

АКАДЕМИЯ НАУК СССР ● СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Вып. 146

ACADEMY OF SCIENCE OF THE USSR ● SIBERIAN BRANCH

TRANSACTION OF THE INSTITUTE OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS

Vol. 146

JU. A. VORONIN, E. A. JEGANOV

# FACIES AND ASSEMBLAGES. PARAGENESIS

(ON GIVING MORE PRECISE DEFINITIONS  
TO BASIS CONCEPTIONS OF GEOLOGY)

Editor-in-chief V. A. Solovjev

Ю. А. ВОРОНИН Э. А. ЕГАНОВ

# ФАЦИИ И ФОРМАЦИИ. ПАРАГЕНЕЗИС

(УТОЧНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ГЕОЛОГИИ)

Ответственный редактор доцент В. А. Соловьев

*Авторами разработаны принципиальные схемы фациального, формационного и парагенетического анализа и проведено сравнение этих схем, которые проверены на модельных примерах. Работа адресуется всем тем, кто интересуется теоретическими вопросами методики геологических исследований вообще и методикой фациального, формационного и парагенетического анализа конкретно.*

*The work is devoted to more precise definition of the notions of facies, assemblage and paragenesis. The authors have worked out principal schemes for facial, assemblage and paragenetical analysis on the basis of contemporary theoretical concepts of correlation-regression and cluster analysis. A comparison of these schemes with model examples is made.*

*The work will be of help to specialists interested in methods used in Geology in general and their particular application to specific aims and for training geological students as well.*

Ю. А. Воронин, Э. А. Еганова

ФАЦИИ И ФОРМАЦИИ. ПАРАГЕНЕЗИС.

(Уточнение и развитие основных понятий геологии)

Редактор *И. П. Зайцева*

Художник *В. И. Шумаков*

Художественный редактор *В. И. Желнин*

Технический редактор *Е. М. Елистратова*

Корректор *Я. М. Мочалов*

---

Сдано в набор 17 марта 1971 г. Подписано к печати 27 августа 1971 г. МНО3611  
Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>, 7,5 печ. л. 6,7 уч.-изд. л. Тир. 2000 Заказ 72. Цена 68 к.

Издательство «Наука». Сибирское отделение. Новосибирск-99, Советская, 18.

Отпечатано с матриц, изготовленных в Саратовском полиграфкомбинате, 4-й типографией  
издательства «Наука». Новосибирск-77, Станиславского, 25.

## ВВЕДЕНИЕ

---

В любой науке существует набор понятий, составляющих основу ее теоретического здания. К таким в геологии относятся понятия: минерал, горная порода, формация, фация, парагенезис, разновозрастность, структура и др. Практически этот фундамент закладывался в начальный период развития геологии и во многом не удовлетворяет современным научным требованиям. Можно даже сказать, что это существенно тормозит дальнейший прогресс геологии.

Совершенствование научных понятий — неалгоритмический процесс, результаты которого определяются исходными методологическими предпосылками. Последние выбирались нами прежде всего с учетом опыта физики и математики. В этом — принципиальное отличие настоящей книги от других работ подобного плана. Уточнение основных понятий геологии оказалось целесообразным начать с понятий «фация», «формация» и «парагенезис», потому что необходимость их совершенствования ощущается наиболее остро. Отметим, что проведенные исследования — лишь небольшая часть запланированной работы.

Понятия «фация», «формация», «парагенезис», «фациальный», «формационный» и «парагенетический анализ» используются в геологических работах исключительно широко. По существу они лежат в основе всех наиболее важных и наиболее часто применяемых практических приемов обработки геологической информации. В то же время содержание и объем этих понятий точно не определены, несмотря на многочисленные попытки.

Задача развития и уточнения перечисленных понятий сугубо актуальна и обусловлена коллективным и комплексным характером современных исследований, необходимостью координации действий и использования результатов работы, сделанной другими. Кроме того, повышение эффективности исследований невозможно без внедрения в работу геологов математических методов и вычислительной техники. До недавнего времени нечеткость используемых понятий не приводила к сколько-нибудь существенным затруднениям, ибо основная работа геологов за-

ключалась в описаниях. Но по мере перехода к более сложным задачам, связанным с прогнозом, построенным на доказательных рассуждениях, нечеткость понятий стала серьезной помехой в конкретных исследованиях.

Вопросы совершенствования научных понятий нельзя рассматривать в узком плане фиксации их содержания и объема. Гораздо интереснее операционный подход к этой проблеме, когда понятия рассматриваются не только как правила выделения некоторых объектов из окружающей нас действительности, но и как основной инструмент научного исследования. Поэтому настоящая работа посвящена не столько выяснению того, что же понимали те или иные направления геологической науки под фациями, формациями и парагенезисом, сколько уточнению теоретических основ фациального, формационного и парагенетического анализов, разработке их алгоритмических схем. Часть этой работы — «Вопросы теории формационного анализа» — уже опубликована, поэтому основное внимание здесь уделяется фациям и парагенезису.

