние преобразования относятся к собственно аффинным, предыдущие — к евклидовым.

Фигуры парагенераций с трансляционной симметрией можно рассмотреть для нуль-мерных, одно- и трехмерных фигур элементарной ячейки. Общим для этого вида симметрии является ось бесконечной трансляции (или переноса) с конечным шагом переноса. Если перенос непрерывный, то имеем фигуру элементарной ячейки (в виде линии, ленты и т. д.), поэтому данный случай здесь не описан. Поскольку трансляции и другие преобразования точек на линии, плоскости и в объеме известны из кристаллографии, описание фигур парагенераций начнем с преобразования одномерных элементарных ячеек.

Фигуры парагенераций с трансляционной симметрией и гомотетией. Известно 7 групп трансляционной симметрии [218] с прямо-линейными осями бесконечного переноса (табл. 13):

- 1) с конечным шагом a ;
- 2) ось является одновременно линией скользящего зеркального отражения через половину шага;
- 3) с центрами инверсионной симметрии через половину шага;

- 4) с ортогональными линиями зеркального отражения, лежащими в той же плоскости;
- 5) ось является линией зеркального отражения;
- 6) ось является линией скользящего зеркального отражения с центрами симметрии через шаг a ;
- 7) ось является линией зеркального отражения в сочетании с ортогональными линиями зеркального отражения, расположенными через половину шага в той же плоскости.

Произведение двух преобразований — переноса и гомотетии — превращает одну из точек оси переноса (центр гомотетии) в особенную.

1. Пусть элементарная фигура — полярный вектор. Он может быть ориентирован вдоль оси переноса, тогда фигура парагенерации одномерна (I.1, a). Полярный вектор может располагаться под произвольным углом к оси переноса, тогда суммарная фигура лежит в плоскости, проходящей через ось переноса и любой из векторов (I.1, б, I.2, I.3 и т. д.), в том числе и ортогонально к оси переноса (I.4, I.7). Полярный вектор превращается в полярный тензор, если центры симметрии на оси переноса; ось переноса — линия зеркального отражения, скользящего зеркального отражения с центрами симметрии и ортогональными линиями зеркальной симметрии.

Фигуры парагенераций такого рода реализуются обычно в плоскости горизонта. Осью переноса в этом случае является прямолинейный разлом или линия симметрии какого-либо валообразного поднятия. В качестве элементарных одномерных фигур — полярных векторов и тензоров — выступают линии пересечения даек или рудных жил, которые могут быть расположены как в плоскости разлома, так и в оперяющих трещинах.

Если прямолинейную ось переноса преобразовать в криволинейную: синусоиду, параболу, гиперболу или кривую иного вида, то полученные фигуры парагенераций будут построены по иному закону (табл. 13-I.8, 9, 10). В частности, длина элементарной ячейки возрастает пропорционально квадрату расстояния от линии симметрии параболы и т. д. Синусоидальная ось может возникнуть либо как результат наложения вторичных деформаций на прямолинейную ось, либо как первичная фигура, например в меандрирующей реке.

2. Пусть элементарная фигура двумерна. В этом случае она может быть представлена любой из фигур, показанной в табл. 6. Если ось переноса лежит в плоскости элементарной фигуры, то фигура парагенерации двумерна, если ось пересекает плоскость элементарной фигуры ортогонально или под острым углом, то фигура парагенерации трехмерна. Первый вариант реализуется в тех случаях, когда ось переноса расположена в плоскости горизонта. В этом случае двумерные фигуры есть результат сечения дневной поверхностью эндогенных элементарных ячеек парагенераций, представляемых в виде трехмерных фигур (табл. 13).

Во втором варианте ось переноса расположена в плоскости горизонта либо ориентирована вдоль радиуса-вектора гравитации или

Семейства фигур с трансляционной и гомотетичной симметрией

Ось	Группы симметрии с осями бесконечного переноса	Раз	
		Трансляция	
		Одномерные фигуры I	Двумерные фигуры II
Прямолинейная	1. Ось с конечным шагом переноса		
	2. Ось является линией скользящего зеркального отражения		
	3. Ось с центрами симметрии		
	4. Ось с ортогональными линиями зеркального отражения		
	5. Ось является линией зеркального отражения		
	6. Ось является линией скользящего зеркального отражения с центрами симметрии		
	7. Ось является линией зеркального отражения с ортогональными линиями зеркального отражения		
	8. Синусоида		
	9. Парабола (a) 10. Гипербола (б)		
	11. Синусоидальная лента		

Таблица 18

в плоскости для одномерных и двумерных элементарных фигур

мерность транслируемой фигуры

Трансляция с гомотетией	
Одномерные фигуры I	Двумерные фигуры II
	<img

под углом к нему. Если ось переноса лежит в плоскости горизонта, то элементарные фигуры представляют собой ортогональные или наклонные плоские тела — дайки или рудные жилы, повторяющиеся вдоль оси через равный шаг. Если ось совпадает с радиусом-вектором или наклонена к нему под небольшим углом, то элементарные фигуры представлены либо экзогенными элементарными ячейками — ритмами, либо эндогенными — силлами, стратиформными рудными телами (табл. 14). Прямолинейная ось переноса может быть преобразована в синусоиду, параболу, гиперболу. Фигуры парагенераций с такими осями весьма характерны для совокупностей ритмов, отложенных в результате трансгрессий и регрессий, как единичных, так и многократно повторяющихся (табл. 13, 14, 15).

3. Пусть элементарная фигура трехмерна и представлена какой-либо из фигур, изображенных в табл. 9-12. Если ось переноса расположена в плоскости горизонта, то элементарные фигуры принадлежат классам *A*, *B*, *C* и *D*. Фигуры парагенераций в плоскости горизонта двумерные (табл. 13, 15), т. е. являются проекцией трехмерного пространства на эту плоскость. Если ось переноса ориентирована вдоль радиуса-вектора или под острым углом к нему, то элементарными здесь могут являться лишь фигуры семейств *B-II.13, 14*, классов *C* и *D*.

В табл. 14 показаны варианты фигур парагенераций в двух проекциях при переносе элементарных фигур вдоль прямолинейных и криволинейных осей, которые чаще всего реализуются в осадочных и вулканогенно-осадочных толщах. Если ось переноса совпадает с радиусом-вектором гравитации, то обычно она ортогональна к двум главным направлениям осей анизотропии элементарной фигуры. Здесь возможны трансляция элементарной фигуры на величину, равную ее мощности, трансляция с зеркальным отражением в плоскостях, ортогональных к оси переноса (табл. 14). Если ось переноса наклонена к радиусу-вектору гравитации, то два перечисленных преобразования дополняются сдвигом, параллельным плоскости горизонта (табл. 14). Если прямолинейная ось преобразована в криволинейную, то имеем фигуры парагенераций с чередованием трансгрессивных и регрессивных рядов ритмов (табл. 14), причем неправильные кривые колебаний могут слагаться из нескольких гармоник, описываемых рядами Фурье.

Применение к элементарным фигурам одновременно трансляции и гомотетии приводит к более сложным видам симметрии фигур парагенераций (табл. 13—15). Элементарные фигуры в этом случае располагаются в направлении оси переноса от центра гомотетии через переменный шаг, определяемый коэффициентом гомотетии, причем размеры фигур вдоль каждой оси анизотропии также изменяются пропорционально этому коэффициенту. Для фигур характерны те же 7 групп симметрии, которые свойственны собственно трансляции, поэтому более подробное описание их здесь опускается.

Фигуры парагенераций с симметрией вращения и гомотетии.
I. Пусть элементарная фигура одномерна. Фигура парагенера-

Таблица 14

**Семейства фигур с трансляционной и гомотетичной симметрией
в пространстве для трехмерных элементарных фигур**

Виды проекций	Ось переноса и ортогональные плоскости зеркального отражения	Ось переноса, гомотетия и ортогональные плоскости зеркального отражения	Ось переноса, гомотетия, плоскости отражения	Ось переноса — прямая и сдвиг, синусоида и сдвиг
Сечение фигуры плоскостью, параллельной плоскости проекций				
Круг				
Эллипс				
Многограничники				
Проекции Фигур на плоскость горизонта				
Пара- бела				
Гипер- бела				

Таблица 15

Семейства фигур с симметрией вращения и гомотетии для одномерных и двумерных элементарных фигур

Свойства		Одномерные			Двумерные		
Элементы симметрии							
Свойство		Центр вращения и линии зеркального отражения		$3L_2C_3$, $4L_2C_4$ СИ, $6L_2C_6$ СИ		$3L_2C_3$, $4L_2C_4$, $6L_2C_6$, nL_2C_n	
		Центр вращения		$\alpha_1 = \dots = \alpha_n$, $S_1 = \dots = S_n$		$\alpha_1 = \alpha_n$, $S_1 = \dots = S_n$	
		Сдвиг		C_3 , C_4 СИ, C_6 СИ, C_n			
Симметрия							
Сжатие							

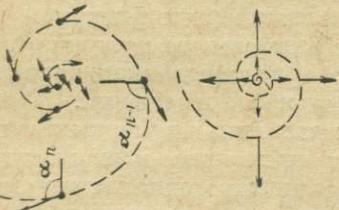
ции с симметрией вращения лежит в одной плоскости, проходящей через центр вращения и все элементарные фигуры. Центр вращения имеет порядок $n = 3, 4, \dots, k$, поскольку при $n = 2$ имеем полярный тензор, представляющий собой элементарную фигуру. Для фигур парагенераций с евклидовыми свойствами имеем 2 группы симметрии.

1. Центр вращения сочетается с линиями зеркальной симметрии — $C_n n L_2$, причем количество последних равно порядку вращения. Если n — четное, то центр вращения одновременно является центром инверсионной симметрии — $C_n n L_2 СИ$. 2. Центр вращения без линий зеркальной симметрии порядка n — C_n .

Возможно несколько случаев расположения элементарной фигуры относительно центра вращения. В первой группе симметрии, обладающей центром вращения, инверсии и линиями зеркального отражения, элементарной фигурой является полярный вектор, который либо выходит из центра вращения, либо коллинеарен с ним; если элементарная фигура — полярный тензор, то центр вращения либо совпадает с центром симметрии тензора, либо лежит на перпендикуляре к середине тензора.

Во второй группе центр вращения расположен произвольно относительно элементарной фигуры. Во всех случаях вращение производится на угол $360/n$. В результате вращения полярных векторов и тензоров первой группы элементарные фигуры могут из прямолинейных

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} = \text{const}$$



(нульную группу)
фигур (полярного
и прямолинейного)

группа

превратиться в криволинейные, спиральные, что приводит к вырождению линий зеркального отражения и переходе первой группы симметрии во вторую. Если к полученным фигурам парагенераций применить сдвиг, то получим фигуры либо без элементов симметрии из группы движений (n — нечетное), либо с единственным центром инверсионной симметрии (n — четное).

Если фигуры парагенераций подвергнуть сжатию (растяжению), то вместо правильных многоугольников, вписанных в окружность, получим неправильные, вписанные в эллипс. Эти фигуры могут обладать двумя линиями зеркальной симметрии, центром вращения порядка 2 и центром инверсионной симметрии — $C_2 2L_2 CI$ либо только последним элементом симметрии — CI .

Вращение и гомотетия приводят к фигуре парагенерации в виде логарифмической спирали. Эти фигуры образуются в геометрических формах центрального типа. В эндогенных парагенерациях элементарные фигуры представлены линиями пересечения радиальных даек и жил с дневной поверхностью, в экзогенных — русловыми отложениями рек, стекающих с центрального поднятия, или линейными лавовыми потоками, вытекающими из жерла центрального вулкана конической или пирамидальной формы.

Сpirальные фигуры парагенераций образуются в блоках одновременно с динамическим вращением последних (например, в гнейсовом Саксаганском куполе на Украинском щите). Плоскость фигуры парагенерации может совпадать с плоскостью горизонта.

II. Пусть элементарная фигура двумерна и представлена лентой, линзой, эллипсом, кругом. Тогда фигуры парагенераций имеют ту же симметрию, что и одномерные элементарные фигуры.

III. Если элементарные фигуры трехмерны, то центрами симметрии являются ось вращения, обычно ориентированная по радиусу-вектору гравитации, и линия зеркального отражения. Проекция фигур на плоскость горизонта тождественна двумерным фигурам парагенераций. Если ось вращения наклонена к горизонту, то она выходит в фокусе эллипса и тогда между радиальными направлениями углы различны, но равны площади, ограниченные смежными радиальными направлениями и эллипсом, что представляет собой статический вариант второго закона Кеплера (табл. 15). В этом случае в пространстве фигура парагенерации вложена в конус с осью, наклоненной к горизонту. Фигуры такого облика свойственны преимущественно эндогенным, интрузивным, вулкано-плутоническим, метасоматическим и рудным объектам.

Фигуры парагенераций с симметрией плоских сеток имеют две оси трансляции, пересекающиеся под углом. В общем случае угол косой, в частном — прямой. В общем случае величина шага вдоль каждой из осей различна, в частном — постоянная. В зависимости от величины угла между осями трансляции и величины шага трансляции вдоль каждой из осей имеем 5 систем узлов параллелограмматических сеток, различающихся по симметрии и (или) параметрам ячеек [218]:

Таблица 16

Систематика фигур парагенераций с симметрией плоских сеток

Сетки	Сетки				
	Квадратные	Правильные треугольные	Прямоугольные	Ромбические	Параллелограм- мические
Виды					
С центрирован- ными узлами (и гранями)					
С центрирован- ными узлами, гранями (и ребрами)					
С центрирован- ными узлами и ребрами					

- 1) квадратная;
- 2) правильная, треугольная;
- 3) ромбическая;
- 4) прямоугольная;
- 5) косая.

Фигуры парагенераций с симметрией плоских сеток реализуются лишь в том случае, когда плоскость сеток параллельна горизонту. Элементарные фигуры, подвергаемые переносу по двум осям, могут быть нуль-мерными (точки), одно-, дву- и трехмерными. Фигуры первых трех размерностей располагаются целиком в плоскости сетки либо (исключая точки) пересекают ее, выходя за пределы сетки в трехмерное пространство. В последнем случае можно рассматривать и плоские сечения фигур плоскостью сетки. Элементарные фигуры всех размерностей располагаются в плоских сетках в избранных точках, а именно: в узлах пересечения осей трансляции, в центрах ячеек сетки и на середине ребер ячеек сетки. Для каждой из 5 разновидностей плоских сеток можно выделить следующие комбинации фигур парагенераций по расположению элементарных фигур (табл. 16):

- в узлах ячеек сетки;
- в узлах и на ребрах ячеек сетки;
- в узлах и в центрах ячеек сетки;
- в узлах, на ребрах и в центрах ячеек сетки;
- на ребрах ячеек сетки;
- в центрах ячеек сетки;
- на ребрах и в центрах ячеек сетки.

Симметрия фигуры парагенераций зависит в рассматриваемом случае не только от симметрии сетки, но и от симметрии элементарных фигур, расположенных тем или иным способом в ячейках сетки. Виды симметрии фигур парагенераций в зависимости от симметрии элементарных фигур здесь не рассмотрены.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ПАРАГЕНЕРАЦИЙ И РЕКОНСТРУКЦИИ УСЛОВИЙ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Одним из актуальных вопросов учения о формациях является определение критерии для проведения границ между конкретными формациями ... выделение конкретных формаций является самостоятельной и сложной задачей.

Н. П. Херасков

Математическое моделирование парагенераций

Важнейшей проблемой учения о формациях, без конструктивного решения которой трудно ожидать решающих успехов в развитии теории и практики формационного анализа, является выделение ассоциаций горных пород как конкретных геологических тел.

Опираясь на опыт эмпирического выделения формаций и основываясь на одной из ведущих обобщающих идей современного естествознания о наличии уровней организации материальных объектов и систем, можно построить обобщенную модель породных ассоциаций, обратив особое внимание на формальную оценку единства парагенезисов пород. Естественно, что такая модель должна представлять собой идеализацию объекта изучения. Поскольку идеей научной деятельности, ее целью непосредственно выступает познание, раскрытие сущности вещей, постольку конкретные цели построения идеализированного объекта, его модели должны вытекать из самого реального объекта, его структуры. В этом смысле они (эти цели) не могут быть произвольными, а должны отражать объективную реальность в предметной деятельности исследователя.

Поскольку геологические формации (парагенезисы пород) являются объектами определенного уровня организации вещества [69], постольку их необходимо рассматривать как целостные системы, состоящие из элементов (тел горных пород и их сочетаний), имеющих определенную структуру, т. е. определенный способ сочетания и взаимосвязи элементов системы.

Для построения математической модели парагенерации особенно важно раскрыть, в каком наиболее общем свойстве формационных подразделений как уровня организации вещества проявляется целостность. По-видимому, если удастся найти это свойство, присущее всем без исключения парагенезисам пород, и «измерить» его, возникнет возможность вплотную подойти к построению их математиче-

ской модели и тем самым получить аппарат выделения формационных подразделений, отраженный в конкретном математическом алгоритме.

В теоретическом отношении весьма существенным для решения этой проблемы явилось введение понятий об элементарных породных ассоциациях — «характерных сочетаниях» — определенных типов горных пород [188] и парагенерациях как элементарных объектах формационного анализа [70]. При выделении парагенераций необходимо выполнить условие их неделимости как парагенезиса пород. Трудности выявления этого условия связаны с раскрытием противоречия прерывного и непрерывного, равномерного и неравномерного в приложении к последовательности чередования слоев различных пород в геологических разрезах.

При изучении осадочных толщ, с одной стороны, приходится сталкиваться с необходимостью рассматривать их как непрерывные образования, с другой — наличие четких межслоевых границ, границ между отдельными ритмами, стратиграфическими и литологическими подразделениями характеризует прерывность пород и их ассоциаций в разрезах. При этом «непрерывность» обычно понимается как неизменность сохранения определенных пород в разрезе и их взаимоотношений; «прерывность» — как смена состояний, изменения каких-то качеств, в данном случае смена одних типов пород или их сочетаний другими.

Поскольку части разрезов следует рассматривать как совокупность многообразных качеств, можно предположить, что максимумы прерывности реализуются на границе разных целостных систем, т. е. разных породных ассоциаций как определенного уровня организации вещества. Вместе с тем граница между такими системами относительна, а картина изменчивости пород смежных целостных систем, по образному выражению Д. Уэбба, «мучительно колеблется между непрерывностью и прерывностью» [60, с. 200].

Определение границы двух парагенераций связано с нахождением прерывности свойств, характеризующих их целостность, что возможно только при сравнении, по крайней мере, двух смежных целостных систем.

Каждая парагенерация, составляющая разрез или его часть, характеризуется структурой, т. е. способом сочетания и взаимосвязи элементов системы как целого, а целостность такой породной ассоциации образуется как результат определенных связей ее элементов, приведших к единству неоднородного и образованию однородного на новом качественном уровне. По сути дела, именно в однородности и состоит основное свойство породных ассоциаций, отражающее их системность, которое необходимо при сравнении двух или нескольких породных ассоциаций. По-видимому, не может вызвать сомнения тот факт (на него в свое время обращал внимание и Н. П. Херасков), что однородные отношения элементов (слоев пород) создают условия для количественных изменений тех или иных свойств внутри одной породной ассоциации, а неоднородные — для качеств-

венных изменений, т. е. к переходу к иной породной ассоциации.