Последовательно рассмотрены: 1) современное состояние методов, опирающихся на перечисленные понятия; причины, вследствие которых применение этих методов встречается в конкретных ситуациях с затруднениями, и возможные пути устранения этих затруднений; 2) построение и проверка на модельных примерах принципиальных схем указанных анализов; 3) соотношение этих схем, сравнение идей и понятий, на которых они базируются.

Способ изложения и язык работы несколько отличаются от традиционного геологического текста. Это обусловлено тем, что основной ее целью являлась разработка методологических и теоретических основ рассматриваемых методов. Авторы широко использовали понятия, термины и символы, применяемые в математике и теории познания.

Хотя данная работа отражает лишь начальный этап исследований по совершенствованию основных понятий геологии, этап этот принципиален и представляет самостоятельный интерес. Для практического применения разработанных схем фациального, формационного и парагенетического анализов необходимы дополнительные исследования, касающиеся разработки аналитического описания геологических тел, построения алгоритмов и программ, реализующих это описание, а также алгоритмов и программ перечисления, сравнения, группирования и распознавания тел. Значение проделанной работы с позиций традиционного геологического подхода к рассматриваемым вопросам удобно пояснить следующим образом.

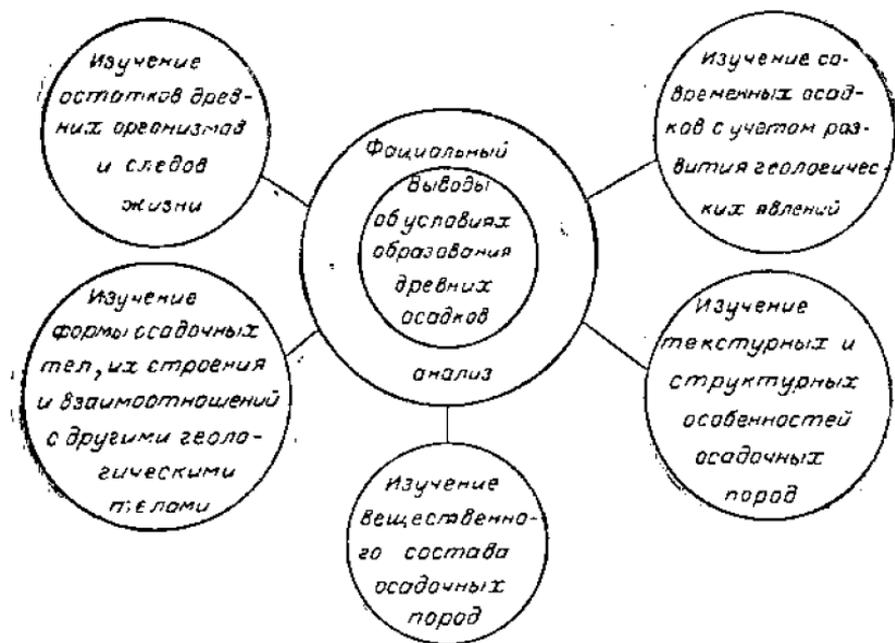


Рис. 1. Основные виды фациального анализа. По Л. Б. Рухину.

В известном учебнике Л. Б. Рухина «Основы литологии» приведена схема «Основные виды фациального анализа» (рис. 1). Она показывает, какими сведениями надо располагать, чтобы сделать интересующие нас выводы. Однако остается совершенно неясным, *как* такие выводы могут быть получены. Можно убедиться, что найти четкий и последовательный ответ на этот вопрос невозможно ни в одной из многочисленных работ, посвященных вопросам фациального анализа. Производя фациальный анализ, геолог получает выводы в значительной мере на основе интуитивных соображений. Но с точки зрения современных требований к научным знаниям выводы, полученные таким способом, являются, по существу, не объективными выводами, а субъективными мнениями. Поэтому настоящее исследование посвящено выработке таких теоретических процедур, на основе которых можно построить алгоритмы для получения интересующих нас выводов на объективной основе.

## ФАЦИИ И ФОРМАЦИИ

### Современное понимание терминов «фациальный анализ» и «фация». Характер попыток их уточнения

Несмотря на более чем столетний возраст понятия «фация», колоссальное количество литературы по фациям и даже существование «учения о фациях», в Геологическом словаре издания 1960 г. можно прочесть: «В настоящее время ... среди геологов нет единого мнения относительно объема и применения этого понятия».