Наиболее полной моделью парагенерации должна быть однородная совокупность пород, характеризующаяся не только определенным единством вещественного состава, но и однородностью внутрисистемных связей, образующих такую совокупность элементов (слоев пород); границы между конкретными парагенерациями проводят в местах, где наиболее отчетливо проявляется нарушение однородности.

Следует отметить, что при эмпирическом выделении формационных подразделений, осуществляемом при парагенетическом подходе, именно однородность вещественного состава и строения выделяемых ассоциаций пород всегда являлась руководящим признаком и позволяла проводить вполне удовлетворительно приближенные границы. Подчеркивая это обстоятельство, Н. П. Херасков писал: «В отношении проведения границ формаций однородность является элементарным случаем» [186, с. 21]. В качестве примера однородных сочетаний, «если не подходить к однородности через чур строго» [там же, с. 21], Н. П. Херасков рассматривает некоторые сланцевые и карбонатные свиты, отмечая, что переслаивание в них «двух или многих пород связано с однородным строением всеми переходами» [там же, с. 21].

Такой способ выделения формационных подразделений можно считать вполне оправданным, если иметь в виду, что при сравнении парагенераций обнаруживаются существенные различия, а сами парагенерации представляют собой конечные участки непрерывного разреза, промежуточные части которого исключены из рассмотрения как отвечающие постепенному переходу от одной парагенерации к другой. Следует отметить, что если на практике такой подход может быть оправдан, то теоретически он связан с серьезными затруднениями, требующими специального обсуждения.

Отмечая сложность решения вопроса об отношении переходных зон к той или иной ассоциации, Н. П. Херасков писал: «Главные затруднения при выделении формаций создают направленные последовательности с простыми и, особенно, со сложными членами. Если направленная последовательность не приводит к большим различиям в конечных членах, то ее естественно включать в единую формацию» [там же, с. 22].

Важность таких направленных последовательностей, часто представленных горизонтами с линзами полезных ископаемых, образующих переходную зону в разрезе между его частями, более или менее уверенно отнесенными к тем или иным парагенерациям, и заставляет обратить особое внимание на переходные зоны разрезов как на специальный объект изучения, который назовем термином *паратон**.

Решить вопрос, что в конкретном случае представляет собой паратон, можно на основе двух принципиально различных позиций.

* По аналогии с термином *экотон*, обозначающим переходную зону между двумя растительными сообществами [60].

Первая предполагает существование в переходной зоне в разных количественных отношениях примесей (в виде более или менее крупных вклинений или включений) индивидов одного парагенолита в другом (рис. 5). В данном случае проявляется принцип смешения В. И. Вернадского (с. 39). Возможны два варианта анализа паратона в зависимости от того, в каком направлении происходит замещение парагенераций. В своих краевых частях парагенерации могут раслаиваться, вследствие чего их границы приобретают зубчатую или клиновидную форму [9, 191]. Эти явления чаще всего встречаются

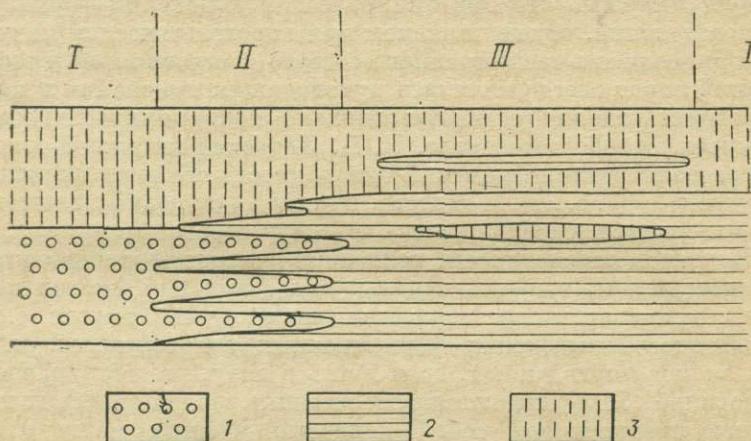


Рис. 5. Схема смены парагенераций в латеральном и вертикальном направлениях (к явлению паратона).

1—3 — парагенерации различных видов. Зоны расположения разрезов: I — наиболее благоприятные для выделения парагенераций; II — с латеральным замещением парагенераций; III — со сменой парагенераций по вертикали.

при латеральном (фациальном по Н. С. Шатскому [202]) замещении парагенераций. Несколько иначе явление паратона можно расшифровать при вертикальной смене парагенераций: в этом случае парагенерации одного вида встречаются в виде включений в парагенерациях другого вида.

Вторая позиция (при анализе паратона) предполагает существование еще одного уровня организации вещества, более высокого, чем парагенерация. В этом случае переходная зона, образованная направленным чередованием двух или нескольких парагенераций, представляет собой элементарную ячейку более высокого уровня организации, аналогичную элементарному ритму, в результате неоднократного повторения которого образуется парагенерация. Вопрос сводится, таким образом, лишь к нахождению чисто эмпирических по своему характеру доводов в пользу существования в природе объектов, которые могли бы быть отнесены к этому уровню.

Исследование уровней организации вещества, следующего за парагенерациями, требует прежде всего систематики видов параген-

нераций и следующих за ним объектов. Выполнить это можно, если продвинутся исследования парагенезисов пород — парагенераций. Решение должно состоять в ответе на вопрос: целесообразно или нет исследовать вещество, изучаемое сейчас на уровне атома, минерала, горной породы и парагенерации, на еще более высоком уровне его организации. Определить целесообразность можно только эмпирически сравнивая результаты, полученные исследователями, идущими различными путями.

Итак, независимо от того, какое значение будет иметь явление пааратона для теоретических построений, прежде чем исследовать его, необходимо выделить в непрерывном разрезе парагенерации как целостные системы, основным свойством которых является однородность вещественного состава и внутрисистемных связей образующих их элементов (слоев пород). Свойство однородности является условием неделимости парагенерации, а ее естественная определенность в разнообразных геологических разрезах обусловливается наличием границ, при переходе через которые однородность вещественного состава и внутрисистемных связей элементов нарушается.

Важно подчеркнуть, что рассмотрение однородного и неоднородного, равномерного и неравномерного, устойчивого и изменчивого (направленного) чередования слоев в разрезе как тождества противоположностей, отражающегося в единстве и противоречивости таких моделей формационных подразделений, как парагенерация и пааратон, приводит к выводу об относительности понятия «целостный объект».

Построив логическую модель парагенерации (элементарного парагенеза пород) как целостной системы, перейдем к построению ее математической модели, опираясь на успехи статистической теории однородности. Обращение к статистической теории однородности связано, во-первых, с тем, что смена слоев горных пород всегда оказывается более или менее случайной, не выводимой непосредственно из внутренних закономерностей седиментационного процесса, во-вторых, статистические оценки позволяют более или менее однозначно определять границы однородных совокупностей — дискретностей — в непрерывном разрезе осадочных отложений. Последнее особенно важно, если однородные последовательности слоев связаны между собой значительными по мощности переходными пачками.

Кроме того, вероятностные, статистические закономерности являются наиболее точными в смысле адекватного отражения действительного состояния объектов, их целостности. Вполне определенно об этом пишут И. А. Акчурин, М. Ф. Веденеев, Ю. В. Сачков: «Выражая наличие относительной устойчивости, упорядоченности в определенных классах массовых явлений, вероятностные распределения тем самым являются их структурными характеристиками» [4, с. 28].

С другой стороны, выделение парагенераций как однородных геологических совокупностей должно явиться основой для математического моделирования процессов (механизмов) их образования. Связь определенного механизма образования отложений с определенными функциями распределения исследуемых величин неоднократно

подчеркивает А. Б. Вистелиус [47, 48, 50]. Он на многочисленных примерах убедительно показал, что разнообразным процессам отвечают различные распределения вероятностей характеристик, являющиеся результатами этих процессов, а применявшимся математические методы (в частности, для изучения разрезов осадочных толщ) избрались с учетом того обстоятельства, что «выделение однородных последовательностей имело . . . решающую важность» [47, с. 14]. «В конкретном геологическом исследовании удобнее исходить из локальных особенностей процесса, предполагать однородность изучаемой совокупности . . .» [48, с. 7]. Выделение парагенераций как однородных совокупностей открывает широкие возможности для последующего математического моделирования процессов их образования.

Примем, что парагенерация статистически однородна в количественных характеристиках ее элементарной ячейки, а именно устойчиво распределение мощностей слоев, сложенных горными породами определенного вида; при этом дисперсия значений признаков внутри выделяемых совокупностей значительно меньше, чем скачки средних между различными совокупностями.

Для одномерного случая решение сводится к нахождению границы, разделяющей исследуемую совокупность на две (или более) совокупности, различающиеся по средним значениям признака. Если таких границ найти не удается, то исходная совокупность является (при некоторых условиях) однородной. Формально это условие записывается в виде

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n x_i, \quad (3)$$

где x_i — значение признака (в данном случае мощности) в точке (слое) i .

Аналогично разделяются совокупности в многомерном случае [153].

За математическую модель парагенерации принимается упорядоченное множество случайных векторов (или m -мерных случайных величин) Ξ_t , характеризуемое значениями $X(t) = \{x_{ij}\}$, где $t = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n$ — порядковый номер строки; $j = 1, 2, 3, \dots, m$ — порядковый номер столбца.

Матрица $X(t)$ имеет вид

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_t \\ \dots \\ X_k \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{t1} & x_{t2} & \dots & x_{tj} & \dots & x_{tm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kj} & \dots & x_{km} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

X_1, \dots, X_n рассматриваются как n значений m -мерных случайных величин $\Xi_1, \dots, \Xi_i, \dots, \Xi_n$, где $\Xi_i = \{\xi_{i1}, \dots, \xi_{ij}, \dots, \xi_{im}\}$.

Если $F(x_i)$ и $f(x_i)$ — соответственно интегральная и дифференциальная функция распределения Ξ_i , то последовательность $\{\Xi_i\}_{i=1, \dots, n}$ считается однородной, при

$$\begin{aligned} F(x_1) &= \dots = F(x_i) = F(x_n); \\ f(x_1) &= \dots = f(x_i) = \dots = f(x_n). \end{aligned} \quad (5)$$

В соответствии с построенной моделью в качестве критерия однородности выбираются равенства (5) и проверка на однородность сводится к сравнению функций распределения. Поскольку при изучении чередования слоев в разрезах имеем дело с «локальными совокупностями», для построения модели распределения параметров которых обычно может быть использован нормальный закон, поскольку можно предположить, что ряд $\{\Xi_i\}_{i=1, \dots, n}$ распределен по нормальному закону. В этом случае расхождение между функциями распределения $f(x)$ может возникнуть только за счет разницы в значениях математического ожидания или дисперсии и, следовательно, проверка на однородность может быть сведена к сравнению этих числовых характеристик соответствующих законов.

Алгоритм сравнения, предложенный Д. А. Родионовым, строится следующим образом [153].

Совокупность (4) разбивается на две, содержащие соответственно k и $n-k$ строк, а затем две полученные совокупности проверяются на однородность. При $k=1$ граница между разделенными совокупностями находится между первой и второй строкой (4), при этом верхняя таблица будет состоять только из одной строки, а нижняя из $n-1$ остальных строк. При $k=2$, граница сместится на одну строку ниже и верхняя совокупность будет представлена двумя строками, а нижняя — остальными $n-2$ и т. д. до $k=n-1$.

Как показал Д. А. Родионов, критерием для проверки гипотезы однородности совокупностей служит функция v_k , заданная на множество всех k (т. е. способов последовательной разбивки исходной совокупности на части).

Критерий рассчитывается по формуле, предложенной Д. А. Родионовым:

$$v_k = \frac{n-1}{nk(n-k)} \sum_{j=1}^m \frac{\left[(n-k) \sum_{t=1}^k x_{tj} - k \sum_{t=k+1}^n x_{tj} \right]^2}{\sum_{t=1}^n x_{tj}^2 - \frac{\left(\sum_{t=1}^n x_{tj} \right)^2}{n}}. \quad (6)$$

Вся совокупность наблюдений однородна, если v_k при любом значении k не попадает в «критическую» область при уровне значимости q и m степенях свободы; гипотеза однородности не может быть

принята, если хотя бы при одном значении k выполняется неравенство

$$v_k > \chi^2 q, \quad m. \quad (7)$$

В последнем случае необходимо решить вторую часть задачи — определить место нарушения однородности и провести границу, что выполняется по следующей схеме.

Полученные $n-1$ значения v_k сравнивают между собой и исходную неоднородную совокупность T делят на две однородные T_1 и T_2 , по строке k , для которой v_k максимально, после чего полученные совокупности вновь исследуют на однородность. Анализ прекращается, если гипотеза однородности каждой из совокупностей в отдельности подтверждается; в случае неоднородности хотя бы одной из них продолжается поиск границы.

Если v_k превышает значения χ^2 при заданном уровне значимости q и m степенях свободы, то по строке k проводят границу, разделяющую однородные совокупности. Последние в геологическом отношении являются парагенерациями, различающимися либо в индивидуальном и систематическом, либо в индивидуальном аспектах.

В первом случае контактирующие геологические тела принадлежат индивидуально обособленным парагенерациям различного вида; во втором — индивидуально обособленным парагенерациям одного и того же вида. Подавляющее большинство приблизительно однородных формационных подразделений типа молассы, флиша, скорее всего, окажется ассоциациями индивидуальных тел парагенераций различных видов или одного и того же вида.

Рассмотренный алгоритм выделения однородных совокупностей, применение которого далее иллюстрировано примером выделения парагенераций (см. гл. 4), строится, как отмечалось, на сравнении оценок математических ожиданий.

Однако внутренняя структура двух сравниваемых случайных последовательностей полностью не отображается ни математическим ожиданием, ни дисперсией, так как даже при равенстве оценок математических ожиданий и дисперсии взаимное положение составляющих последовательность слоев может быть существенно различно. Структура внутрисистемных связей элементов для характеристики однородности выделяемых парагенераций играет важную роль; для описания этой структуры необходимо ввести специальную характеристику: корреляционную или автокорреляционную функцию. Корреляционная функция характеризует степень зависимости между элементами случайной последовательности, относящимся к различным t и выражается следующей формулой:

$$K(t_1 t_2) = M \{ [x_{t_1} - \bar{x}_{t_1}] [x_{t_2} - \bar{x}_{t_2}] \}, \quad (8)$$

где $\bar{x} = M \{x_t\}$; M — математическое ожидание.

Значения корреляционной функции, рассмотренные в различных участках однородной последовательности, должны сохраняться неизмененными. Это условие, как и условие постоянства математиче-

ского ожидания и дисперсии, в теории случайных функций говорит о стационарности случайной последовательности. Согласно принятым в теории случайных функций определениям случайная последовательность $X(t)$ называется стационарной в широком смысле*, если ее математическое ожидание и дисперсии постоянны, а корреляционная функция зависит только от разности моментов t , для которых взяты ординаты случайной последовательности. Иными словами, стационарность $X(t)$ означает отсутствие тенденции к увеличению или уменьшению ее значений с изменением t и определяется постоянством корреляционной функции и математического ожидания в разных участках последовательности елоев.

В геологическом отношении стационарная случайная последовательность отвечает однородной совокупности, являющейся результатом случайного процесса осадконакопления. К аналогичным выводам относительно значения стационарности связи пород, объединенных в естественные парагенезисы, пришел М. В. Рац [150]. Доказывая, что только стационарная форма седиментогенеза образует осадочные толщи, подчиняющиеся расширенному правилу А. А. Иностранцева — И. Вальтера, он только такие, а «отнюдь не всякие осадочные толщи» предлагает именовать осадочными формациями, т. е. парагенерациями в нашем понимании.

Реконструкции условий образования парагенераций

Восстановление условий образования формационных объектов во многом, особенно по приемам и методам исследований и системе обработки фактического материала, практически ничем не отличается от реконструкции генезиса разнообразных стратиграфических подразделений, осадочных толщ, пачек пород, бассейнов осадконакопления [34, 105, 128, 135, 144, 158, 171, 198].

Вместе с тем есть обстоятельство, которое значительно расширяет возможности применения уже имеющихся методов и разработки новых приемов и способов реконструкции генезиса парагенераций. Суть дела заключается в структурной модели парагенерации как однородной в стохастическом смысле геологической совокупности. Из построенной математической модели парагенерации в генетическом смысле вытекает лишь одно: всякая конкретная парагенерация является результатом стационарного процесса, не изменяющего свои параметры во все время образования парагенерации. Смена одной парагенерации другой есть смена стационарных режимов слоенакопления, проявление которых связано с определенным единством тектонических, климатических и других физико-географических условий. Каждый геологический процесс, каким бы сложным он ни был, развивается в направлении его наибольшей

* Случайная функция $X(t)$ называется стационарной в узком смысле, если ее m -мерный закон распределения при любом m зависит только от интервалов $t_2 - t_1, \dots, t_n - t_1$ и не зависит от положения этих интервалов в области изменения аргумента t [148].

устойчивости, соответствующей условиям той среды, в которой он протекает. Результатом такого стационарного процесса и является однородная геологическая совокупность пород — парагенерация.

Естественно, что положение об устойчивости касается лишь главных черт этого процесса, определяющих структуру парагенерации и вещественный состав на ее собственном уровне организации вещества. Параметры этого процесса почти ничего не могут дать для определения генезиса структуры и вещественного состава слоя породы. Надо отметить справедливое указание Н. С. Щатского, что следует различать понятия о происхождении формаций (парагенераций) и слагающих их слоев пород. Однако это положение отнюдь не исключает изучение парагенераций на более «низких» химическом и минеральном уровнях. При определении генезиса парагенераций с успехом могут быть применены разнообразные литологические методы исследования. В частности, при изучении парагенераций, сложенных терригennыми породами, достаточно эффективно можно использовать методы физической седиментологии [135].

Особенно важно описание парагенерации на уровне химических элементов. Изучив связи элементов, можно восстановить палеогеографические и, в частности, палеоклиматические условия образования парагенераций.

Реконструкция процессов и условий образования парагенераций привлекательна прежде всего тем, что при этом речь идет о восстановлении процесса и условий образования однородного объекта, а не гетерогенных, часто полигенетических стратиграфических объектов, такими обычно являются свиты, толщи и т. п.

При математическом моделировании геологических процессов образования парагенераций геодинамические задачи распадаются по двум важнейшим аспектам: палеотектоническому и палеогеографическому. Их решение исчерпывающе описывает происхождение парагенераций. Естественно, что разделение этих аспектов условно, граница между ними относительна: в природе в процессе формирования слоя или ритма — элемента парагенерации — оба фактора действуют совместно, неразрывно, но, по-видимому, действительно являются решающими и в конечном счете определяют структуру парагенерации и ее вещественный состав.

Реконструкция палеотектонических условий

Слоистость, обусловленная скачкообразной сменой состава отложений в процессе осадконакопления, является характерным признаком осадочной толщи. Мощность слоя — один из самых существенных параметров в геологии, определяющий наряду с вещественным составом, структурой осадочной толщи и отражающий определенный механизм ее образования. Поэтому анализ распределения мощностей слоев, фиксированных в разрезах осадочных толщ, помогает восстановить тектоническую обстановку осадконакопления, реконструировать процессы слоебразования и слоенакопления, определить скорости седиментации и т. д.

Мощность слоя формируется обычно в результате сложного сочетания процессов отложения материала, его перемыва и переотложения. Чередование этих процессов, вызванное различными причинами, из которых ведущими являются тектонические и климатические, в конечном счете ведет к окончательному формированию мощности слоя и захоронению его впоследствии под вышележащим слоем, который также возникает в результате сложного сочетания процессов отложения и размыва.

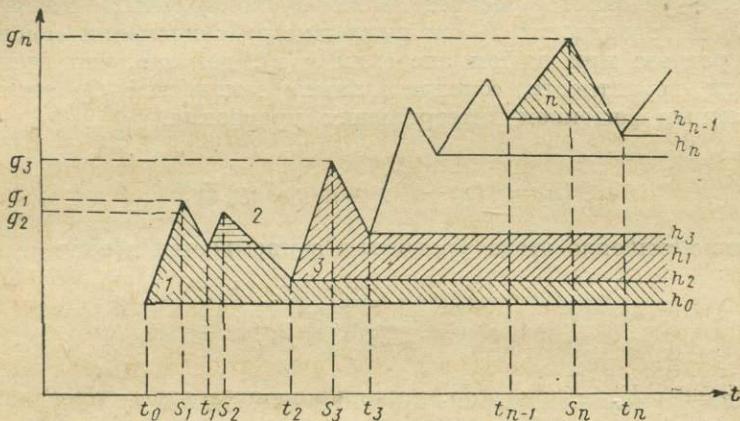


Рис. 6. Схема механизма слоеобразования (по А. Н. Колмогорову).

Разным обстановкам осадконакопления свойственны специфические черты динамики слоеобразования. Так, в условиях недокомпенсированного прогибания области седиментации накопление осадков, как правило, преобладает над размывом, и, наоборот, в условиях опережения сноса и накопления осадков над прогибанием решающую роль играют размывы. В связи с различием обстановок осадконакопления в разрезах осадочных толщ сохраняются мощности слоев, имеющие различные распределения, которые отражают специфику того или иного механизма и динамики процессов слоеобразования и слоенакопления.

Решение задачи о количественном соотношении накоплений и размывов было впервые получено А. Н. Колмогоровым [91]. Рассматривая схему слоеобразования, предложенную А. Б. Вистелиусом и О. В. Сармановым (рис. 6), на которой по горизонтальной оси откладывалось время (t_{n-1}, s_n), а по вертикальной — мощности накоплений и размывов ($\xi_n = g_n - h_{n-1}$), А. Н. Колмогоров полагал, что в общем случае в результате чередования накоплений и размывов некоторые слои могут размываться несколько раз, а иные и вовсе исчезать. Справедливо допуская, что в среднем мощности накоплений больше, чем глубины размывов, он рассматривал вероятности «окончательного» сохранения слоя в разрезе и условное

распределение вероятностей «окончательных» мощностей. А. Н. Колмогоров принял, что разность δ_n между первоначальной мощностью n -го слоя и глубиной следующего за его возникновением размыва задана бесконечной последовательностью случайных величин $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$, и допустил, что случайные величины δ взаимно независимы и имеют один и тот же закон распределения $P(\delta_n < x) = G(x)$ с плотностью вероятности $g(x)$ и положительным математическим ожиданием ($\mu\delta_n > 0$). При этих условиях он получил в общем виде выражение условного распределения «окончательных» мощностей слоев G_n и вероятности P «окончательного» сохранения мощности слоя в разрезе при любом значении $g(x)$, доказав, что функция плотности вероятности «окончательных» мощностей G_n является единственным решением интегрального уравнения

$$S(x) = g(x) + \int_{-\infty}^0 g(x-y) S(y) dy. \quad (9)$$

Формально решение этого уравнения записывается в виде

$$S(x) = \sum_{r=0}^{\infty} S_r(x), \quad (10)$$

где $S_r(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_r(x, y) g(y) dy$, а итерированные ядра определяются равенствами

$$K_r(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_1(x, z) K_{r-1}(z, y) dz.$$

С геологической точки зрения модель механизма слоеобразования и слоенакопления, предложенную А. Н. Колмогоровым, можно считать вполне справедливой для областей осадконакопления, где отчетливо проявляется тектоническая мобильность, в процессе седиментации идет частая смена слоев, моменты накопления неоднократно сменяются размывами и образование всего разреза отложений связано определенным единством процесса во все время накопления осадков.

Предположив, что плотность $g(x)$ вероятности величин отвечает нормальному закону, получили первые три члена ряда [2].

Так как основной целью исследования являлось практическое использование полученного А. Н. Колмогоровым ряда (10), для получения числовых результатов использованы три выведенных члена этого ряда:

$$S(x) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-a)^2} + \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \sqrt{2}a\right)^2} + \\ + V\left(\frac{\sqrt{2}x}{2\sigma}\right) + \frac{1}{2\sqrt{6}\pi\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\left(\frac{x}{\sqrt{3}} - \sqrt{3}a\right)^2} V\left(\frac{\sqrt{6}x}{3\sigma}\right), \quad (11)$$

где

$$V(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

что и определяет закон распределения вероятности мощностей слоев в геологических разрезах.

Вероятность «окончательного» сохранения слоя в разрезе, не зависящая от номера слоя n и служащая характеристикой всего разреза, вычисляется по формуле

$$P = \frac{1}{\int_{-\infty}^{+\infty} S(x) dx}. \quad (12)$$

Подставив в это выражение полученные значения и использовав предложенные И. Г. Хановичем приемы интегрирования, получим

$$P = \frac{1}{1 + V\left(\frac{a}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} V\left(\frac{\sqrt{2}a}{\sigma}\right) + \frac{1}{3} V\left(\frac{\sqrt{3}a}{\sigma}\right)}. \quad (13)$$

По этой формуле вероятность «окончательного» сохранения слоя в разрезе вычисляется на ЭВМ*. Алгоритм программы предусматривает сопоставление методом наименьших квадратов фактически наблюдаемого в конкретном разрезе парагенерации статистического распределения имеющихся слоев по мощности $f^*(x)$ с условным распределением вероятностей «окончательных» мощностей сохранившихся слоев $S(x)$ и нахождение таких значений a и σ , при которых функция $S(x)$, включающая a и σ [6], лучше всего согласовывается с экспериментальными гистограммами мощностей слоев. Чтобы учесть влияние различных частей экспериментальной гистограммы на отыскание a и σ , при которых теоретические и фактические распределения сопоставляются наилучшим образом, в программе предусмотрена возможность придания разных весов различным частям экспериментальной гистограммы. Это позволяет при отыскании a и σ уменьшить влияние случайных флюктуаций и «расплывчатых хвостов» исследуемой гистограммы мощностей слоев. После определения a и σ в программе предусмотрено вычисление по формуле (13) вероятности сохранения слоя в разрезе P , значение которого вместе с a и σ определяется в результате решения задачи.

Таким образом, практически для вычисления оценки P для каждой конкретной парагенерации на ввод в ЭВМ должны поступать

* С. И. Романовским предложена несколько иная формула вычисления вероятности сохранения в разрезе слоя конечной мощности [1]. Полученные по этой формуле оценки P практически полностью совпадают со значениями P , вычисленными по предложенной формуле (13).

значения мощностей всех слоев, имеющихся в разрезе парагенерации, должны указываться первоначальные значения a , приближенно соответствующие оценке среднего всех имеющихся мощностей, и σ , приближенно отвечающие оценке их дисперсии, а также возможный шаг подбора Δa и $\Delta \sigma$. Для этого достаточно иметь соответствующие таблицы мощностей слоев исследуемой парагенерации, обычно составляемые в полевых условиях в конкретных ее обнажениях или по результатам бурения отдельных скважин.

Палеотектоническая характеристика периода накопления слоев и ритмов, составляющих парагенерацию, отображается вероятностью сохранения слоя в разрезе P . С помощью величины P можно так же вычислять сумму мощностей уже размытых и не сохранившихся в разрезах слоев. Это позволяет определить общий объем осадочного материала, генеральные направления его транспортировки и реконструировать рельеф и глубины бассейнов осадконакопления и т. д. Если обозначить общую мощность слоев, которые должны были бы накопиться в случае $P=1$, через H , мощность слоев размытых через h_p , а мощность сохранившихся и зафиксированных в разрезе парагенерации через h_c , тогда, естественно, $H=h_p+h_c$, но $H=h_c/P$, тогда $h_p=h_c/P-h_c=h_c/P(1-P)$.

Эти формулы позволяют вычислять как теоретически возможную мощность накопления парагенерации H , так и составляющие ее части размыва и сохранения, которые меняются в зависимости от вероятности сохранения слоя в разрезе.

Реконструкция палеографических условий

При образовании парагенераций физико-географические условия в основном оставляют отпечаток на их вещественном составе и структуре. При изменении этих условий меняется содержание устойчивых и неустойчивых минералов, гранулометрических фракций, химических элементов, их связей и отношений между собой. Так, гидродинамические процессы находят отражение в определенных связях минералов и гранулометрических фракций, а закономерности климатических обстановок наиболее отчетливо проявляются в распределении и связях химических и особенно малых элементов. Это свидетельствует о принципиальной возможности восстановления палеогеографических условий осадконакопления на основе сведений о количественных соотношениях разнообразных параметров состава пород.

Одним из наиболее распространенных приемов такого исследования является линейный корреляционный анализ парагенезисов, впервые предложенный в геологии А. Б. Вистелиусом [46] для изучения парагенезисов минералов. Под линейным парагенезисом вещественных составляющих породы, т. е. минералов, гранулометрических фракций, химических элементов, понимается линейная положительная корреляционная зависимость между их содержаниями в породе.

Оценка парного коэффициента корреляции рассчитывается по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (14)$$

где \bar{x} , \bar{y} — средние значения параметров x , y ; σ_x , σ_y — средние квадратические отклонения.

Для оценки значимости парных коэффициентов корреляции используются преобразования z Фишера. Значения z в зависимости от коэффициентов корреляции табулированы [13].

В случае, когда функции распределения вероятностей некоторых коррелируемых параметров неизвестны, для оценки коэффициента корреляции r по выборочным данным можно использовать значение $r > 2/\sqrt{n}$, как это предложено А. Б. Вистелиусом. При отсутствии линейной связи коэффициент корреляции равен нулю, при увеличении линейной зависимости параметров x и y он возрастает и достигает +1, что соответствует четко выраженному парагенезису изучаемых элементов. Если зависимость между ними противоположна и парагенезис отсутствует, то значения парного коэффициента корреляции изменяются от 0 до -1.

Изучаются линейные парагенезисы и вычисляются коэффициенты корреляции для групп элементов, каждая из которых образует отдельную процентную систему: минералы тяжелой фракции; минералы легкой фракции; размерные фракции породы — фракции гранулометрического состава, породообразующие химические элементы или их соединения и малые или рассеянные элементы.

Если в каждой группе сумма процентного содержания составляющих группу элементов состава пород приближается к 100, то в первичные генетические связи вносятся искажения процентным пересчетом, и поэтому трактовать подобные связи внутри групп нужно с осторожностью. Правда, дело несколько облегчается большим числом элементов — параметров, входящих в отдельные группы (минералы тяжелой фракции, гранулометрический состав, малые геохимические элементы и т. д.). Как отмечает О. В. Сарманов [160], при числе параметров $n \gg 2$, искажение зависимости, вызванное процентным пересчетом, будет незначительным и даст правильную информацию о коэффициенте корреляции между элементами X и Y , входящими в одну процентную систему.

Корреляция, оцениваемая между параметрами, взятыми из различных процентных систем, естественно, имеет более прямой генетический смысл.

Особенно важно описать парагенерации на уровне химических элементов. Выявление линейных парагенезисов геохимических элементов и рядов их подвижности открывает широкие возможности восстановления палеоклиматических условий образования парагенераций. Кроме того, линейный парагенетический анализ хими-

ческих элементов, так же как и выявляемые парагенезисы минералов, позволяет определить металлогеническую специализацию парагенерации [73].

На основе методов корреляционного анализа Ю. К. Бурковым [25] построены стохастические модели эмпирических рядов подвижности малых элементов в осадочных толщах. Главная идея здесь сводилась к предположению о том, «что соседние элементы в рядах подвижности обладают максимально сходными соотношениями масс, мигрирующих в виде обломков и взвесей, и масс, перемещающихся в форме растворов, а для крайних членов ряда эти соотношения различаются наиболее резко» [25, с. 23]. Основанием к этому явились теоретические положения о закономерностях распределения химических элементов в зависимости от форм их миграции в условиях поверхности Земли и моделях рядов геохимической подвижности для разных физико-географических условий седиментации, построенные главным образом в работах Н. М. Страхова [171], «Распределение элементов в ряд геохимической подвижности демонстрирует влияние индивидуальных физико-химических свойств элементов на их миграционную способность в условиях поверхности Земли» [171, с. 29].

Опираясь на соображение о сходстве физико-химических свойств соседних элементов в рядах подвижности, Ю. К. Бурков сделал вывод, что степень согласованности колебаний концентраций будет более высокой для каждой пары рядом расположенных в ряду элементов по сравнению с элементами, расположенными через один, через два и т. д. Выразив степень согласованности коэффициентами корреляции r и обозначив корреляционные связи между соседними элементами величинами $r_{1,2}; r_{2,3}; \dots; r_{(n-1),n}$, он представил следующую идеальную модель ряда подвижности:

$$\begin{array}{ccccccc}
 x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & & \dots & x_{n-1} x_n \\
 r_{1,2} > r_{2,3} > r_{3,4} > & & & & & \dots & > r_{n-1,n} \\
 r_{1,3} > r_{2,4} > & & & & & \dots & > r_{n-2,n} \\
 r_{1,4} > & & & & & \dots & > r_{n-3,n} \\
 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 & & & & & & r_{1,n},
 \end{array}$$

где каждый элемент x_1, x_2 и т. д. занимает строго определенное положение в ряду, а сам ряд отвечает ряду подвижности элементов. При этом значение растворов в миграции элементов возрастает при перемещении в ряду слева направо, т. е. крайние правые элементы ряда мигрируют в растворах, а левые принадлежат обычно взвесям и обломкам.

Вычислив оценки парных коэффициентов корреляции между концентрациями химических элементов, характеризующих те или

иные породы парагенерации или, как это предложено В. И. Драгуновым [73], парагенерацию в целом, и расположив коэффициенты корреляции в ряды неравенств, наиболее оптимальным образом отвечающих предложенной идеальной модели, можно определить точное положение каждого из элементов в ряду подвижности. При построении предложенной матрицы следует иметь в виду, что в первом (верхнем) ряду должны располагаться коэффициенты, обладающие наиболее высокими значениями связи, во втором — более низкими и т. д.

Чтобы достаточно надежно и объективно выделить ассоциации элементов, необходимо учесть оценки коэффициентов корреляции не только между самими элементами, но и связи каждой пары элементов со всеми остальными. Трудности такого учета очевидны, если принять во внимание практическую возможность существования отрицательной корреляции какой-либо пары элементов, но тем не менее вхождения их в единую ассоциацию из-за сильных положительных связей этих элементов с остальными членами.

Для преодоления возникших осложнений предложен метод многократной корреляции, позволяющий выделить «иерархию ассоциаций элементов» [17]. Суть его заключается в том, что для выяснения взаимоотношений пары элементов со всеми остальными оценивается корреляция двух переменных величин, представляющих собой коэффициенты корреляции каждого из двух элементов со всеми остальными. Таким образом удается оценить меру связи между всеми элементами множества на более высоком уровне их взаимоотношений, выраженную через корреляцию коэффициентов корреляции. Многократно повторяя предложенную операцию, можно получать все более «интегрированные» ассоциации элементов, отвечающие все более высоким уровням их взаимоотношений, вплоть до вырождения в две противоположные, «антагонистические», группы элементов. Последовательно анализируя получаемые матрицы коэффициентов корреляции, можно проследить «динамику» организации ассоциаций, последовательность вхождения элементов в них.

Несмотря на то что строгая математическая корректность предложенного метода многократной корреляции до сих пор еще не обоснована, эвристическая ценность его не вызывает сомнений. С помощью этого метода удается выявить ассоциации не только химических элементов, но и иных вещественных составляющих пород и парагенераций: минералов, гранулометрических фракций и т. п.

Применение предложенных моделей и методов обработки экспериментальных данных о концентрации химических элементов в современных и древних отложениях позволили Ю. К. Буркову определить эталонные ассоциации элементов и ряды их подвижности, типичные для различных физико-географических обстановок седиментации.

Опираясь на основные положения теории литогенеза, удалось установить четкую зависимость состава ассоциаций малых элементов

и их последовательности в рядах подвижности от характера и интенсивности процессов химического и механического выветривания в различных климатических обстановках. По мере усиления процессов химического выветривания относительно механического увеличивается разрушение, распадение ассоциаций элементов, свойственных материнским породам. И наоборот, усиление механической денудации «консервирует» ассоциации элементов, присущих породам источника сноса материалов в бассейн осадконакопления.

Так, в осадках, формирующихся в аридных климатических условиях, обычно наблюдаются ассоциации элементов эндогенных горных пород, повышающие концентрации в ряду гранитоиды — базиты (титан, ванадий, марганец, хром и др.) и снижающие их в этом направлении (цирконий, бериллий, барий, свинец, стронций и др.).

Даже слабые проявления процессов химического выветривания в континентальных условиях изменяют структуру ряда подвижности, четко выделяют парагенезис стронция — бария, ограниченный от остальных элементов ряда сильными по значению коэффициентов корреляции отрицательными связями. Такое положение парагенезиса стронция — бария в континентальных осадках объясняется заметным повышением относительной подвижности этих элементов в условиях континентального седиментогенеза.

В обстановке морской седиментации ассоциация стронций — барий распадается и связь между данными элементами становится отрицательной. Это объясняется резким снижением подвижности бария, который обычно в морской обстановке переходит в трудно-растворимую форму сульфата [161]. В глубоководных участках морских бассейнов возникает новый парагенезис стронций — марганец, который обычно не наблюдается в осадках континента.

По мере усиления процессов химического выветривания происходит постепенная деструкция эндогенного ряда подвижности со свойственными ему парагенезисами элементов. Разрушается ассоциация элементов группы железа, возрастает подвижность марганца, между которым, с одной стороны, и титаном, хромом и ванадием, с другой — возникают отрицательные корреляционные связи. Увеличивается подвижность меди, никеля и кобальта, а при особенно глубоком химическом выветривании — хрома, положительные связи которого с титаном и ванадием значительно ослабевают.

Как отмечает Ю. К. Бурков, конечным итогом этого процесса является формирование ряда (от слабо подвижных к более подвижным): $Ti, Zr, Be(?) \rightarrow Cr, V \rightarrow N, Co(?) \rightarrow Pb, Cu \rightarrow Mn \rightarrow Ba, Sr$.

Таким образом, изучение линейных парагенезисов вещественных составляющих пород и парагенераций позволяет реконструировать физико-географические обстановки формирования парагенерации, а вместе с моделированием процессов слоенакопления дает возможность достаточно объективно определить их происхождение в целом.