Дискуссия по вопросу о точном значении термина «фация» продолжается, и требуются очень большие усилия, чтобы подробно и в то же время опираясь на все опубликованные материалы разобраться в истории развития понятия о фациях. Об общем характере дискуссии можно составить довольно полное представление по работам Н. Б. Вассоевича [14, 15], В. П. Маркевича [51], Е. В. Шанцера [87] и др., а также по последним статьям Г. Ф. Крашенинникова [44, 45] и В. Т. Фролова [80], являющихся примером наиболее современных работ по уточнению понятия «фация». Основные же представления о фациях изложены в капитальных трудах Д. В. Наливкина [56, 57].

Несмотря на многочисленные работы по уточнению понятия о фациях, отражающий его термин по-прежнему страдает многозначностью и синонимией. Очень часто его использование сводится не более чем к наукообразному украшению текста. Еще Ю. А. Жемчужников и Н. С. Шатский писали, что совершенно без ущерба для понимания некоторых контекстов «фациальные» слова из них могут быть изъяты и заменены другими, более понятными. Можно привести примеры таких замен: «фациальные особенности слоя» = особенности слоя; «фациальный облик» = облик; «по простиранию фациально переходят» = по простиранию сменяются; «фации отложений» = свойства, условия образования отложений; «в другой фации» = в области с другими условиями отложения.

Нередко понятие «фация» даже в одной и той же работе употребляется в различных смыслах, причиной чего является неопределенность формулировок с применением оборотов разговорной речи. Иногда же встречаются совершенно малопонятные высказывания с применением термина «фация», например: «... вторичное фациальное развитие калийных залежей» (реф. журн. «Геология», И, 1968, № 9, стр. 11) или «... выявлен фациальный характер распространения песчаников» (БМОИП, 1968, № 4, стр. 155) и т. п.

Остановимся на некоторых соображениях общегеологического порядка, которые, как нам представляется, могут помочь понять и оценить все то, что было ранее высказано по вопросу уточнения терминов «фация» и «фациальный анализ». Из учебников по геологии, например [57, стр. 5—6] и [48, стр. 36—40], можно понять, что идея фациального анализа базируется на возможности заметить неоднородность практически всех целостных геологических объектов и использовать эту неоднородность для разделения объектов на части. Изучение этих частей, характера их взаимоотношений и взаиморасположения может оказать существенную помощь при исследовании всего геологического объекта, особенно при определении таких его свойств, которые не запечатлеваются в признаках горных пород. Нередко после того, как замеченная неоднородность объекта по какому-либо свойству (группе свойств) позволяет подразделить его на части, обнаруживается, что проведенное разбиение дает возможность путем логической процедуры сделать выводы о новых, ранее неизвестных свойствах целостного объекта. В частности, таким свойством считается «общая обстановка формирования отложений в пределах определенных областей осадконакопления».

Части, на которые разбиваются геологические объекты (эти процедуры первоначально проделывались исключительно для осадочных образований) вследствие обнаружения их неоднородностей, принадлежащие к определенному классу объектов, и получили название *фаций*.

Исторически сложилось так, что данные, которые удавалось определить на основе изучения неоднородностей объекта, вернее касающиеся его частей, как правило, относились к категории «условий и обстановок образования» и выражались, к примеру, в словах: «отложения, образованные в пресных водах» или «в зоне прибоя и скалистых берегов», «илистая литораль» и т. п. Основоположник фациального анализа А. Грессли рассматривал фацию (облик) осадков как функцию глубины бассейна [89]. Иначе говоря, с самого начала понятие о фациях использовали для определения генезиса геологических объектов, что хорошо показано в [46], а затем на основании этого знания делали вывод о других свойствах объектов. Под «генезисом» можно понимать весьма разнообразный набор высказываний. Важно лишь то, что эти высказывания о целостных объектах (считаем ли мы эти высказывания генетическими или не генетическими) при фациальном анализе получаются на основе сведений о свойствах отдельных частей объектов.

Часто целостный объект не поддается системному подходу просто потому, что невозможно удержать его в памяти; тогда

целое элементаризуется (дробится) и затем обрабатывается по частям. Методы изучения целого по свойствам его частей столь выгодны, что подобные приемы из области осадочной геологии вскоре проникли в область магматических и метаморфических образований. Так как основной задачей геологов повсеместно считалось определение условий и обстановок образования геологических объектов, а делалось это именно путем рассмотрения объектов по частям, на основе подмеченных неоднородностей, то понятие о фациях распространилось во многие разделы геологии.