ФОРМАЦИОННЫЕ ОБЪЕКТЫ И АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В дальнейшем наука будет применять не только индексы возраста, но и индексы формаций. Это будет изумительно интересная геология.

Н. С. Шатский

Стратиграфические, тектонические и минерагенические отношения формационных объектов и их ассоциаций

Геологические явления на Земле наблюдаются на объектах различного уровня организации, но всегда в условиях земной коры, взаимодействующей с внутренними и внешними оболочками; при этом взаимодействие оболочек протекает в условиях изменения положения, вращения и обращения Земли относительно Солнца и Солнечной системы относительно Галактики.

Учитывая все это, можно предложить следующее определение геологии. Геология есть наука о структурно-вещественных объектах (и их ассоциациях) минерального, горнопородного, формационного, оболочечного уровней организации вещества и о пространственно-временных закономерностях распределения этих, а также химических и палеобиологических объектов в объектах планетарного уровня.

Геология охватывает по смыслу определения фундаментальные исследования объектов минерального, горнопородного, формационного и оболочечного уровней, развивает систематическое описание их видов, исследует различные ассоциации этих объектов, особенности пространственного размещения, условия и последовательность их образования. Атомы и молекулы в систематическом аспекте относятся, бесспорно, к физическим и химическим объектам, геологичность же их поведения всецело определяется объектами более высоких уровней, в состав которых они входят. Палеонтологические объекты являются не столько геологическими, сколько палеобиологическими.

При всех различиях палеонтологии, минералогии, петрографии и учения о формациях есть нечто общее в их положении в системе геологических наук. Все перечисленные разделы геологии имеют дело с выделением видов объектов, являющихся однородными в структурно-вещественном отношении (минералы, горные породы, формации) или окаменелыми остатками организмов и растений.

однородными в морфологическом аспекте. Объекты этих разделов геологии выделяются и изучаются так же, как и химические элементы, т. е. независимо от их дальнейшего использования при решении различных геологических задач. Иными словами, палеонтология, минералогия, петрография и учение о формациях являются фундаментальными разделами геологии. Основываясь на распределении этих объектов в геологических разрезах и по площади, геологи получают материалы для стратиграфических, тектонических и минерагенических построений, составляющих в целом то, что нередко понимается как геология в узком смысле.

Стратиграфия, тектоника и минерагения являются разделами геологии, исследующими объекты различных уровней организации и их ассоциации в обобщенных стратиграфическом, тектоническом и минерагеническом отношениях. Систематизированные геологические объекты, классифицированные в стратиграфическом, тектоническом и минерагеническом отношениях становятся систематизированными стратиграфическими, тектоническими и минерагеническими объектами.

Стратиграфия может быть определена как наука о последовательности формирования различных объектов и их ассоциаций, характеризующихся определенными наборами видов вещества атомного, минерального, горнопородного, формационного и оболочечного уровней, а также наборами видов палеонтологических объектов, последовательно изменяющихся в ходе необратимого развития объектов планетарного уровня (Земли и планет земной группы).

Современная стратиграфическая шкала фанерозоя и верхов криптозоя является шкалой, основанной на палеонтологических признаках. Однако геологические разрезы — это не только последовательность слоев горных пород, сгруппированных по заключенным в них органическим остаткам. Расчленение разрезов по геохимическим, минералогическим, формационным признакам, а также по особенностям «захороненного» магнитного поля (возможно, и гравитационного) широко используется наряду с биостратиграфическими методами.

Стратиграфическими индикаторами являются палеонтологические объекты, изотопы, минералы, горные породы, формации, виды и ассоциации видов которых, изменяясь по геологическим разрезам, с одной стороны, доставляют материалы для их корреляции, а с другой — позволяют реконструировать пути эволюции. Стратиграфическими индикаторами являются либо иерархизированные и систематизированные индивидуальные объекты (I тип), либо их ассоциации (II тип).

Стратиграфические индикаторы I типа — индивидуальные иерархизированные объекты определенного вида, характеризующегося одноактностью своего появления в ходе развития планетарного объекта, обнаруживаемой по локализации объектов этого вида в определенной части разреза. Биостратиграфическими индикаторами этого типа являются давно известные руководящие виды. Их роль в по-

следнее время осознается не только при выделении зон, но и при определении границ систем (примером являются исследования по границе силура и девона) [166].

Стратиграфические индикаторы II типа представляют собой ассоциации — ценозы иерархизированных и систематизированных объектов определенных видов, характеризующиеся одноактностью своего появления в ходе необратимого развития планетарного объекта, обнаруживаемой по локализации ценозов этих объектов в определенной части разреза. Большинство биостратиграфических объектов принадлежит к этому типу и выделяется по «комплексу» видов.

Формационные тела как объекты местной стратиграфической шкалы являются свитами или их частями — подсвитами, толщами, пачками. При выделении свит геолог прежде всего стремится к индивидуализации отложений некоторой части разреза, обычно не заботясь о том, является ли эта часть разреза однородным парагенезисом слоев горных пород, ценотической ассоциацией таких парагенезисов или парагенезисом парагенезисов слоев горных пород. Однако для формациоnолога подобные различия исключительно важны, поэтому необходимо начинать формационный анализ с послойного описания разрезов и последовательного группирования слоев в парагенерации и геоформации.

В рассмотренном аспекте формации являются объектами, стратиграфическое содержание которых определяется заключенными в них объектами иных уровней организации. Однако формации как вещество определенного уровня организации имеют собственные специфические пространственно-временные особенности, что позволяет использовать их не только для расчленения разрезов, но и для их корреляции. В этом случае формации выступают в качестве стратиграфических индикаторов — аналогов палеонтологических объектов.

Среди видов формаций могут быть «руководящие» для определенного этапа развития земной коры, например меловая формация — для отложений верхнего мела и палеогена, джеспилитовая — для нижнего докембрия и т. д.; в большинстве же своем виды формаций имеют весьма широкое стратиграфическое распространение.

Стратиграфические границы, определяемые по распространению формаций различного вида, т. е. формационно-стратиграфические границы, позволяют определить геисторические этапы развития земной коры. Геисторические подразделения, подобные выделяемым Г. Штилле протогею и неогею, могут быть приняты как крупнейшие среди подразделений подобного типа. Неогей в свою очередь может быть расчленен на более мелкие подразделения: миогей, охватывающий отложения и другие образования рифа, плиогей, отвечающий венду — палеогену, и плейстогей, начавшийся, по-видимому, в неогене [68].

Рассмотренные стратиграфические подразделения обусловлены ходом эволюции и являются ее отражением. Существует, однако, широкий класс стратиграфических подразделений, выделенных по

признакам периодического повторения в разрезах объектов определенного вида или ассоциаций объектов различных видов. Эти подразделения теснейше связаны с периодичностью изменения среды, периодичностью смены экологических отношений изучаемых объектов.

Анализ распределения частоты появления формаций определенных видов в геологическом разрезе может быть весьма эффективным средством стратиграфической корреляции. Естественно, что проявление циклов разного ранга находится в некотором соответствии с площадью их проявления. Основные результаты исследований в этом направлении, полученные Н. Б. Вассоевичем [33—36], В. А. Зубаковым [145 и др.], Г. Ф. Лунгерграузеном [119], достаточно обнадеживают. Вместе с тем А. Л. Яншин [223] справедливо указывает на существенные недостатки исследований явлений ритмичности геологической истории и серьезные отклонения и даже нарушения ее в индивидуальном развитии крупных геотектонических объектов.

Временные закономерности, отнесенные к объектам разного уровня, сравнительно просто решают проблему периодичности и направленности геологического развития. Направленность связывается с развитием Земли как планеты, периодичность же отражается в более или менее ритмичном появлении в разрезах формаций, горных пород и минералов тех или иных видов, что в свою очередь, может быть коррелировано с изменениями положения Земли в системе Земля — Луна — Солнце — Галактика [118, 119, 126, 145 и др.].

Последнее со всей очевидностью свидетельствует о необходимости отказа от своеобразного «биоцентризма» в геологии, о чем неоднократно высказывались А. П. Карпинский, И. С. Шатский и другие.

Тектоника может быть определена как наука о структурно-вещественных объектах и ассоциациях объектов Земли и планет земной группы, характеризующихся: а) определенными наборами видов вещества атомного, минерального, горнопородного, формационного и оболочечного уровней, а также наборами палеонтологических видов; б) определенными геометрическими особенностями поверхностей, ограничивающих эти объекты и их ассоциации.

Современный период развития тектоники и геологии в целом в отличие от всех прошедших этапов имеет все основания стать периодом охвата обобщенной концепцией уровней организации самых разнообразных частных построений, оперирующих с системами понятий, выработанными в ходе исследований объектов того или иного уровня. Среди них объекты формационного занимают равное положение с объектами иных уровней. Тектонические отношения объектов разных уровней [75, 145, 162] или, согласно Ю. А. Косыгину и др. [83, 102], различные тектоники: петротектоника, тектоника геологических формаций, их рядов, комплексов, тектоника геосфер — лишь различные выражения того несомненного факта, что пространственно-временные особенности объектов различных уров-

ней организации по-разному реализуются в тектонических явлениях.

Осознание иерархических и систематических аспектов тектоники может быть дополнено осознанием проявлений ценотических отношений геологических объектов в тектонических явлениях. С этой точки зрения объектами тектоники являются объекты двух различных типов.

Тектонические объекты I типа — индивидуальные тела палеонтологических остатков, минералов, горных пород, формаций, земная кора в целом. Существенно, что эти объекты рассматриваются с точки зрения соответствия их внутренней структуры и геометрических особенностей ограничивающей поверхности. Примером являются деформированные панцири трилобитов, разорванные ростры белемнитов, сдавленные кристаллы пирита, обломанные и залеченные кристаллы горного хрусталия, горные породы — тектониты, слои горных пород, образующие складку, и т. д.

Тектонические объекты II типа образуются ассоциациями объектов различного уровня, заключающих в качестве составных элементов-индикаторов включения объектов (или их ассоциаций) иных видов и иных уровней организации, распространение которых ограничивается поверхностью, характеризующейся определенными геометрическими особенностями. В большинстве случаев в качестве тектонических объектов обычно рассматриваются объекты II типа. Так, к ним относятся биостратиграфические объекты в тех случаях, когда последние характеризуются не только в их собственном смысле, но и в отношении образуемых ими структурных форм, например антиклиналь, сложенная кембрийскими отложениями, с несогласием перекрываемыми горизонтально залегающими отложениями ордовика.

В тектоническом отношении формационные объекты изучаются как индивидуально, так и в виде различных ценотических ассоциаций.

Учитывая ценотические отношения формационных объектов, выделяемые Ю. А. Косягиным и др. [83, 102], тектонику геологических формаций, тектонику формационных рядов, тектонику формационных комплексов можно рассматривать как единую тектонику формационных объектов и их ценозов или, иными словами, структурно-формационную тектонику. То же самое относится к аналогичным идеям И. В. Крутя [109], в которых не различаются систематические и классификационные (тектонические, стратиграфические) отношения различных геологических объектов и их ценотических ассоциаций.

Если в теоретическом аспекте развитие структурно-формационной тектоники не имеет каких-либо преимуществ перед изучением тектонических отношений объектов иных уровней, то по степени распространения структурно-формационных исследований она, несомненно, доминирует в региональной геологии и минерагении.

Систематическими признаками структурно-формационных объектов I и II типов являются виды или наборы видов слагающих их

формаций (парагенераций и геоформаций) и морфологические особенности ограничивающих поверхностей. Тектоника, как и всякая другая естественная наука, не может развиваться, не развивая систематику своих объектов, которая открывает дорогу всем остальным ее построениям.

Н. С. Шатский [199, 203, 206, 207] и Г. Штилле [212—215] все-сторонне разрабатывали проблему систематики тектонических объектов в своих исследованиях. Г. Штилле ввел понятие об энклаве — включении тектонического объекта одного вида в тектоническом объекте другого вида. Примером энклава могут быть срединные массивы, включенные в эпигеосинклинальные складчатые области. Свою последнюю работу Н. С. Шатский посвятил авлакогенам; систематические признаки этих объектов сближают их с объектами складчатого типа, однако по своему расположению они находятся среди платформ, являясь таким образом энклавом.

Поскольку проблемы систематики структурно-формационных подразделений в целом находятся вне компетенции учения о формациях, далее остановимся лишь на том, что для их решения могут дать региональные исследования закономерностей размещения формаций, их вертикальных и латеральных рядов.

Вертикальный ряд образуют формации, последовательно сменяющие друг друга в разрезе. Латеральный ряд образуют формации, сменяющие друг друга в латеральном направлении. И латеральные, и вертикальные ряды могут быть типизированы в тектоническом, генетическом и иных аспектах.

Кроме формационных рядов различают группы формаций, объединяемые не по последовательности их расположения в разрезах коры, а по тем или иным признакам, связанным непосредственно с телами формаций. В тектоническом аспекте понятия о группах формаций и рядах формаций нередко не различаются. Так, Л. Б. Рухин [158] и В. И. Попов [141—143] выделяют группы формаций по тектоническим особенностям областей, в которых формации развиты.

Статистический подход к решению проблем тектонического районирования различных регионов на формационном уровне слагающего их вещества позволяет использовать количественные оценки, которые совместно с количественными оценками структурных особенностей регионов могут стать вполне объективными критериями выделения структурно-формационных зон [5, 21, 72].

Формационные профили (рис. 7) позволяют наметить зоны, отличающиеся сменой парагенераций, геоформаций, изменением их мощности. При этом далеко не на всех стратиграфических интервалах неоднородность территории будет одинаково проявлена. Опыт показывает, что лишь в 0,6—0,7 случаев такие изменения фиксируются в соседних разрезах, если они располагаются на различных блоках. Обычно также появление незначимых латеральных изменений (с частотой 0,1) формационных подразделений. Формационные профили позволяют типизировать выделяющиеся области по наборам

формаций независимо от субъективных представлений о былых тектонических условиях или режимах этих областей.

Подобными же статистическими приемами можно определить границы стадий геотектонических (лучше геоисторических) этапов (или циклов) в различных регионах, что при их дальнейшей корреляции способствует более углубленному изучению явлений ритмичности геологических явлений. Статистическое определение границ стадий геоисторических этапов по распределению формаций в определенных регионах позволит в свою очередь выделять формационные подразделения как геогенерации, т. е. в аспекте, наиболее точно отве-

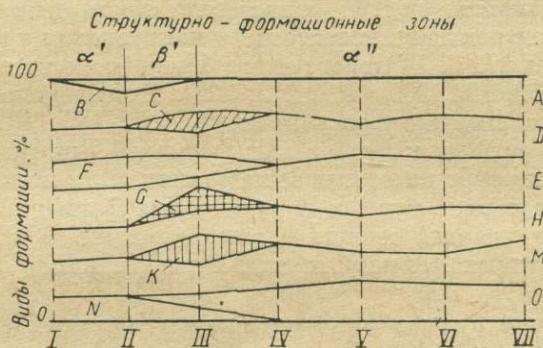


Рис. 7. Формационный состав структурно-формационных зон и их типизация.

I—VII — разрезы; α' , α'' , β' — формационные зоны типа α и β ; A—O — виды формаций.

чающем их геотектоническому определению по М. Берtrandу, В. В. Белоусову, Н. Б. Бассоевичу, В. Е. Хайну.

Наименование геогенераций должно отражать при этом стадию или фазу ее образования в геоисторическом этапе. В. В. Белоусов [8], С. Н. Бубнов [23], В. Е. Хайн [182] различают четыре стадии, которые для платформ С. Н. Бубнов предлагает именовать стадиями или фазами трансгрессии, инундации (затопление), регрессии и эмерсии (поднятие). Эти наименования целесообразно использовать для обозначения геогенераций, которые образуются в течение соответствующих стадий [5, 70, 76], и выделять таким образом трансгрессивную, инундационную, регрессивную и эмерсивную геогенерации.

Совокупность геогенераций образует геогенерационный ряд, т. е. ряд геогенераций последовательно сменяющих друг друга в разрезах платформ, геосинклиналей, складчатых областей и их структурно-формационных зон и отвечающих геотектоническому или геоисторическому этапам.

Некоторые виды парагенераций и геоформаций могут быть типоморфными для структурно-формационных зон определенного типа — эвгеосинклинальных, миогеосинклинальных прогибов различного

типа и т. п. Однако большинство видов парагенераций и геоформаций, скорее всего, будет иметь широкое распространение.

В целях периодизации тектонического развития среди парагенераций и геоформаций могут различаться: а) руководящие для определенного геотектонического этапа, б) руководящие для определенных стадий геотектонических этапов, в) широкого распространения.

Структурно-формационный подход в тектонике в настоящее время успешно конкурирует с построениями, основывающимися на выявлении структурных отличий в условиях залегания биостратиграфических подразделений.

Анализ закономерностей размещения месторождений теснейше связан с развитием парагенетического направления учения о формациях в трудах Н. С. Шатского и его ближайших учеников и последователей [159, 186, 200—202, 217, 222]. В последние годы удалось получить дополнительные результаты [5, 31, 32, 145, 146, 156, 164, 165].

Проблема рудных и рудоносных формаций относится в прикладном аспекте к сфере интересов минерагении. С позиций, занимаемой авторами, выделение рудных и рудоносных формаций является целевой классификацией геологических формаций. В этом отношении понятие о рудных формациях аналогично понятию о рудных минералах.

Определение рудных или рудоносных формаций как комплекса месторождений, создавая иллюзию «понятности и практичности», вызывает целый ряд затруднений, связанных с использованием различных ситуационных и генетических признаков в определениях геологических формаций. Не формации определяются месторождениями, а месторождения определяются их локализацией. Понятие о месторождении должно определяться через понятие о формации. Кстати, именно так образованы многие определения месторождений через понятия о рудах, рудных минералах, их концентрации и экономической рентабельности их освоения. Почему же при определении рудной или рудоносной формации нужно поступать наоборот?

Рудные и рудоносные формации (парагенерации, геоформации) правильнее различать по особенностям нахождения в них полезных компонентов [31, 145, 146, 156, 164, 165]. Рудные и рудоносные парагенерации и геоформации характеризуются повышенными кларками концентрации некоторых химических элементов, минералов, горных пород. Повышение концентрации в земной коре химических элементов иерархизировано; на первой стадии они рассеяны, далее входят в виде изоморфных примесей в решетки различных минералов, затем становятся минералообразующими элементами, нередко слагающими «самородные» золото, платину, железо, графит, алмаз и т. д. Для многих химических элементов дальнейшее повышение кларка концентрации не прекращается с появлением минеральной формы, чем собственно и определяется необходимость изучения рудных и рудоносных горных пород, парагенераций и геоформаций.

Элементарные ячейки рудных парагенераций образованы рудными горными породами разного или одного вида. К числу таких

парагенераций можно отнести породные ассоциации различных солей [78, 80], железорудные ассоциации, ассоциации пластов графита на западной окраине Сибирской платформы и другие ассоциации слоев или пластов рудных горных пород. Мощность рудных и рудоносных парагенераций обычно невелика, от единиц до нескольких десятков метров.

Рудоносными следует называть парагенерации, в составе элементарной ячейки которой хотя бы один из составляющих ее элементов (слоев, пластов) образован рудной горной породой (I тип), горной породой, обогащенной рудными минералами, обломками рудных горных пород или рудными конкрециями (II тип), или обогащена рудными химическими элементами и их изотопами (III тип). Рудоносными парагенерациями являются наиболее привычные геологам объекты — рудоносные пачки, содержащие рудные и безрудные пласти, и т. д.

Существенной стороной их исследования является возможность обнаружения перспективных площадей по отдельным ритмам — элементарным ячейкам, принадлежащим рудным и рудоносным парагенерациям, присутствующим в виде «примесей» в нерудных геоформациях или в ценоах нерудных парагенераций. Направление, в котором идет повышение квартка концентрации рудных парагенераций в исследуемом регионе, является в этом смысле направлением, вероятно, ведущим к промышленной руде.

Изучение парагенераций необходимо для разработки системы разведки и технологии добычи полезных ископаемых. Действительно, такие параметры парагенерации, слагающей исследуемое месторождение, как среднее арифметическое и стандартное отклонение мощности рудных и безрудных пластов, имеют прямое отношение к выбору параметров, связанных с его освоением.

Рудными следует считать геоформации, элементарные ячейки которых образованы рудными парагенерациями. Примером могут служить соляные толщи, в составе которых наблюдаются сложные и разнообразные ассоциации солей [78, 80].

Рудоносные геоформации в составе своей элементарной ячейки содержат наряду с рудными парагенерациями, не представляющие какого-либо интереса в минерагеническом отношении. Рудоносные геоформации достаточно крупны по своим размерам, локализация в их пределах полезных ископаемых определяется прежде всего телами рудных и рудоносных парагенераций. Выделение рудоносных геоформаций (или комплексов формаций, по Д. В. Рундквисту [156]) способствует прогнозированию в мелком, частью среднем масштабе.

В целом формационные исследования дают возможность: а) локализовать зоны распространения геоформаций, содержащих полезные ископаемые, б) в пределах зон локализовать их отдельные части, характеризующиеся распространением рудных и рудоносных парагенераций различного типа, в) и наконец, в пределах контура распространения рудных и рудоносных парагенераций выделить наиболее интересные в минерагеническом аспекте блоки.

Выделение и изучение парагенераций

Проблема исследования геологических формаций полевыми методами сформулирована Н. С. Шатским и Н. П. Херасковым. Н. С. Шатский [201, с. 53] писал: «Формации — геологические, естественно-исторические тела, которые можно научно описать только и прежде всего геологическими методами».

Наступило время испытания возможностей учения о формациях для изучения геологического строения и закономерностей размещения полезных ископаемых.

Операции, связанные с выделением, картированием и различного рода частными исследованиями парагенераций, сгруппированы в табл. 17.

Таблица 17

Операции, связанные со съемкой парагенераций [74]

Группы операций	Методы
Определение видов горных пород	Петрографические
Определение границ монопородных тел (слоев, линз и т. д.)	Послойное описание
Группирование монопородных тел (слоев, линз и т. д.) в однородные ассоциации по наборам видов слагающих их горных пород и структурным соотношениям — выделение парагенераций	Формационные
Определение видов парагенераций	
Съемка парагенераций	Геологическое картирование
Изучение парагенераций	Геохимические, минералогические, палеонтологические, фациальный анализ, стратиграфические, тектонические, минерагенические

Первая и вторая группы операций — определение видов горных пород и границ монопородных тел и их мощностей — выполняются обычными методами послойного описания разрезов. Однозначное определение видов горных пород (особенно формациеобразующих), распространенных в районе исследований, крайне важно; их полевое определение необходимо уточнить при камеральной обработке.

Определение видов горных пород в полевых условиях базируется на диагностических признаках, однозначно характеризующих сво-

ими группировками разные виды пород. В камеральных условиях группировкам диагностических признаков могут быть поставлены в соответствие систематические признаки. Как отмечено выше, диагностические признаки объектов определенного вида могут быть весьма разнообразными по характеру и количеству для объектов разного вида данного уровня, тогда как систематические признаки объектов всех видов данного уровня определяются наборами видов объектов предшествующего уровня и видом структуры (см. с. 37).

Диагностическими признаками являются цвет и интенсивность окраски, характер поверхности выветривания, особенности микрорельефа, характер отдельности, размер кристаллов или зерен и другие признаки, которые в пределах если не изучаемого района, то хотя бы обнажения, своей группировкой однозначно связаны со слоями горных пород определенного вида. В полевых условиях можно приблизительно определить по систематическим признакам виды грубозернистых и крупнокристаллических горных пород.

До разработки общепринятой систематики горных пород можно для более объективного их структурно-вещественного описания основываться на существующих определителях структуры и различных диаграммах состава. Диаграммы позволяют отображать классы реальных составов горных пород, распространенных в изучаемом регионе. Удобны треугольные диаграммы с симметричным расположением полей. Они достаточно выгодно отличаются от диаграмм с несимметричным расположением полей, поскольку позволяют выдерживать классификационные пороги практически для всех горных пород (рис. 8).

Заменить минералогическую характеристику состава горных пород химической можно, если предположить и оговорить их определенное соответствие. Химические характеристики являются лишь промежуточными для получения минералогических характеристик.

Определить границы монопородных тел-слоев не менее важно, чем определить виды образующей их горной породы. При чередовании слоев, сложенных горными породами разных видов, границы слоев легко определяются. Затруднения возникают, если слои слагаются горной породой одного и того же вида. Так, например, в разрезе могут следовать один за другим слои (или прослои), сложенные известняком с мозаичной структурой (систематическое определение), мощность которых составляет первые десятки сантиметров. Среди этих известняков залегают слои обломочных известняков с псамитовой структурой (калькарениты по американским петрофагам), располагающиеся в 10—15 м друг от друга, средней мощностью около 1 м. В такой ситуации мощность монопородных тел известняков может быть оценена либо в несколько десятков сантиметров, если считать слоями части разреза, ограниченные поверхностями напластования, либо 10—15 м, если слоями считать тела, ограничиваемые только по признаку видовой принадлежности образующих их горных пород.

В первом случае учитывают индивидуальные границы тел в условиях их равнозначности в систематическом отношении; во втором индивидуальными границами слоев известняков ошибочно пренебрегают. Мощность слоев обломочных известняков в обоих случаях определяется одинаково, поскольку их границы с известняками являются границами тел, различных не только индивидуально, но и в видовом отношении. Этот пример показывает, что при послойном описании разрезов необходимо учитывать границы, связанные с из-

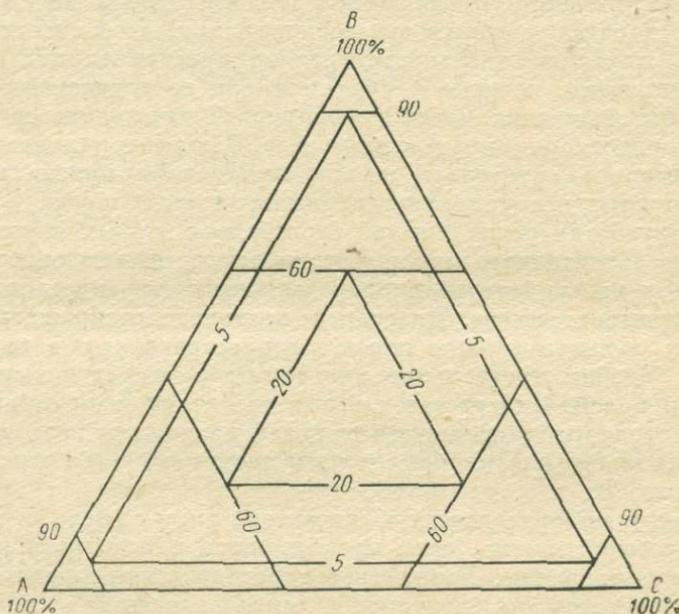


Рис. 8. Диаграмма состава горных пород с симметричным расположением полей.

менением видов горных пород и индивидуальных признаков слоев. Слой известняка может перекрываться в разрезе слоем доломита или другим слоем, образованным известняком с теми же систематическими признаками, что и подстилающий. Индивидуализировать слои обычно помогают незначительные различия в цвете, текстуре, наличие включений, например кремня, фаунистических остатков и т. д.

Третья и четвертая группы операций — группирование монопородных тел (слоев осадочной толщи) и определение их видов и индивидов — являются собственно формационными исследованиями. Можно значительно упростить выделение парагенераций как парагенезисов горных пород или элементарных породных ассоциаций, если дать описание разреза в форме таблицы-матрицы, по строкам и столбцам которой слева направо и сверху вниз последовательно

записаны мощности слоев, сложенных определенным видом горной породы (табл. 18).

Парагенерации выделяются группированием слоев (пластов и т. д.), сложенных определенным набором видов горных пород и характеризующихся определенными соотношениями. Разрез осадочной толщи (эффузивной, метаморфической и т. д.) представляется в матричной форме подобно тому, как предложено Н. Б. Вассоевичем для изучения флиша. В строках таблицы даны значения мощностей слоев в том или ином ритме, в столбцах — значения мощностей слоев, образованных определенным видом горной породы. Табл. 18 позволяет в удобной для дальнейших операций и наглядной форме представить результаты формационного расчленения разрезов на основе их послойного описания.

В стб. 1—12 шестой графы записывают виды горных пород, распространенные в описываемой части разреза. При трансгрессивном характере ритмов слева записывают виды горных пород, слагающие верхнюю часть ритма, в середине — среднюю, справа — нижнюю. Например, 1 — доломитистые известняки, 5 — глинистые известняки, 6 — известковистые аргиллиты, 7 — алевролиты полимиктовые, 9 — полимиктовые грубозернистые песчаники, 11 — гравелиты кварцевые. Пропуски в стб. 2, 3, 4, 8, 10, 12 позволяют при обнаружении в ходе послойного описания видов горных пород, пропущенных при первоначальном осмотре, разместить последние в том или ином из столбцов. Так, если при описании ритма 3б в его составе обнаружены среднезернистые песчаники, их можно поместить в стб. 8. В графе «Дополнительные сведения» делают различные заметки, в частности отмечают отбираемые образцы; при этом запись типа 5/101, 9/102 означает, что в данном ритме отобраны образец № 101 — глинистые известняки и образец № 102 — полимиктовые грубозернистые песчаники.

При регressiveном характере ритмов избирается обратный порядок размещения видов горных пород в стб. 1—12.

Ритмы бывают сложными или простыми. Парагенерации с простыми ритмами характеризуются сочетанием однопородных слоев, отвечающих ее элементам. Элементы парагенераций со сложными ритмами образуют подсистемы или интрасистемы [109], сложенные теми или иными группировками (ритмами разных порядков — пачками) однородных слоев. Примером может быть элементарная ячейка, определяемая сочетанием трех элементов: а) песчаники аркозовые (средней мощностью 2,5 м); б) ритмично переслаивающиеся аркозовые алевролиты (средней мощностью 0,5 м) и аргиллиты (средней мощностью 0,1 м), образующие слои средней мощностью 4 м; в) аргиллиты (средней мощностью 5 м). Повторением — трансляцией такой элементарной ячейки можно выполнить все тело, занимаемое описываемой парагенерацией со сложными ритмами. Очевидно, что если средний элемент был бы представлен только аркозовыми алевролитами, то структуру парагенерации пришлось бы рассматривать как простую.

Образец заполнения бланка по
Ф. и. о. Васильев В. И. Дата 7/VII 1972 г.

Стратиграфические подразделения (свиты)	Парагенерации	Обнажение	Номер слоев	Номер ритмов	Мощности слоев,					
					1	2	3	4	5	6
Южноостровская	Б	25	75—74	132	0,8				1,3	
		25	73—72	131	1,4				0,9	
		25	71—70	130	1,0				1,35	
		25	12—11	101	1,7				1,2	
	A	25	10	100						2,0
		25	9	99						1,9
		25	1	75						2,5
		24	54	52						1,9
Североостровская	B	24	53—50	51						
		24	5—2	36						
	A	24	1	35						1,8
		23	100	34						2,1
	B	23	99—97	33						
		23	6—4	2						
		23	3—1	1						

При описании разреза сверху вниз мощность верхнего слоя записывается на пересечении верхней строки и столбца, соответствующего виду горной породы, слагающей слой; далее запись следует слева направо по строке до столбца, отвечающего виду горной породы, образующей нижний слой ритма, после чего запись ведется на следующей вниз строке и т. д.

При описании разреза снизу вверх мощность нижнего слоя записывается на пересечении нижней строки и столбца, отвечающего виду горной породы, слагающей слой; после чего запись следует справа налево по строке и после обозначения мощности верхнего слоя ритма переносится на следующую вверх строку.

Границы парагенераций различного вида в большинстве случаев определяют визуально по таблице или используют различные статистические приемы, в частности изложенный выше алгоритм

Таблица 18

описанию разреза осадочной толщи

Разрез Akmay

сложенных горными породами						Дополнительные сведения	v_k при q			
7	8	9	10	11	12		0,1	0,05	0,005	0,001
						5/101				
2,3 2,7	0,9	0,9 1,1		0,2 0,3		9/102 7/103 8/104 9/105 11/105				
2,4 3,0 2,9		1,5 1,0 0,9		0,4 0,1 0,2						

Д. А. Родионова [153]. Столбцы графы v_k при $q=0,1$ и т. д. заполняют после выполнения статистических расчетов (см. с. 109).

Выделенные тела парагенераций следует определить в систематическом отношении, т. е. либо отнести к известным видам, либо выделить в новый. Геолог может выполнить эту операцию, если он профессионально исследует формации; если же это условие не выполняется, ему нужна помочь формациолога в той же мере, как нужна помочь палеонтолога при определении палеонтологических видов, химика, минералога и петрографа соответственно при получении химической, минералогической и петрографической характеристик горных пород. Создание полевых определителей формаций, которые значительно облегчат задачу их полевого определения, является одной из первоочередных задач учения о формациях в самом ближайшем будущем.

Многолетние исследования в одном регионе обычно позволяют геологу в поле предварительно определять виды палеонтологических объектов, минералов и горных пород; подобные предварительные определения можно распространить и на формационные объекты.

Табл. 18 может служить исходной для получения различных количественных характеристик выделяемых формационных тел и позволяет уже в полевых условиях вычислить для описываемых парагенераций среднее значение \bar{h}_i^m , квадратичное отклонение S_m и коэффициент вариации 100 (S_i^m/h_i^m) мощностей слоев, сложенных горными породами разных видов, в камеральных же условиях — перейти к вычислениям на ЭВМ.

Многословные (нередко малой информативные и разнородные) описания формаций могут быть сведены в компактные таблицы, форма которых дана в табл. 19. Сведения, содержащиеся в этих таблицах, позволяют использовать предложенные А. Н. Олейниковым [194] и Е. С. Смирновым [163] формальные приемы систематики, которые повышают однозначность определения видов формаций.

Таблица 19

Систематические признаки формационных видов [74]

Формация * Количество ритмов	Виды горных пород $E^1 \dots E^m$, среднее значение мощностей \bar{h} и стандарт S										
	E^1		E^2		E^3		E^4		...		
	\bar{h}^1	S^1	\bar{h}^2	S^2	\bar{h}^3	S^3	\bar{h}^4	S^4	...	\bar{h}^m	S^m
A	n_A	\bar{h}_A^1	S_A^1	—	—	—	—	—	—	—	—
B	n_B	—	—	\bar{h}_B^2	S_B^2	\bar{h}_B^3	S_B^3	—	—	—	—
B	n_B	—	—	\bar{h}_B^4	S_B^4	—	—	\bar{h}_B^m	S_B^m	—	—

* Может быть дано географическое или иное собственное наименование.

Пятая группа операций состоит в прослеживании на площади индивидуальных формационных тел, выделенных в опорном разрезе и отождествленных с тем или иным видом *. Они прослеживаются обычными методами полевого картирования с использованием уже накопленного опыта съемки свит и других подразделений местной стратиграфической шкалы. При съемке формационных тел опре-

* Смещение четвертой и пятой групп операций может привести к серьезным ошибкам в определении систематических индивидуальных границ формационных тел.

деляется систематическая принадлежность формаций, которые могут оказаться друг с другом в отношении включения или переслаивания — вклинивания.

Так, биоморфные известняки, образующие рифы онкоиды (биогермы), залегающие среди слоистых отложений, выделяемых в качестве свиты, или небольшой массив изверженных горных пород рассматриваются как включения в данной свите. Это почти исчерпывает примеры включений одного картируемого объекта в другом при геологической съемке обычного типа. Однако при съемке формаций включения небольших тел формаций (в том числе тех, которые

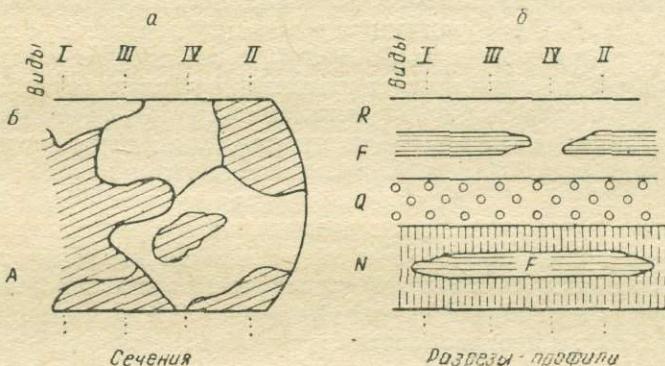


Рис. 9. Сопоставление операций определения индивидуальных границ зерен минералов в шлифе и формационных тел неправильной формы на карте формаций (а) и определение индивидуальных тел границ стратифицированных формаций (б).

I—IV — последовательно изучаемые сечения или разрезы.

не могут быть изображены в масштабе карты) в крупных телах формаций иного (и даже того же!) вида будут обычным явлением. Включения могут быть важны в минерагеническом или ином отношении, и тогда их следует изображать особыми внemасштабными знаками.

В латеральном направлении смена формационных тел выражается в переслаивании. Возможны различные способы изображения на карте зоны взаимного перехода тел формаций — от изображения их «клиньев» до выражения в изолиниях процентного содержания, рассчитанного по соотношению мощностей тел формаций разных видов.

Рассматривая формации как вещественные тела определенного уровня организации и определенного вида в пределах последнего, можно использовать некоторые аналогии в операциях с телами иных уровней организации, помогающие разработке методов картирования формаций. Так, при описании шлифа и серии профилей (разрезов) формаций (рис. 9) определяются наборы видов тел и индивидуальные их контуры, представленные в сечениях минералов в шлифе

и формаций в серии разрезов. При изучении шлифа и определении контуров зерен минералов петрограф способен сразу охватить всю площадь наблюдения. Однако если шлиф изучается с тем или иным приспособлением, сдвигающим каждый раз его анализируемое сечение, то в этом случае поле шлифа расчленяется сечениями, между которыми индивидуальные границы минеральных зерен приходится интерполировать.

На рис. 9, а показан порядок просмотра сечений шлифа при определении индивидуальных границ зерен минералов видов А и Б. Этот же рис. 9, а может быть иллюстрацией схемы выделения и картирования формаций магматических нестратифицированных пород. На рис. 9, б изображены положения и порядок просмотра профилей стратифицированных формаций, позволяющие определить индивидуальные границы формационных тел разных видов. Рис. 9, б иллюстрирует как схему прослеживания границ формационных тел по их разрезам вдоль одного из профилей, так и схему картирования площади по профилям (в условиях моноклинального залегания).