Приемы фациального анализа стали применяться к различным объектам, использовались самые различные свойства и представления для выискивания возможностей подметить неоднородности этих объектов и разделить их на части. В одних случаях объектами, подлежащими разделению на части (ландшафты), были районы земной поверхности, в других — геологические тела, возникающие в таких районах. Появились соответственные высказывания о том, что, с одной стороны, фации — это части поверхности Земли, а с другой — фации можно понимать как конкретные геологические тела (в таком соотношении находятся понятия о «современных» и «ископаемых фациях» Д. В. Наливкина). По мнению других, «фация — это не пласт и не порода, которые можно пощупать и взять в руки, а некоторое представление . . . об условиях образования геологических тел» [38, стр. 56], фация — это отвлеченное понятие [64].

Подобные противоречия неизбежно появляются, когда идеи и понятия, разработанные в одних областях науки, начинают применяться в других ее областях. Долгое время эти противоречия удавалось обходить, приспособлявая понятия к тем или иным частным задачам. Однако, когда число частных примеров возросло, такой способ преодоления противоречий стал порождать дополнительные трудности. Все это привело к необычной даже для геологии множественности «пониманий» одного и того же понятия.

С целью избавления от такой множественности, создающей значительные трудности для взаимопонимания, было предложено считать термин «фация» «термином свободного пользования». Однако такой способ избавления от множественности трактовки понятия не является удовлетворительным, так как подменяет единое понятие множеством других, к тому же разных по существу.

Было предложено также ограничивать рассматриваемые при фациальном анализе тела стратиграфическими границами, т. е. ограничить применение понятия «фация» только областью гео-

логии осадочных образований — это своего рода утопия. Такие предложения по сути дела ничем не отличаются от предложенный ввести новые «фациальные» термины, что сужает концепцию фациального анализа (например, делает ее применимой только для стратифицированных осадочных образований). Именно это предложение высказано в [80], где после глубокого содержательного разбора понятия о фациях предложено определять фации как части разновозрастных отложений, отличающиеся литологически и палеонтологически от соседних частей, а термин «фация» оставить «для обозначения изменчивости разновозрастных отложений на площади», т. е. ограничить сферу его применения только геологией осадочных образований.

Получается, что термин «фация» окажется запрещенным, например, для области геологии магматических образований; придется выскидывать новые термины для таких понятий, как «гипабиссальная фация гранитоидов» «гранулитовая фация», «фация зеленых сланцев» и т. д., хотя сущность понятий, отражаемых этими словами, принципиально такая же, как и в случае осадочных фаций, по крайней мере должна быть такой, если мы применяем один и тот же термин, обозначающий одно и то же понятие.

Предпринимались и попытки уточнить понятие на основе более тщательной трактовки первоначального определения фации, данного его автором А. Грессли. При этом исходили из того, что А. Грессли определение сформулировал достаточно ясно, но некоторые исследователи поняли его неверно и переформулировали на свой лад. Можно убедиться, что и этот способ неудовлетворителен, ибо определение А. Грессли вовсе не настолько ясное и точное, чтобы можно было на его основе получить однозначную трактовку рассматриваемого понятия. Действительно, обратимся к определению А. Грессли [15, стр. 10—11].

«Прежде всего отметим два факта, которые всюду характеризуют совокупность изменений, называемых мною фациями или аспектами отложений: первый факт заключается в том, что та или иная петрографическая разновидность какого-либо отложения, где бы она ни встречалась, непременно имеет и свои собственные ей палеонтологические черты; второй факт заключается в том, что тот или иной состав палеонтологических остатков в отложениях определенной фации строго исключает роды и виды, часто встречающиеся в других фациях»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> В данной работе мы не касаемся определения минеральных фаций по Г. Эскола, относящего к одной фации те породы, в которых химический состав тесно связан с минералогическим [по 42]. Такой подход достаточно детально рассмотрен в [21].

В этом определении прежде всего можно усмотреть то, что «фация» обозначает «изменения» (см. вторую строку определения). Отсюда «... для этих изменений Грессли и предложил название «фация отложений» [57, стр. 5]. С этим можно согласиться, если только сказать, что, используя понятие «фация», а именно путем перечисления фаций мы описываем изменения геологического объекта. При этом описываются облики отдельных его частей, в то время как представление об общем облике объекта — о целом — мысленно удерживается. Так, перечисляя цвета отдельных участков полосы чего-либо, мы говорим, что «описываем изменение ее цвета», не добавляя: «переходя от одного участка к другому». Изменение — это процесс, значит что-то должно меняться: или время, в моменты которого фиксируется цвет, или положение рассматриваемого объекта относительно направления нашего зрения.