В зависимости от степени дислоцированности отложений, рельефа и масштаба карты меняются минимальная и максимальная мощности формационных тел, которые могут быть на ней изображены. Минимальная мощность таких тел определяется возможностью показать их на карте в виде полосы шириной не менее 0,8 мм и поля площадью не менее 2 mm^2 ; в противоположном случае их можно изобразить вне-масштабным знаком либо объединить с выше или ниже лежащими телами в пределах одного контура на карте под несколькими индексами.

Максимальная мощность менее определена, хотя нецелесообразно составлять карту в масштабе, при котором ее значительнейшие участки будут отвечать полям распространения одной или немногих формаций. В этом случае следует изменить масштаб карты или отразить на ней особенности формационных тел, которые могут быть вскрыты внутриформационным анализом [82].

При выборе масштабов съемки и карты следует ориентироваться на наиболее характерные для исследуемой территории размеры горизонтальных проекций сечений формационных тел в рельфе (зависящие от их мощности, дислоцированности и сложности рельефа) (рис. 10).

При съемке стратифицированных формаций можно использовать общие положения, выработанные в ходе картирования интрузивных, эфузивных и вулканических формаций, а также использовать опыт картирования формаций как палеогеографических [144] или литолого-фаунистических [192] единиц.

Шестая группа операций объединяет различные целевые исследования формационных тел. Эти операции связаны с изучением вещества формаций на минералогическом и химическом уровнях, изучением распространенных в формациях палеонтологических остатков и т. д., с одной стороны, а также с использованием самих формационных тел как объектов региональной стратиграфической шкалы,

Таблица 20

Соотношение систематики парагенераций и геоформаций и различных их классификаций [5, 58]

Систематика	Классификации									
	Ситуационная	Генетическая			Историческая, отражающая		Минерагеническая	По экстенсивности		Морфологическая
Геоструктурная (по Н. С. Шатскому)	Геотектоническая (по В. Е. Хайну)	Палеогеографическая (по Д. В. Наливкину)	Климатическая (по Н. М. Стражову)	направленность (по Н. П. Хераскову)	периодичность (по В. И. Драгунову, термины С. Н. Бубнова)	По распространению	По размеру	По форме	Прочие	
Виды										
Роды										
Семейства										
Классы										
Типы геоформаций и парагенераций										
Геосинклинальные										
Платформенные										
Устойчивых платформ										
Подвижных платформ										
Миогеосинклинальных и передовых прогибов										
Эвгеосинклинальные и межгорных прогибов										
Морские										
Континентальные										
Аридные										
Гумидные										
Ледовые										
Дорифейские										
Байкальские										
Каледонские										
Герцинские										
Альпийские										
Эмеральдные										
Трансгрессивные										
Индундационные										
Ретрессивные										
Нерудные										
Рудоносные										
Рудные										
Корообразующие										
Аксессорные										
Полноразвитые										
Включения										
Изометричные										
Площадные										
Линейные										
Выполняется по различным признакам										
Индивидуализация										

минерагенического, тектонического районирования соответствующих классификаций (табл. 20) — с другой. Операции первой подгруппы относятся к операциям внутриинформационного анализа, опе-

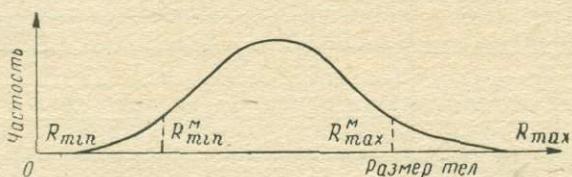


Рис. 10. Распределение размеров тел (по Ю. А. Косягину и Ю. А. Воронину, 1966 г., с дополнениями и изменениями).

R_{\min} — минимальный, R_{\max} — максимальный размер тел, которые целесообразно изображать в масштабе M . Тела отрезка $R_{\min}^M R_{\max}^M$ изображаются внемасштабным знаком, отрезка $R_{\min}^M R_{\max}^M$ в масштабе, отрезка $R_{\max}^M R_{\max}$ подлежат расчленению и более детальному изображению.

рации второй подгруппы являются собственно формационным анализом изучаемой территории, поскольку их объектом являются формации, понимаемые как целостные объекты.

Региональное исследование парагенераций правобережья пизовьев р. Енисея

Доверхнепалеозойские отложения, вскрытые на правобережье пизовьев р. Енисея, слагаются многочисленными видами горных пород, распространение которых в разных частях разреза неодинаково, что послужило основой для их группирования в те или иные «фациальные» или формационные подразделения.

До тех пор, пока формационные подразделения выделялись исходя из представлений о геотектонических или палеогеографических особенностях образования, их границы смешались по разрезу произвольно. К одной формации относили иногда все отложения нижне- и среднепалеозойского возраста (мощность до 5000—3000 м), иногда же сравнительно маломощные и однородные ассоциации горных пород (типа парагенераций).

Наложение условия о формационных подразделениях как парагенезисах пород [5, 186, 200, 201] сразу же позволило проводить границы парагенераций более или менее единообразно.

Единообразие на первой стадии достигалось путем выделения формационных объектов, диагностические признаки которых очень четко выделяли их среди других. Изучение этих объектов, в сущности, и послужило толчком к более пристальному исследованию проблем учения о формациях, их иерархии, систематики, индивидуализации и последующего анализа в разнообразных аспектах. Ниже в качестве примера описан парагенотип елагирского парагенолита (средний кембрий) и приведены краткие выводы, полученные при

формационном анализе девонских отложений, распространенных на правобережье низовьев р. Енисея.

Известняково-мергельный елагирский парагенолит выделен по парагенотипу, располагающемуся в нижнем течении р. Брус (рис. 11). Стратиграфическое положение — елагирская свита подзоны *Centropleura orientis* зоны *Anomocariodes* майского яруса среднего кембрия [71].

Систематические признаки: слагается мергелями в различной мере глинисто-алевритистыми, красноцветными, конкрециевидными, узловатыми ($h=3,8$ м, $S=-2,1$ м), с которыми чередуются известняки со сгустковой, мозаично-сгустковой и мозаичной структурой, серые, иногда с розоватым оттенком, слоистые ($h=-0,83$ м, $S=0,92$ м). В виде включений присутствуют прослои зеленовато-серых глинисто-алевритистых мергелей. Характер колебания мощностей слоев различного состава передает табл. 21 и рис. 12. Структура парагенерации характеризуется трансляционной симметрией вдоль оси, ортогональной к напластованию.

Условия образования. Геохимические исследования позволяют сделать следующие выводы об условиях образования парагенерации. Формула подвижности элементов, по Ю. К. Буркову,

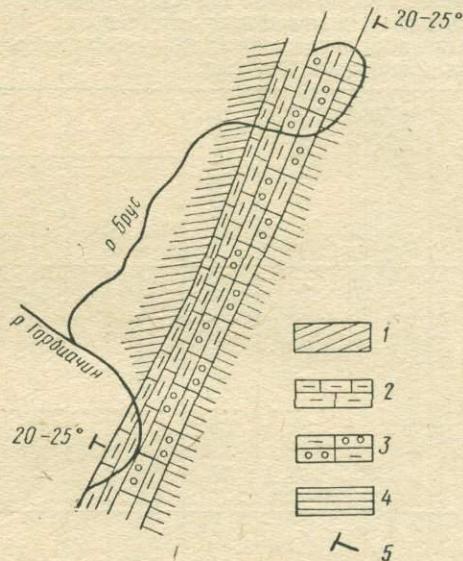
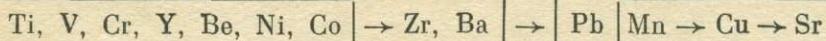


Рис. 11. Расположение елагирского и ка-
дагинского парагенотипов на р. Брус.

1 — подстилающие отложения; 2 — елагирский парагенотип; 3 — ка-дагинский парагенотип; 4 — перекрывающие отложения; 5 — углы падения.



почти идеально совпадает с эталоном ряда подвижности для условий химического выветривания. Сходство нарушает лишь цирконий, который проявляет аномальную подвижность. Химическое выветривание в области питания было достаточно глубоким, поскольку подвижны не только Be, Sr и Mn, но и Cu. Барий примыкает к ассоциации малоподвижных элементов, что может быть связано со слабым опреснением.

Анализ вероятностей сохранения слоев в разрезе при накоплении парагенерации свидетельствует ($a=0,9$, $\sigma=1,44$, $p=0,72$) о довольно высокой устойчивости погружения (рис. 13).

Таблица 21

**Строение и состав известняково-мергельного Елагирского парагенотипа
в разрезе на р. Брус (бассейн р. Хантайка)**

Горные породы, слагающие разрез (выделены по диагностическим признакам): I—серые слоистые известняки; II—красноцветные известняки; III—черные и темно-серые известняки «доманикового» типа; IV—зеленовато-коричневатые доломитовые известняки; V—конседиментационные глинисто-оползневые образования; VI—красноцветные тонкослоистые мергели; VII—зеленовато-серые мергели.

Система, отдел	Свята	Парагенерации	Номер обнажений	Номер слоев	Номер ритмов	Мощности слоев							$v_k = 0,05$	
						I	II	III	IV	V	VI	VII		
Средний кембрий	Елагирская	Кадагинская	21a	1	1							15,0		
				11,42	8			7,5				2,5		
				13,14	9	0,4						2,7		
				15,16	10	0,35						2,5		
				133	69				1,2			2,7		
				134										
				135,										
				99—98	70	1,0				1,5	4,5		98,80	
Мидиальный кембрий	Елагирская	Кадагинская	216	96,97	71	0,4							4,5	
				95,94	72	0,3							5,0	
				93—91	73	0,5							9,0	
				90—88	74								10,05	
				87,86	75	0,5							2,2	
				85,84	76	0,5							2,0	
				83,82	77	0,35							2,3	
				81,80	78	0,2							3,0	
				79,78	79	1,1							1,8	
				77,76	80	0,5							3,0	
				75,74	81	2,5							1,6	
				73,72	82	1,8							1,2	
				77,70	83	0,5							3,0	
				69,68	84	2,2							5,0	
				67,65	85	0,35							2,7	
				64,63	86	0,7							6,5	
				62,61	87	0,2							0,5	
				60,59	88	0,4							4,0	
				58,57	89	0,4							4,5	
				56,55	90	1,0							4,5	
				54,53	91	0,35							6,0	
				52,50	92	0,4							4,0	
				49,48	93	0,7							3,0	
				47—46	94	0,35							3,2	
				45—44	95	0,7							3,7	
				43—42	96	1,2							2,0	
				41—40	97	0,7							4,2	
				39—38	98	1,2							4,0	
				37—36	99	1,7							3,3	
				35—34	100	1,0							1,2	

Система, отдел	Мощности слоев								$v_k = 0,055$	
	Свита	Парагенерации	Номер обнажений	Номер слоев	I	II	III	IV	V	
Средний кембрий	Икэнская	Елагирская	23	33—32	101	0,7				2,7
				32	102	0,4				5,4
				31—30	103	0,5				2,0
				29—28	104	0,5				1,8
				27—26	105	0,6				8,0
				52а, б	106	0,6				1,6
				25в—23	107	0,4				10,0
				22—21	108	0,35				2,5
				20	109		2,7			
				19—18	110	0,35				7,0
				17—16	111	0,4				4,1
				15—14	112	1,4				2,5
				13	113	0,3				4,1
				12	114		0,6			0,5
				11—10	115		1,5			2,5
				9,8	116		1,5			4,2
				7	117	0,4				7,0
				6,5	118	4,0				3,5
				4,3	119	0,7				7,0
				3,2	120	0,2				4,0
				1—2	121	5,0				5,0
				3—4	122	0,5				2,0
				5—6	123	0,4				1,5
				7—8	124	0,3				1,2
				9—10	125	0,4				6,0
				11—14	126	2,0			13,5	0,5
										21,61
Икэнская	Икэнская	Елагирская	23	15	127	0,05				1,2
				16—17	128	0,6				2,4
				18—19	129	0,1				9,5
				20—21	130	0,3				5,0
				22—23	131	0,4				10,0
				24—25	132	0,3				5,0
				26—27	133	0,35				6,0
				28	134	0,1				2,8
				28—29	135	0,7				6,0
				30	136	1,0				4,0
				31	137	0,15				3,9
				31	138	0,2				3,8
				32	139	2,7				1,8
				33	140	1,8				0,7
				34	141	5,5				
Иггинская	Иггинская	Елагирская	23	35	142		4,5			
				36	143		4,0			

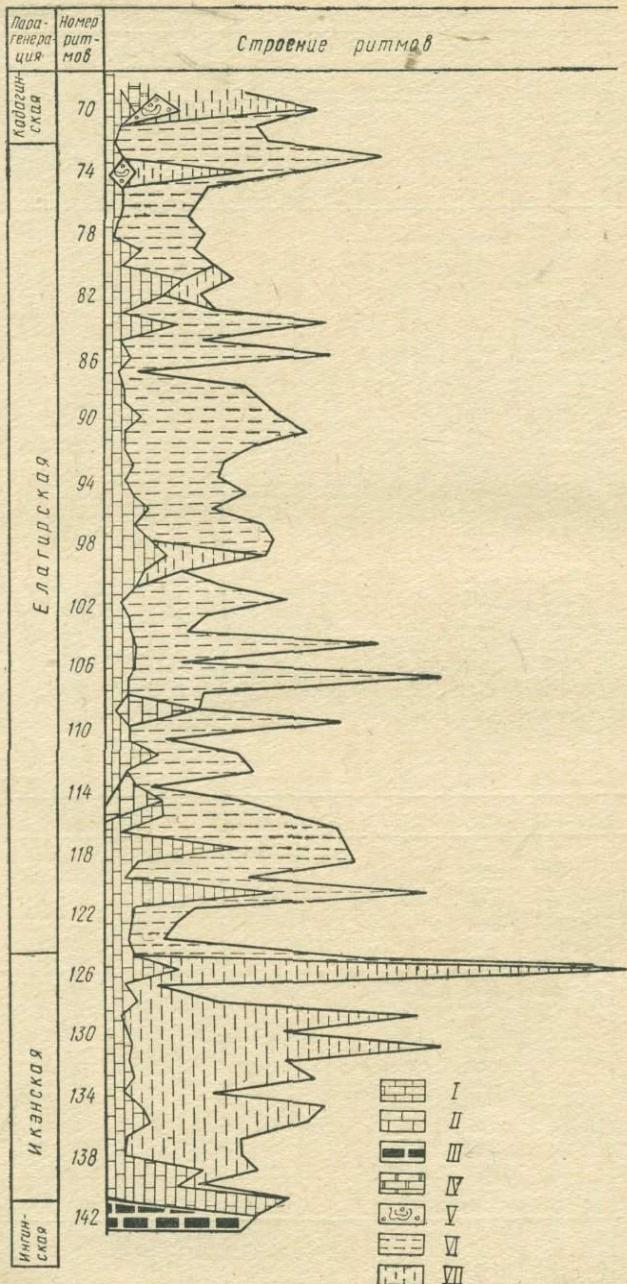


Рис. 12. Ритмограмма елагирского парагенотипа.
I—VII — виды горных пород (см. табл. 20).

В геоисторическом отношении елагирская парагенерация на западной окраине Среднесибирского плоскогорья отвечает эмерсивной геогенерации салайрского этапа, накопление которой связано с поднятиями и размывом в областях сноса.

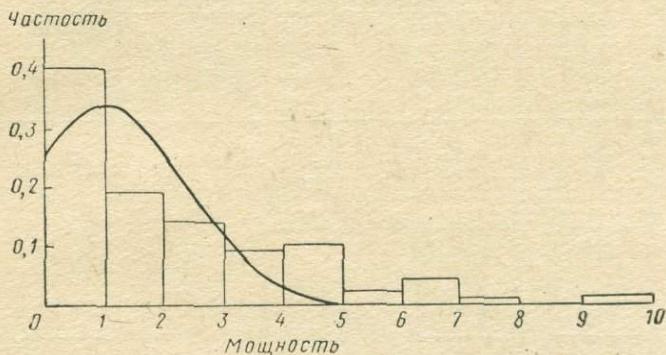
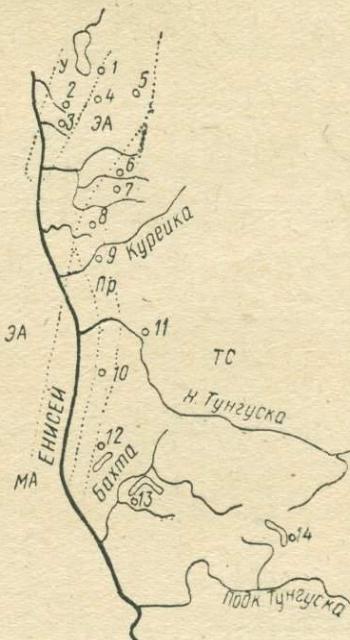


Рис. 13. Распределение мощностей слоев в елагирском парагенотипе.

Рис. 14. Схема расположения разрезов.

1 — Западный Хараэлах; 2 — р. Дудинка; 3 — р. Фокина; 4 — Норильск; 5 — Имангда; 6 — р. Куломбे; 7 — р. Брус; 8 — р. Джатлуг; 9 — р. Курейя; 10 — р. Сухая Тунгуска; 11 — р. Нижнетунгусская опорная скважина; 12 — р. Фатьянхиха; 13 — р. Бахта; 14 — р. Кондromo.

Пунктиром показаны границы структурно-формационных зон. ЗА — эвавлакогенная зона; МА — миавлакогенная зона; У — Угловатый блок; Пр — приавлакогенный прогиб; ТС — Тунгусская синеклиза.



Распространение. Елагирская парагенерация широко распространена на северо-западе Среднесибирского плоскогорья, она известна кроме бассейна рек Брус и Сухариха также в районе Норильска, где эту парагенерацию представляют отложения угдэка-

Таблица 22

Формационные подразделения девонских и нижнекаменноугольных отложений северо-западной окраины Среднесибирского плоскогорья

Ранне Транс	Караэлахская 30–50 м	Нориль- ская 35 м	Юктина- ская 30 м	40 м	Каларгонская 12 м?	80 м	Юктина- ская 20–25 м	Юктина- ский
	Талнахская 180 м	Зубовская 100–150 м	200 м	10 м	Нимская 70 м	80 м	Биробчанская 120 м	Живет
Эмериси- вная	Курейская 10–15 м	20–50 м		60 м	Верхнешекская 50 м		Мантуров- ский	
	1–10 м	1–40 м	Джалтулская 0,5 м	10 м	5 м	0,5 м	1–3 м	Средний
Каледон- ский	40 м	Разведочная 120–135 м	40 м	Лопальская 35 м	Кулюмбинская 45 м	45 м	Разведочнин- ский	
	5–10 м	Джалтулская 4–20 м		10–12 м	5–8 м			
Перео- сивная	60–80 м	Курейская 80 м	43 м	49 м	50 м		Курейский	
	190 м	Зубовская 200 м	150 м	Галель- ская 60–100 м	Нимская 20–40 м	41 м 24 м	Нимская 50 м Зубовская 9–12 м	Зиген
Структурно- формацион- ные зоны						10 м 2–5 м	Зубовский	Нижний
	Угдэкахирский блок	Эвавлакогенная зона		Приавлакогенный прогиб (передовая ступень)			Тунгусская синеклиза	Силур
Нижнеенисейский авлакоген				Сибирская платформа				
Вероятности (частоты) смены пара- генерации	$\frac{8}{16}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{11}{16}$			

Примечание. В числителе показано количество латерального замещения парагенераций, в знаменателе — количество синхронизированных для соседних разрезов горизонтов.

тирской свиты [71], и в районе с. Туруханска, где к ней относятся красноцветные мергели с прослойями известняков летнинской свиты.

Возможности применения парагенераций к решению задач геотектонического районирования, геологического картирования и выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых (рис. 14, табл. 22) показаны на примере девонских и нижнекаменноугольных отложений. Достаточно ясное различие парагенераций позволяет легко их картировать. При этом парагенерации, видовые отличия которых связаны с присутствием в них полезных ископаемых, отображаются на картах и разрезах [5].

Локализация парагенераций статистически отражает различные тектонические зоны, на границах которых смена парагенераций в латеральном направлении происходит с вероятностью (частотой) 0,5—0,7. В пределах структурно-формационных зон вероятность смены парагенераций не превышает 0,1. Подобные же возможности могут быть реализованы и для выделения стадий (фаз) геоисторических этапов. Введя понятие о кларке формаций и о кларке их концентрации, можно численно охарактеризовать (при заданной детальности признаков систематизации формаций) различные структурные зоны земной коры на различных стадиях их развития или (более строго) на их различных этапах.

Это обстоятельство свидетельствует о больших возможностях использования выделенных по структурно-вещественным признакам парагенераций для тектонического анализа не только отдельных регионов, но и крупных территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы сводятся к нескольким простым утверждениям.

1. Геологические формации заслуживают самого серьезного внимания геологов и естествоиспытателей.

2. Формации — парагенерации и геоформации (как парагенезисы парагенераций) — представляют собой вещество более высокого уровня организации по сравнению с горными породами, являющимися парагенезисами минералов.

3. При формационном анализе не следует противопоставлять и не следует смешивать этап парагенетического и этап генетического или иных исследований. Эти исследования являются дополнительными и выполняются последовательно. На этапе парагенетического исследования парагенераций и геоформаций выделяются их тела и определяются их виды. Тела парагенераций — парагенезисы горных пород — выделяются как однородные ассоциации по наборам видов горных пород и характеру отношений монопородных тел (виду структуры). Аналогично можно выделить тела геоформаций. Парагенерации и геоформации в дальнейшем могут быть изучены в онтогенетическом, стратиграфическом, тектоническом, минерагеническом, палеогеографическом и других разнообразных аспектах.

4. Проблеме выделения и систематики парагенераций и геоформаций следует посвятить дальнейшие усилия, проанализировав формационные исследования. В прикладном отношении усовершенствование теории и методов учения о формациях позволит существенно повысить эффективность изучения геологического строения и распределения полезных ископаемых. В ближайшем будущем можно ожидать включения в сферу исследования техногенных формационных объектов — продуктов геологической деятельности человека.

1. Адаменко Ю. В., Романовский С. И. Вычисление вероятности сохранения в разрезе слоя конечной мощности. — В кн.: Применение ЭВМ в геологии и горном деле. Мат-лы 1 науч. семинара, вып. 1. Л., 1971, с. 36—42.
2. Айнемер А. И. О критериях парагенетической связи пород в осадочных формациях. — В кн.: Мат-лы совещания. Общие закономерности геол. явлений, вып. 2. Л., 1965, с. 13—18.
3. Айнемер А. И., Одесский И. А. Палеодинамика позднеплиоценовых и раннеантропогенных континентальных бассейнов Западных Каракумов. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1969, № 9, с. 32—39.
4. Акчурин И. А., Веденеев М. Ф., Сачков Ю. В. Познавательная роль математического моделирования. М., «Знание», 1968. 46 с.
5. Анализ формаций (парагенераций) как основа геотектонического и минерагенического районирования. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. серия», 1972, т. 176, с. 38—61. Авт.: В. И. Драгунов, В. Л. Либрович, Р. Г. Матухин, Вл. В. Меннер.
6. Анатольева А. И. Домезозойские красноцветные формации. — «Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР», 1972, вып. 190. 348 с.
7. Беккер Ю. Р. Основные типы формаций Уральской складчатой области. — «Сов. геология», 1965, № 12, с. 52—68.
8. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. М., Госгеотехиздат, 1954. 608 с.
9. Белоусов В. В. Структурная геология. М., Изд-во Моск. ун-та, 1961. 208 с.
10. Бергер М. Г. Некоторые вопросы учения о геологических формациях. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1970, № 2, с. 156—160.
11. Бескин Н. М. Деление отрезка в данном отношении. М., «Наука», 1973. 64 с.
12. Боголепов К. В. Некоторые вопросы учения о геологических формациях. — «Геология и геофизика», 1970, № 1, с. 39—49.
13. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965. 464 с.
14. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., ИЛ, 1961, 151 с.
15. Борель Э. Вероятность и достоверность. М., «Наука», 1964. 119 с.
16. Борисяк А. А. Курс исторической геологии. Л.—М., ОНТИ НКTP, 1935. 424 с.
17. Боровиков Л. И., Бурков Ю. К. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза. — В кн.: Генезис и классификация осадочных пород. М., «Наука», 1968, с. 128—135.

18. Борукаев Ч. Б. К ритмостратиграфической и формационной характеристике оселковой серии Бирюсинского Присаянья. — «Геология и геофизика», 1967, № 7, с. 3—14.
19. Борукаев Ч. Б., Каракаева Г. Н. О работе секции формальных построений на первом Сибирском совещании по применению математических методов и ЭВМ в геологии. — «Геология и геофизика», 1966, № 7, с. 147—149.
20. Борукаев Ч. Б., Косягин Ю. А. Крупный вклад в геологическую науку. — «Геология и геофизика», 1971, № 8, с. 136—137.
21. Борукаев Ч. Б., Парфенов Л. М. Заметки о тектоническом районировании. — В кн.: Тектоника Сибири, т. V. М., «Наука», 1972, с. 43—61.
22. Бородская Р. Л. Геометрический анализ структуры горных пород. Л., 1973. 27 с. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та).
23. Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1960. 236 с.
24. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., ИЛ, 1963. 292 с.
25. Бурков Ю. К. Линейные парагенезисы малых элементов в осадочных толщах как индикаторы условий седиментогенеза. — В кн.: Физ. и хим. процессы и фации. М., «Наука», 1968, с. 22—26.
26. Бутов Ю. П. К вопросу о принципах и методах классификации осадочных формаций. — «Сов. геология», 1972, № 2, с. 31—40.
27. Бавилов С. И. Исаак Ньютона. — «Собр. соч.», т. III. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 288—467.
28. Ван Хао, Р. Мак-Нотон. Аксиоматические системы теории множеств. М., ИЛ, 1963. 54 с.
29. Варданянц Л. А. К истории земной коры. — «Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», 1967, № 1—2, с. 13—20.
30. Васильев В. И., Драгунов В. И. К систематике тектонических структур как остаточных деформаций. — В кн.: Давление и механика напряжений в развитии состава, структуры и рельефа литосферы. Л., 1969, с. 16—19. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та.)
31. Васильев В. И., Драгунов В. И., Плющев В. И. Прогнозное значение систематики рудных формаций. — В кн.: Основы науч. прогноза месторождений рудн. и нерудн. полезн. ископаемых. Л., 1971, с. 24—27. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та.)
32. Васильев В. И., Драгунов В. И., Рундквист Д. В. «Парагенезис минералов» и «формация» в ряду образований различных уровней организации. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1972, ч. СІ, вып. 3, с. 281—289.
33. Вассоевич Н. Б. К вопросу об условиях образования флиша. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1940, вып. 4, с. 37—65.
34. Вассоевич Н. Б. Условия образования флиша. Л.—М., Гостехиздат, 1961. 240 с.
35. Вассоевич Н. Б. История представлений о геологических формациях (геогенерациях). Л., «Недра», 1966, с. 5—35. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. серия, т. 128).
36. Вассоевич Н. Б., Гладкова Е. Г. О необходимости упорядочения терминологии, связанной с периодичностью и цикличностью литогенеза, нефтеобразования и других природных явлений. — В кн.: Соврем. проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых. М., «Наука», 1973, с. 9—31.
37. Верзилин Н. Н. К вопросу о классификации смешанных осадочных пород. — «Учен. зап. Ленингр. ун-та», 1962, № 310. Сер. геол. наук, вып. 12, с. 123—133.
38. Вернадский В. И. Парагенезис химических элементов в земной коре (1910). — В кн.: Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 395—410.
39. Вернадский В. И. Химические элементы и механизм земной коры (1922). — В кн.: Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 513—518.
40. Вернадский В. И. О рассеянии химических элементов (1927). — В кн.: Избр. соч., т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 519—527.

41. Вернадский В. И. Проблемы биохимии. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосфера. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1939. 34 с.
42. Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии IV. О правиле и левизне. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1940. 15 с.
43. Вернадский В. И. Изучение явлений жизни и новая физика. — В кн.: Биогеохим. очерки 1922—1932 гг. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1940, с. 175—197.
44. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. М., «Наука», 1965. 376 с.
45. Вильье Ж. П. Теория уровней и диалектика природы. — «Вопр. философии», 1962, № 10, с. 94—104.
46. Вистелиус А. Б. Мера связи между членами парагенезиса и методы ее изучения. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1948, ч. 77, вып. 2, с. 147—158.
47. Вистелиус А. Б. Материалы к литостратиграфии продуктивной толщи Азербайджана. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1961. 160 с.
48. Вистелиус А. Б. Красноцветные отложения полуострова Челекен. М. — Л., «Наука», 1961. 304 с.
49. Вистелиус А. Б. Фазовая дифференциация палеозойских отложений Среднего Поволжья и Заволжья. М., Изд-во АН СССР, 1963. 203 с.
50. Вистелиус А. Б. Теоретические предпосылки стохастических моделей и их проверка в конкретных геологических условиях. — В кн.: Междунар. геол. конгресс. XXIII сессия. Докл. сов. геологии. Проблема 136. М., «Наука», 1968, с. 7—14.
51. Вопросы классификации осадочных горных пород. XXIII сессия МГК. Докл. сов. геологии. Проблема 3. М., «Наука», 1968, с. 24—34. Авт.: Е. Д. Дмитриева, В. П. Либрович, О. И. Некрасова, А. В. Хабаков.
52. Воронин Ю. А. Об исследованиях, связанных с применением математических методов и ЭВМ в геологии. — «Геология и геофизика», 1967, № 10, с. 75—81.
53. Воронин Ю. А., Еганов Э. А. Вопросы теории формационного анализа. — «Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР», 1969, вып. 63, с. 123—145.
54. Воронин Ю. А., Еганов Э. А. Фации и формации. Парагенезис. — «Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР», 1972, вып. 146. 120 с.
55. Вотах О. А. Элементарные тектонические комплексы земной коры и геологические формации. — «Геология и геофизика», 1972, № 8, с. 10—20.
56. Вытесивание и литогенез. М., «Недра», 1969. 456 с. Авт.: В. П. Казаринов, В. И. Бгатов, Т. И. Гурова и др.
57. Вылцан И. А. К вопросу о соотношении ритмов различных порядков и их стратиграфических эквивалентах в осадочных формациях. — «Геология и геофизика», 1967, № 11, с. 38—47.
58. Геологические формации. — Мат-лы совещания 21—24 мая 1968, вып. 1. Л., 1968. 156 с.
59. Геология и математика. Новосибирск, «Наука», 1967. 254 с. Авт.: Ю. А. Воронин, Б. К. Алабин, С. В. Гольдин и др.
60. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М., «Мир», 1967. 360 с.
61. Грепневский Г. Кибернетика без математики. М., «Сов. радио», 1964. 182 с.
62. Григорьев Д. П. Основы конституции минералов. М., «Недра», 1966. 74 с.
63. Гриффитс Дж. Научные методы исследования осадочных пород. (Пер. с англ.). М., «Мир», 1971. 422 с.
64. Данбар К., Роджерс Дж. Основы стратиграфии. М., ИЛ, 1962. 364 с.
65. Дафф П., Халлам А., Уолтон Э. Цикличность осадконакопления. (Пер. с англ.). М., «Мир», 1971. 284 с.

66. Дзоценидзе Г. С. Влияние вулканизма на образование осадков. М., «Недра», 1965. 156 с.
67. Докучаев В. В. К вопросу о происхождении русского лесса. — В кн.: Сочинения, т. 1. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1949, с. 406—410.
68. Драгунов В. И. К стратиграфии, таксономии и номенклатуре позднедокембрийских толщ Восточной Сибири. (Тезисы докл. на совещании по стратиграфии отложений позднего докембия Сибири и Дальнего Востока). Новосибирск, 1962, с. 44—47.
69. Драгунов В. И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества. — В кн.: Мат-лы совещания. Общие закономерности геол. явлений, вып. 1. Л., 1965, с. 55—67.
70. Драгунов В. И. К терминологии формационных подразделений. — В кн.: Осадочные и вулканогенные формации. Л., «Недра», 1966, с. 36—47. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та, т. 128).
71. Драгунов В. И. Вендские, нижне- и среднекембрийские отложения правобережья низовьев р. Енисея. — В кн.: Стратиграфия докембия и кембия Средней Сибири. Красноярск, 1967, с. 107—123.
72. Драгунов В. И. Статистические аспекты геотектонического районирования. — В кн.: Тезисы докл. VI сессии науч. совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1968, с. 15—17.
73. Драгунов В. И. О петрохимическом и геохимическом изучении формаций (парагенераций). — В кн.: Вопр. петрохимии. Л., 1969, с. 462—464.
74. Драгунов В. И. Геологическая съемка стратифицированных формаций. Л., 1973, с. 184—191. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. серия, т. 221).
75. Драгунов В. И. Тектонические объекты в иерархическом и систематическом отношении. — В кн.: Металлогения и нов. глоб. тектоника. Тезисы докл. совещания 17—20 декабря 1973 г. Л., 1973, с. 36—39. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та).
76. Драгунов В. И., Смирнова Е. Б. Особенности тектонического строения северо-западной окраины Среднесибирского плоскогорья (к характеристике Нижнеенисейского авлакогена). Л., «Недра», 1964, с. 41—57. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. серия, т. 97).
77. Еганов Э. А. О выделении объектов исследования в геологии. — В кн.: Пути познания Земли. М., «Наука», 1971, с. 263—272.
78. Жарков М. А., Жаркова Т. М. Наборы и ассоциации соляных пород формаций хлоридного типа, их сравнительная характеристика и механизм образования. — «Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР», 1969, вып. 83, с. 1—79.
79. Жемчужников Ю. А. Угленосные толщи как формации. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1958, № 5, с. 14—33.
80. Иванов А. А., Воронова М. Л. Галогенные формации. М., «Недра», 1972. 328 с.
81. Иванов Г. А. Угленосные формации. Л., «Наука», 1967. 408 с.
82. Иванов Р. Внутриформационный анализ магматизма. — «Изв. ин-та Болг. акад. наук», 1968, кн. XVII, с. 311—326.
83. Иерархия геологических объектов и тектоника. — «Докл. АН СССР», 1972, т. 207, № 2, с. 411—414. Авт.: Ю. А. Косягин, О. А. Вотах, В. А. Соловьев, Р. Ф. Черкасов.
84. К вопросу о периодичности осадкообразования и о методе актуализма в геологии. — В кн.: К вопр. о состоянии науки об осадочных породах. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 146—163. Авт. Н. С. Шатский, Ю. А. Косягин, А. В. Пейве и др.
85. Канаев И. И. Очерки по истории проблемы морфологического типа от Дарвина до наших дней. Л., «Наука», 1966. 212 с.
86. Карпинский А. П. Заметка, представленная комиссии по номенклатуре горных пород на заседании в Париже 26 октября 1899 г. — В кн.: Избр. труды, т. IV, 1949, с. 436—438.
87. Катченков С. М. Спектральный анализ горных пород. Л., «Недра», 1964. 272 с.

88. Кедров Б. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., Изд-во АН СССР, 1962. 412 с.
89. Келлер Б. М. Флишевая формация палеозоя в Западном Урале и сходные с ней образования. — «Труды Ин-та геол. наук АН СССР», 1949, вып. 34, 168 с.
90. Кокшаров Н. И. Предмет минералогии. Краткая ее история. Кристаллы как настоящие индивидуумы неорганической природы. Спб., 1876.
91. Колмогоров А. Н. Решение одной задачи из теории вероятностей, связанной с вопросом о механизме слоеобразования. — «Докл. АН СССР», 1949, т. 65, № 6, с. 793—796.
92. Комиссарук А. М. Основы аффинной геометрии на плоскости. Минск, «Высш. школа», 1967. 240 с.
93. Кондаков Н. И. Логический словарь. М., «Наука», 1971. 656 с.
94. Королюк И. К. Сравнительная характеристика формаций рифея и кембрия Прибайкалья. М., Изд-во АН СССР, 1962. 128 с.
95. Косягин Ю. А. О положении геологии среди других наук и об основных проблемах современной геологии. — «Геология и геофизика», 1963, № 8, с. 3—12.
96. Косягин Ю. А. Геологические структуры и структурно-вещественные ассоциации. — «Геология и геофизика», 1964, № 7, с. 3—12.
97. Косягин Ю. А. Слоистая геологическая структура и соотношения структурно-вещественных, генетических и хроностратиграфических характеристик осадочной оболочки Земли. — «Геология и геофизика», 1964, № 10, с. 5—20.
98. Косягин Ю. А. Тектоника. М., «Недра», 1969. 616 с.
99. Косягин Ю. А. Планетарные аспекты геологии. — В кн.: Проблемы теорет. и регион. тектоники. К 60-летию А. Л. Яншина. М., «Наука», 1969, с. 262—268.
100. Косягин Ю. А., Воронин Ю. А. Развитие представлений о геологическом пространстве, как возможная основа применения математики в геологии. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1966, № 12, с. 17—25.
101. Косягин Ю. А., Соловьев В. А. Геологические формации и тектоника. — «Геология и геофизика», 1969, № 3, с. 17—24.
102. Косягин Ю. А., Боровиков А. М., Соловьев В. А. Принципы построения систем тектонических понятий, терминов и знаков. — В кн.: Тектоника Сибири, В. М., «Наука», 1972, с. 93—98.
103. Косягин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А. Определение тектоники. — «Геотектоника», 1973, № 4, с. 116—123.
104. Крамбейн У., Грейбиль Ф. Статистические модели в геологии. (Пер. с англ.). М., «Мир», 1969. 398 с.
105. Крамбейн У., Кауфман М., Мак-Кемтон Р. Модели геологических процессов (Пер. с англ.). М., «Мир», 1973. 150 с.
106. Крашенинников Г. Ф. Условия накопления угленосных формаций. М., Изд-во Моск. ун-та, 1957. 296 с.
107. Крамбейн В. К., Слосс Л. Л. Стратиграфия и осадкообразование. (Пер. с англ.). М., Гостехиздат, 1960. 412 с.
108. Крутъ И. В. К состоянию учения о геологических формациях. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1968, № 9, с. 98—112.
109. Крутъ И. В. Исследование оснований теоретической геологии. М., «Наука», 1973. 205 с.
110. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., «Недра», 1964. 388 с.
111. Кузнецов Ю. А. О состоянии и задачах учения о магматических формациях. — «Геология и геофизика», 1973, № 8, с. 3—8.
112. Кэй М. Геосинклинали Северной Америки. М., ИЛ, 1955. 192 с.
113. Кюри Мария и Пьер. М., «Наука», 1968. 178 с.
114. Лейпциг А. В., Мазор Ю. Р. Формации и информационный ряд Сибирской платформы. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1970, т. 45, вып. 3, с. 50—68.