С другой стороны, в конце разбираемого определения А. Грессли говорится о палеонтологических остатках, «встречающихся в других фациях». Если в это высказывание вместо слова «фация» подставить его значение из первой части определения, получится бессмыслица: палеонтологические остатки встречаются... в изменениях отложений! Уже сейчас, стремясь к максимальной ясности, Н. Б. Вассоевич [15, стр. 11], приводя формулировку А. Грессли, вставил при переводе выражение «в отложениях определенной фации», отсутствующее в тут же приведенном французском оригинале. Получилось: «... тот или иной состав палеонтологических остатков в отложениях определенной фации строго исключает роды и виды, часто встречающиеся в других фациях» (разрядка авторов). Из выражения «отложения определенной фации» может следовать, что фация — не отложения (ср. «отложения определенного класса»), а из выражения «встречающиеся в других фациях» ясно, что фация — это отложение, тело, так как палеонтологические остатки можно извлечь только из тела, но не из класса тел.

Итак, из одного и того же первоначального определения можно понимать: 1) фация — это свойства отложений (класс тел); 2) фация — это изменение свойств отложений (производная от свойств по координатам); наконец, что 3) понятие «фация» основано на понятии о бинарных отношениях смежных и разновозрастных геологических тел, что оно обозначает, так сказать, степень «родственности» разновозрастных соседей [89]. Последнее толкование основано на использовании двуместных свойств, которые определяются на парах тел и поэтому фациальные тела мыслятся только в ряду, их можно выделять на множестве тел, но не на индивидах. Надо сказать, все перечисленные трактовки

правомерны, так как формулировка А. Грессли их допускает, и все они так или иначе встречаются в литературе.

Таким образом, все исследователи, трактующие определение А. Грессли, поступали правомерно. Однако все они были и неправы, так как избрали неподходящий способ уточнения данного понятия. На современном уровне это понятие уже нельзя уточнить, опираясь на определение, содержащее многосмысленные выражения разговорного языка.

Все традиционные попытки уточнить понятие о фациях опирались и опираются на такие неопределенные исходные понятия, как «одинаковый», «закономерный комплекс», «сходный комплекс», «модификации облика», «породы, отличающиеся от пород того же возраста», «овеществленная обстановка» и т. п. (см. примеры определений понятия «фация» в [14, 21, 45, 51 и др.]). Кроме того, заранее не формулировались требования, которые должны быть предъявлены к определению фации. В частности, игнорировалось требование о том, что понятие «фация» должно позволять формулировать четкие правила выделения и описания фаций с учетом наших экспериментальных возможностей. Это и привело к обилию его истолкований: «пониманию фации в относительном значении», «пониманию фации в генетическом значении», «пониманию фации на базе комплексных стратиграфо-литологических и палеогеографических исследований» [80] и т. п.

Немало исследователей трактуют фации как свойства геологических тел (в частности, «отложений»). Возможность описывать эти свойства через физико-географические особенности обстановок образования, через процессы, породившие соответствующие им свойства объектов, словом, возможность кодировать генетическими терминами сведения о свойствах геологических тел, а также разнообразие таких свойств привели к появлению понятий о «литофациях», «геохимических фациях», «геофизических фациях», «динамофациях», «терригенно-минералогических фациях», «биофациях», «фациях диагенеза», «фациях глубинности» и т. п.

Вместе с тем появились и довольно неопределенные термины, вроде «фаций . . . времени» («фация швагеринового времени» в [64]), «фаций процессов», «фациальности», «фациального состава», «фациального типа пород» и др.

Важно отметить, что многие ощущали бесперспективность возвращения к исходному определению фации по А. Грессли и предпочли при попытках уточнения этого понятия исходить из конкретных задач фациального анализа с целью ограничения объема понятия.

Тенденция сузить объем понятия «фа́ция» понятна и законна. Однако, становясь на такой путь, не следует забывать и о его невыгодности. Идея фа́циального анализа обладает большой общностью, что, несомненно, должно отражаться и в понятии. Частные попытки сузить его объем противоречат идее, во имя которой данное понятие введено и которая уже подхвачена во многих разделах геологии. Поэтому надо согласиться с тем, что в настоящее время уже поздно выбирать, кому и в каких случаях пользоваться понятием «фа́ция», а кому нет. Необходимо просто разработать и уточнить его до такой степени, чтобы стало возможным однозначное понимание и применение этого понятия в самых разнообразных и разномасштабных геологических (и не только геологических) исследованиях, на всех объектах, независимо от их конкретного содержания. Итак, уточнение понятия о фа́циях нельзя считать безнадежным делом. Однако для успешной работы в этом направлении необходимо отказаться от неверных исходных методологических посылок, которые до сих пор использовались. Эти предпосылки не отвечают современным требованиям к процедуре уточнения понятий. В частности, попытки уточнения понятия о фа́циях делались без учета требований формальной логики, без предварительного уточнения исходных понятий. Выработка новых методологических посылок, несомненно, обеспечит успех.

#### **О необходимости формальных построений при уточнении понятий о фа́циях и фа́циальном анализе**

Требование внести ясность и четкость в понятие о фа́циях никем не отвергается. Однако все зависит от того, что мы будем понимать под фа́циальным анализом. Если понимать его как попытку создания такой системы действий, в результате которой в конце концов раз и навсегда будут выделены, перечислены и классифицированы все «естественные» фа́ции и литосфера на основании системы «истинно фа́циальных» признаков окажется однозначно разбитой на ячейки, каждая из которых будет соответствовать какой-то конкретной фа́ции, то внести ясность в такое понятие о фа́циях не представляется возможным. Поясним это.

Геологические тела, подразумеваемые при употреблении понятия «фа́ция», являются для нас предметом познания, фрагментами, которые некоторым образом выделены из природы. Это выделение — артикуляция природы — должно осуществляться геологом не произвольно, а по определенным правилам. Последние обусловлены, «во-первых, свойствами физических объектов,

независимых от познающего субъекта, свойствами, на основании которых совершается эта артикуляция; во-вторых, познавательными способностями человека, сформированными в результате эволюции и приспособления к среде; в-третьих, своеобразным проблемным и теоретическим контекстом, на фоне которого рассматривается данный объект, контекстом, обусловленным нашими знаниями, нашими склонностями, нашими интересами. В зависимости от этого контекста одни из числа объективных и вообще доступных познанию свойств познаваемого объекта являются для нас в данном исследовании доступными, а также существенными, а другие — недоступными либо сознательно не принимаются нами в расчет» [3].

Как можно заключить из сказанного, единственно правильной и единственно научной артикуляции природы не существует. В учении о фациях, как и о любом районировании природы, этот момент необходимо усвоить во всей его полноте. Усвоение этого — единственное, что может помочь разобраться в затянувшейся полемике о фациях, об их сущности, о системе выбора их признаков в конкретных примерах и сосредоточить внимание исследователей на другом: на разработке правил выделения того, что во всех ситуациях, вытекающих из перечисленных трех пунктов, можно назвать фацией.

С. А. Амстердамский пишет: «Категория сущность вещей, подобно ряду других философских категорий, подвержена в процессе развития человеческого познания своеобразной эволюции, в ходе которой из абсолютного понятия она видоизменяется в объективно-относительную, но отнюдь не субъективную категорию» [3, стр. 76]. И далее: «Среди бесконечного множества возможных способов выделения фрагментов природы как предметов исследования ученый выбирает те, которые позволяют сформулировать удачные и важные в практическом отношении прогнозы, те, которые дают ему возможность тем или иным способом (например, детерминистским или вероятностным) предвидеть события. Возможность предвидения и его правильность есть единственный критерий, на основе которого он может оценить правильность артикуляции, совершаемой им и другими людьми» (стр. 78).

Все это может считаться достаточно очевидным, однако в геологической литературе до сих пор бытуют прямо противоположные взгляды, абсолютизирующие эмпирические данные, полученные, так сказать, «от природы». Именно подобные взгляды порождают высказывания о том, что «фации должны выделяться по наиболее хорошо выраженным, надежным признакам» [51, стр. 55], что «фации выделяются только по фациальным,

первичным признакам» (там же, стр. 57). Но все эти «надежные», «хорошие», «основные», «первичные», словом, «фациальные» признаки можно выделить только при условии четкой формулировки цели исследования и критериев проверки того, достигнута ли цель исследования на основе исходных предпосылок. Иначе можно бесконечно спорить, например, о том, следует ли мраморизованную часть известнякового слоя считать фацией немраморизованной его части? По представлениям, например, В. П. Маркевича [51], обе части известняка представляют собой одну фацию, ибо мраморизация возникла позже отложения слоя. Но настолько же правомерна и та точка зрения (генетическая, кстати ска-

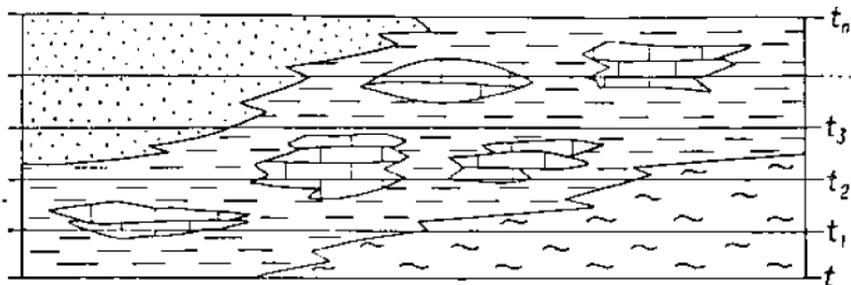


Рис. 2.