- 498 с.
115. Леман Э. Проверка статистических гипотез. М., «Наука», 1964.
116. Леонов Г. П. Основы стратиграфии. Т. 2. М., Изд-во Моск. ун-та, 1973. 530 с.
117. Лихарев Б. К. В защиту «голотипа». — «Ежегод. Всесоюз. палеонт. о-ва», 1956, т. XV, с. 349—353.
118. Личков Б. Л. К основам современной теории Земли. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1965. 119 с.
119. Лунгерсгаузен Г. Ф. Периодические изменения климата и великие оледенения Земли. — «Сов. геология», 1957, № 59, с. 68—115.
120. Лучинский И. В. Основы палеовулканологии, т. 2. М., «Наука», 1972. 384 с.
121. Ляйель Ч. Руководство к геологии или древние изменения Земли и ее обитателей, по свидетельству геологических памятников. Спб., 1866, с. 496.
122. Менинер В. В. Биостратиграфические основы сопоставления морских лагунных и континентальных свит. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1962, вып. 65. 376 с.
123. Месарович М. Основания общей теории систем. — В кн.: Общая теория систем. М., «Мир», 1966, с. 15—48.
124. Миронников А. Е. О теории формационного анализа. — «Литол. и полез. ископаемые», 1971, № 5, с. 140—142.
125. Муратов М. В., Цейслер В. М. Осадочные и вулканогенные формации складчатых геосинклинальных поясов. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1968, т. XIII, вып. 5, с. 5—22.
126. Наливкин В. Д. О цикличности геологической истории. — «Геогр. сб. XV. Астрогеология». М. — Л., Изд-во АН СССР, 1962, с. 188—197.
127. Наливкин В. Д. Сравнительная характеристика тектонических структур Западно-Сибирской, Турано-Сирифской и Русской плит. — В кн.: XXII сессия МГК. Докл. сов. геологов. Проблема 4. М., «Наука», 1964, с. 202—210.
128. Наливкин Д. В. Учение о фациях, т. 1. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1956. 536 с.
129. Немцович В. М. О выделении и классификации геологических формаций. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1969, № 10, с. 142—147.
130. Обручев В. А. Основы геологии. М., Изд-во АН СССР, 1956. 360 с.
131. Обуэн Ж. Геосинклинали. М., «Мир», 1967. 304 с.
132. Ог Э. Геология. Изд. 7-е. М. — Л., ГОНТИ, 1938. 560 с.
133. Олейников А. Н. Метод ранговых эталонов при построении многомерных диагностических критериев. Л., 1968, с. 164—169. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та, т. 150).
134. Оре О. Теория графов. (Пер. с англ.). М., «Наука», 1968. 352 с.
135. Очерки по физической седиментологии. Л., «Недра», 1964. 252 с.
- Авт.: А. И. Животовская, А. И. Айнемер, И. А. Одесский, Э. Я. Яхнин.
136. Пейве А. В. Типы и развитие палеозойских структур Урало-Тяньшанской геосинклинальной области. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1948, № 6, с. 43—50.
137. Плющев Е. В., Ушаков О. П. Структурно-вещественный принцип классификации метасоматитов. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1972, ч. 101, вып. 2, с. 190—203.
138. Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, «Наукова думка», 1966. 548 с.
139. Погребнов Н. И. Размещение угленосных формаций в современных структурах земной коры на территории СССР. — «Сов. геология», 1972, № 7, с. 3—18.
140. Покровский М. П. Схема анализа геологических классификаций. — «Труды Свердл. горн. ин-та», 1971, вып. 81, с. 108—114.
141. Попов В. И. Геологические формации, естественно-исторические сообщества генетически связанных сопряженных горных пород. Самарканд, Изд-во Узб. гос. ун-та, 1959, 150 с., ч. II, 172 с.

142. Попов В. И. Опыт классификации и описания геологических формаций, ч. I. Л., «Недра», 1966. 208 с.
143. Попов В. И. Опыт классификации и описания геологических формаций, ч. II. Л., «Недра», 1968. 552 с.
144. Попов В. И., Макарова С. Д., Филиппов А. А. Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика фациально-палеогеографического картирования. Л., Гостехиздат, 1963. 714 с.
145. Проблемы развития советской геологии. — «Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. Нов. серия», 1971, т. 177. 336 с.
146. Прогнозно-металлогенические исследования при геологосъемочных работах. — В кн.: Прогнозирование месторождений полез. ископаемых при региональной геол. исследовании. Л., 1973, с. 60—67. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та). Авт.: Д. В. Рундквист, В. И. Васильев.
147. Проект стратиграфического кодекса СССР. Л., 1970. 55 с. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та.)
148. Пугачев В. С. Теория случайных функций. М., Физматгиз, 1962, с. 659.
149. Пустовалов Л. В. Об основных принципах классификации осадочных пород. — «Учен. зап. Ленингр. ун-та», 1962. Сер. геол., вып. 310, с. 81—110.
150. Рац М. В. О применении теории вероятностей к анализу осадочных формаций (тезисы докл.). — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1963, т. 38, вып. 4, с. 135—136.
151. Рац М. В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М., «Недра», 1968. 108 с.
152. Резников Л. О. Гносеологические основы семиотики. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1964, с. 162.
153. Родионов Д. А. К вопросу о статистической теории однородности геологических совокупностей. — «Геохимия», 1965, № 4, с. 466—473.
154. Розенфельд Л. Развитие принципа дополнительности. — В кн.: Нильс Бор. М., «Наука», 1967, с. 61—87.
155. Романовский С. И. Зависимость меры стабильности слоенакопления от функции распределения вероятностей мощностей слоев. — «Геология и геофизика», 1971, № 12, с. 102—107.
156. Рундквист Д. В. О принципах выделения и прогнозирования рудных формаций. — В кн.: Основы науч. прогноза месторождений рудн. и нерудн. полезных ископаемых. Мат-лы совещания 14—17 декабря 1971 г. Л., 1971, с. 27—35. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та.)
157. Рундквист Д. В. Об одной общей закономерности геологического развития. — «Общие закономерности геол. явлений», 1965, вып. 1, с. 79—90.
158. Рухин Л. Б. Основы литологии. Изд. 3-е. Л., «Недра», 1969. 704 с.
159. Сапожников Д. Г. К теории прогноза осадочных рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
160. Сарманов О. В. О применении математики в геологии. — В кн.: Взаимодействие наук при изучении Земли. М., «Наука», 1964, с. 312—319.
161. Севергин В. М. Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. Спб., Импер. Ак. Наук, 1798. 198 с.
162. Симметрия в природе. Тезисы докл. совещания 25—29 мая 1971 г. Л., 1971. 380 с. (Труды Ленингр. правл. науч.-техн. горн. об-ва.)
163. Смирнов Е. С. Таксономический анализ. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969. 188 с.
164. Смыслов А. А. (ред.). Радиогеохимические исследования. М., 1974. 141 с. (М-во геологии СССР).
165. Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре. Л., «Недра», 1974. 290 с.
166. Соколов Б. С. Биохронология и стратиграфические границы. — В кн.: Проблемы общ. и регион. геологии. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1971, с. 155—178.
167. Спасский Б. И. История физики. Ч. 1. М., Изд-во Моск. ун-та, 1963. 332 с.

168. Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура. Л., «Недра», 1965. 70 с.
169. Стратиграфические и геохронологические подразделения. М., Госгеолтехиздат, 1954. 87 с.
170. Страхов Н. М. Основы исторической геологии, ч. 1. М. — Л., Госгеолтехиздат, 1948. 254 с.
171. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.
172. Тимофеев П. П. Геология и фации юрской угленосной формации южной Сибири. М., «Наука», 1969. 460 с.
173. Тихомиров С. В. Этапы осадконакопления девона Русской платформы. М., «Недра», 1967. 268 с.
174. Томсон Дж. Предвидимое будущее. М., ИЛ, 1958. 176 с.
175. Туголесов Д. А. «Тектонические субботы» Н. С. Шатского. — «Природа», 1973, № 11, с. 68—75.
176. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения. М., Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.
177. Уитроу Дж. Естественная философия времени. М., «Прогресс», 1964. 432 с.
178. Усов М. А. Фации и формации горных пород. — В кн.: Вопр. геологии Сибири, т. 1. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1945, с. 23—30.
179. Федоров Е. С. Новая геометрия как основа черчения. Спб., 1907. 135 с.
180. Ферсман А. Е. Избранные труды, т. IV. М., Изд-во АН СССР, 1958. 588 с.
181. Формозова Л. Н. Эксгальвационно-осадочные месторождения железных руд типа Лан. Дильт и геологическая обстановка их образования. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1963, вып. 81, с. 161—208.
182. Хайн В. Е. Общая геотектоника. Изд. 2-е. М., «Недра», 1973. 512 с.
183. Хайн В. Е. О некоторых спорных вопросах и трудностях формационного анализа. — В кн.: Труды Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, 1973, вып. 213, с. 5—18.
184. Халфип Л. Л. Осадочные геологические формации в стратиграфическом аспекте. — «Сов. геология», 1959, № 10, с. 11—18.
185. Ханович И. С., Айнемер А. И. Приложение модели слоенакопления А. Н. Колмогорова к изучению стохастических характеристик геологических разрезов. — «Геология и геофизика», 1968, № 7, с. 44—54.
186. Херасков Н. П. Тектоника и формации. Избр. труды. М., «Наука», 1967. 404 с.
187. Хворова И. В. Флишевая и нижне-молассовая формации Южного Урала. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1961, вып. 37. 532 с.
188. Хворова И. В. Задачи и некоторые результаты изучения литологии формаций. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1963, вып. 81, с. 7—29.
189. Хворова И. В., Ильинская М. Н. Сравнительная характеристика двух вулканогенно-осадочных формаций Южного Урала. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1963, вып. 81, с. 87—160.
190. Хитрово Б. Н. О парусности зачатков некоторых растений. — «Зап. Киевск. о-ва естествоиспытателей», 1912, т. XX, вып. 1.
191. Цейслер В. М. О границах смежных формаций при анализе развития структур. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1967, № 9, с. 3—7.
192. Цейслер В. М. Некоторые вопросы методики составления формационных карт. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1967, т. XII, № 6, с. 115—123.
193. Цейслер В. М. Анализ формаций как метод изучения тектонических структур в различных бассейнах осадконакопления. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1972, т. XVII, № 5, с. 139—149.
194. Цифровое кодирование систематических признаков древних организмов. М., «Наука», 1972. 188 с. Авт.: А. Н. Олейников, Г. Б. Бельды, А. А. Яльшева и др.

195. Ч е р ч А. Введение в математическую логику. М., ИЛ, 1960. 484 с.
196. Ч е т в е р и к о в Л. И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. Воронеж, Изд-во Воронеж. ун-та, 1968. 152 с.
197. Ч е т в е р и к о в Л. И. Понятия структуры, неоднородности и изменчивости в геологии. — «Философия и естествознание», 1971, вып. 3, с. 91—102.
198. Ш а н ц е р Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. — «Труды Геол. ин-та АН СССР», 1966, вып. 161. 240 с.
199. Ш а т с к и й Н. С. Очерки тектоники Волго-Уральской нефтеносной области и смежной части западного склона Южного Урала. — В кн.: Избр. труды, т. II. М., «Наука», 1964, с. 288—368.
200. Ш а т с к и й Н. С. Формационный метод выяснения закономерностей распределения осадочных минеральных концентраций в земной коре. — В кн.: Избр. труды, т. III. М., «Наука», 1965, с. 13—15.
201. Ш а т с к и й Н. С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей. — В кн.: Избр. труды, т. III. М., «Наука», 1965, с. 52—143.
202. Ш а т с к и й Н. С. Парагенезы осадочных и вулканогенных пород и формации. — В кн.: Избр. труды, т. III. М., «Наука», 1965, с. 153—174.
203. Ш а т с к и й Н. С. О прогибах Донецкого типа. — В кн.: Избр. труды, т. II. М., «Наука», 1964, с. 544—553.
204. Ш а т с к и й Н. С. О геологических формациях. — В кн.: Избр. труды, т. III. М., «Наука», 1965, с. 7—12.
205. Ш а т с к и й Н. С. Осадочные формации. — В кн.: Избр. труды, т. III. М., «Наука», 1965, с. 175—184.
206. Ш а т с к и й Н. С. О некоторых насущных задачах геотектоники. — В кн.: Избр. труды, т. IV. М., «Наука», 1965, с. 68—75.
207. Ш а т с к и й Н. С. Современная геология. — В кн.: Избр. труды, т. IV. М., «Наука», 1965, с. 31—38.
208. Ш а ф р а н о в с к и й И. И. К вопросу об уточнении универсального принципа симметрии Юри. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1964, № СIII, вып. 4, с. 460—463.
209. Ш а ф р а н о в с к и й И. И., В е р н е р А. Г. Знаменитый минералог и геолог. Л., «Наука», 1968. 200 с.
210. Ш в а н о в В. Н. Опыт статистической оценки точности сопоставления разрезов терригенного флиша. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1967, № 6, с. 3—10.
211. Ш е п п и Х. Звезды и люди. М., ИЛ, 1962. 152 с.
212. Ш т и л л е Г. К экологии киммерийской складчатости. — В кн.: Избр. труды. М., «Мир», 1964, с. 830—850.
213. Ш т и л л е Г. Основные вопросы сравнительной тектоники. — В кн.: Избр. труды. М., «Мир», 1964, с. 90—98.
214. Ш т и л л е Г. Геотектоническое расчленение истории Земли. — В кн.: Избр. труды. М., «Мир», 1964, с. 344—394.
215. Ш т и л л е Г. Распределение ассинтской складчатости. — В кн.: Избр. труды. М., «Мир», 1964, с. 851—855.
216. Ш т р е й с Н. А. О происхождении Гондваны. — В сб. «Гондвана», XXII сес. МГК. Докл. сов. геол. Проблема 9. М., «Наука», 1964, с. 7—41.
217. Ш т р е й с Н. А. Значение исследований Н. П. Хераскова в развитии учения о геологических формациях. — В кн.: Н. П. Херасков. Избр. труды. М., «Наука», 1967, с. 3—11.
218. Ш у б и н к о в А. В., К о п ц и к В. А. Симметрия в науке и искусстве. М., «Наука», 1972. 340 с.
219. Э й н ш т е й н А. Физика и реальность. М., «Наука», 1965. 360 с.
220. Э ш б и У. Р. Системы и информация. — «Вопр. философии», 1964, № 3, с. 78—85.
221. Я н ш и н А. Л. Николай Сергеевич Шатский. (Очерк жизни и научной деятельности). — В кн.: Н. С. Шатский. Избр. труды, т. I. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 13—36.

222. Яншин А. Л. Предисловие (о принципах выделения геологических формаций). — В кн.: А. И. Анатольева. Домезозойские красноцветные формации. Новосибирск, «Наука», 1972, с. 5—12. (Труды Ин-та геологии и геофизики, вып. 190).
223. Яншин А. Л. О так называемых мировых трансгрессиях и регрессиях. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геологии», 1973, т. 48, № 2, с. 9—44.
224. Bertrand M. Structure des Alpes Francaises et recurrence de certain facies sedimentaires. Compt. rend. Congr. Geol. Int. Zurich-Lausanne, 1897, p. 163—177.
225. Breithaupt A. Die Paragenesis der Mineralien, mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet mit besonderer Rücksicht auf Bergbau. Freiberg, 1849. 276 S.
226. Dapples E. C., Krumbein W. C., Sloss L. L. Tectonic control of lithologic associations. — «Bul. Amer. Assoc. Petr.», 1948, № 10, p. 1924—1927.
227. Fairbridge R. W. What is a consanguineous Association? — «J. Geol.», 1958, vol. 66, № 3, p. 319—324.
228. Franke D. Zu Fragen geologischer Terminologie und Klassifikation. — «Zs. Angewandte Geol.», 1962, Bd. 8, H. 4, S. 97—102.
229. Glaeaud L. L'expérience et la recherche operationnelle dans les sciences de la terre et de la nature. — «Rev. Synthèse», 1963, 84, № 29—31, p. 125—170.
230. Knill J. L. Paleocurrents and sedimentary facies of the Dalradian metasediments of the Craignisch Kilmelfort District. — Proc. Geol. Assoc., 1959, vol. 70, p. 273—284.
231. Krumbein W. C. Occurrence and lithological associations of evaporites in the Unites States. — «J. Sediment. Petr.», 1951, № 21, p. 63—81.
232. Krumbein W. C., Sloss L. L., Dapples E. L. Sedimentary tectonics and sedimentary environments. Bul. Amer. Assoc. Petr. Geol.» 1949, vol. 33, p. 1859—1891.
233. Niggli P. Gesteine und Minerallagerstätten. Bd. 2, Basel, 1952, 557 S.
234. Paech W. Zur Analyse der Begriffs der geologischen Formation. — «Zs. für angew. Geol.», 1971, Bd. 17, H. 5, S. 195—201.
235. Pettijohn F. J. Sedimentation and tectonics. — In: Sediment. rocks, ch. 13. N. Y., 1950, p. 611—647.
236. Renevier F. Les facies géologiques. — «Arch. des Sci. phys. et nature», 1884, 3 ser. XII, p. 297—333.
237. Roberts J. L. Sedimentary affiliations and stratigraphic correlations of the Dalradian in the South-west Highlands of Scotland. — «Scot. J. Geol.», 1966, № 2 (2), p. 200—223.
238. Vistelius A. B. Skew frequency distributions and fundamental law of the geochemical processes. — «J. Geol.», 1960, vol. 68, № 1, p. 1—22.
239. Wagenbreth O. Fazies und Formation eine geologie-geschichtliche Betrachtung. — «Ber. des Geol. Ges. in der DDR», 1964, Bd. 9, H. 1, S. 149—158.
240. Webb D. A. Is the classification of plant communities either possible or desirable? — «Botan. Tidsskr.», 1954, № 51, p. 362—370.

Вадим Иванович Драгунов
Александр Израилевич Айнемер
Виталий Иванович Васильев

ОСНОВЫ АНАЛИЗА
ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

Редактор издательства З. К. Андрюнина. Обложка художника А. Д. Бухарова.
Технический редактор И. Г. Сидорова. Корректор Л. И. Зайцева.

Сдано с набор 19/VII 1974 г. Подписано к печати 25/XI 1974 г. М-26144.
Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага № 2. Печ. л. 10. Уч.-изд. л. 10,96. Тираж 3400 экз.

Заказ 1143/995. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение.

193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
196006, Ленинград, Московский пр., 91.

1 р. 10 к.

18576

НЕДРА