зать), согласно которой процесс мраморизации первичен по отношению к нынешнему облику объекта (слоя) и характеризует условия и обстановку его образования в отношении сегодняшнего его состояния. Другими словами, мраморизованная часть слоя является фацией метаморфизма. Достичь абсолютного разделения признаков на определяющие условия образования и не позволяющие определять их невозможно, если з а р а я е е не сформулировать наши требования. Любое свойство породы в каком-то смысле что-то дает для определения условий ее образования. Прежде чем говорить о свойствах, позволяющих или не позволяющих это делать, надо перечислить условия, которые мы собираемся различать.

Приведенные соображения можно пояснить следующим образом. На рис. 2 изображено сложное геологическое тело, где в глинах среди сланцев и песчаников залегают линзы известняков. Что на этом чертеже может считаться фациями? Имеем, к примеру, такое высказывание: «В отложениях бассейнов опресненных или слишком осолоненных фосфоритов не найдено, так же не известны они и в фации биогенных известняков». Значит ли это, что фосфориты не надо искать только в известняках с биогенной

структурой или в эту запретную область попадают и другие породы, залегающие совместно с такими известняками? Как далеко от тел биогенных известняков мы можем удалиться?

Если бы мы располагали способом однозначного выделения какой-то области, называемой фацией, то вопрос решался бы просто: достаточно было бы определить, в каких из подобных областей имеются биогенные известняки. Однако безотносительно такую операцию провести невозможно, каким бы определением понятия «фация» ни пользоваться. В ответ на предложение «выделите здесь фации» можно привести ряд рассуждений от такого, согласно которому это будут только тела известняков (так сделают те, кто фацию определяют как «тип породы»), до такого, где все изображенное пространство будет соответствовать только одной (скажем, «морской») фации. Дополнительные решения появляются, если учесть изображенные на рис. 2 хронологические границы или плотность размещения известняковых (и других) тел. Можно выделить фацию «диагонально» — представив ее сочетанием двух пород: известняков и глин и т. д. Без критериев смысла и плодотворности [31, стр. 347—348] все эти решения по-своему правомерны и невозможно выбрать из них какое-то единственно существенное, «главное», «научное». Можно только сказать, что в крайних случаях, когда фации суть только известняковые тела или когда фация — тело, объединяющее все породы в заданном пространстве, понятие о фациях лишается смысла.

Следовательно, безотносительно к требованиям исследования провести «истинно фациальное» разбиение невозможно. Существует множество решений о таком разбиении. Весьма определенное высказывание можно найти у Е. В. Шанцера [87, стр. 25]:

«В фациальном анализе, в зависимости от исследования, в основу выделения фаций кладутся разные признаки или комплексы признаков горных пород, как бы разные «независимые переменные». В итоге выделяются и фации, отличающиеся по числу, объему и содержанию. Но отсюда совершенно не следует, что лишь одна из подобных частных систем фациального расчленения принципиально правильна, а все остальные неприемлемы и не отвечают сути понятия «фация». Наоборот, все эти системы имеют право на существование и каждая из них может оказаться наилучшей для решения одного круга задач и неудачной или вовсе непригодной для решения другого круга задач. Только при подобном понимании сути фациального анализа этот метод может быть достаточно гибким и эффективным, а сфера его применения достаточно широкой, чтобы удовлетворить запросы современной геологии».

Сходное заключение неявно содержится в высказываниях о том, что единая номенклатура фациальных подразделений, для осадочных толщ в частности, нецелесообразна [55], что «объ-

ем фаций определяется в зависимости от тех фациальных признаков, которые принимаются в каждом конкретном случае за основные. . . » [51, стр. 55], что иерархия фаций разного масштаба не имеет смысла [87, 45].

Из сказанного со всей определенностью вытекает: «истинно фациальных» признаков не существует, они всегда относительны. Фациальные признаки назначаются или выводятся исследователем в процессе решения своих задач на основе изучения неоднородностей объекта. Сейчас безнадежно назвать какой-либо раздел геологии или какие-либо признаки геологических объектов в качестве подходящих для выделения «истинных» фаций.

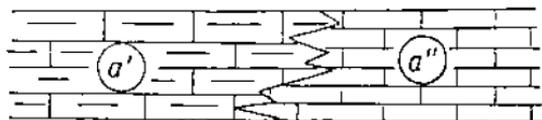


Рис. 3.

Остается одно: выработать логические правила, по которым может выбираться «фациальная» совокупность на основании любого заданного списка признаков.

Если принять только что сделанный вывод, то, чтобы внести ясность в процедуру фациального анализа, требуется:

- 1) формально уточнить цели и задачи<sup>1</sup> фациального анализа;
- 2) построить схему анализа и исследовать ее;
- 3) формально уточнить систему тех исходных понятий и терминов, на которые опирается понятие о фациях, учитывая при этом опыт выработки научных понятий.

Именно формальное уточнение целей и задач фациального анализа, его схемы и системы исходных понятий диктуется необходимостью избавиться от неопределенных представлений относительно перечисленных пунктов. Кроме того, формальные трактовки необходимы для применения математических методов и вычислительной техники.

Подобные уточнения, вообще говоря, связаны со значительными трудностями. Поясним это на примере элементарно простого случая.

Пусть некоторый слой *A* можно подразделить на две «одновозрастные» части: одна слагается глинистыми известняками (*a'*),

<sup>1</sup> Пояснение: когда фиксируют цель, то указывают, что требуется достигнуто; когда формулируют задачи, дополнительно указывается, на основании чего и какими путями эта цель может быть достигнута.

другая — чистыми ( $a''$ ), как показано на рис. 3. Требуется провести на этом объекте фациальный анализ.

Будем опираться на одно из весьма распространенных определений фации. Оно сформулировано приблизительно так: фация — это часть отложений, отличающаяся составом или физико-географическими условиями образования от соседних частей отложений того же возраста и в то же время петрографически и палеонтологически однородная. Фациальный анализ в этом случае понимается как «исследование переходов» по площади, как «определение генетических особенностей отложений по площади».

Выходит, фациями слоя  $A$  являются его части  $a'$  и  $a''$ , а цель анализа сводится к определению генетических особенностей слоя  $A$  в целом. Такое определение целей и задач фациального анализа является неудовлетворительным: указывается, что надо сделать, но не указывается, исходя из чего и как делать. Даже из подобного простого примера видно, что определить условия образования слоя  $A$  можно двояко: или зная, как образовались  $a'$  и  $a''$ , или зная условия образования одного из элементов ( $a'$  или  $a''$ ) плюс его взаимоотношения с другими.

В этих двух случаях мы сталкиваемся с принципиально различными задачами, а схема фациального анализа и способ исследования оказываются совершенно неясными. Неясность усугубляется тем, что при описании целей и задач фациального анализа обычно используются весьма неопределенные исходные понятия.

В самом деле, в каком бы смысле ни понимался фациальный анализ, в нашем примере для его проведения прежде всего необходимо слой  $A$  разделить на части. Такое разделение можно провести различными способами, опираясь на различные толкования понятия «фация». При этом получаемые части могут быть самыми различными: размерами, формой, составом, но всегда должны: а) отличаться от соседних частей, б) быть однородными, в) быть одновозрастными.

Для того чтобы выполнить требования а), б) и в), нужно их уточнить. При подобном уточнении придется затронуть круг других понятий, в частности таких, как «состав», «комплекс петрографических и палеонтологических свойств». Эти понятия, в свою очередь, потребуют уточнений и т. д.

Безуспешные попытки пробиться сквозь толщу требуемых уточнений на базе традиционного геологического языка, без его предварительного формального совершенствования, привели к мысли об исключительной сложности проблемы уточнения некоторых геологических понятий. Отсюда одними был сделан

вывод, что нет смысла точно определять понятие «фация», ибо возможности употребления этого термина «зависят от свойств объекта изучения». Другие же пошли по пути уточнения необходимых понятий на базе некоторых частных понятий, приспособленных к узкому кругу их конкретных задач.

Современной методологией для совершенствования научных понятий выработаны некоторые общие правила. Из этих правил, в частности, вытекает, что «как нельзя судить о правильности того или иного термина, взятого изолированно, так недостаточно оценивать определение, взятое отдельно. Необходимо рассматривать систему определений, отвечающую некоторой системе понятий, рассматриваемых в данной дисциплине или отрасли техники» («Как работать над терминологией». «Наука», 1968, стр. 23). Следует также учитывать, что принцип «определение преимущественно должно быть словесным» не всегда удается использовать без подсобных математических формулировок (там же, стр. 24). Можно убедиться, что уточнение понятия «фация» до сих пор проводилось совершенно без учета этих правил.

Представляется необходимым подчеркнуть не только формальные, но и содержательные трудности уточнения тех понятий, которые обычно используются при формулировке понятия о фациях. Такими, в частности, являются понятия о различиях и одновозрастности геологических тел.

Если нужно определить, какие два тела следует считать различными, необходимо задать способ их описания и на основании приписанных телам характеристик построить классификацию-перечисление. Неясно только, какой способ описания следует выбирать и как нужно строить эту классификацию.

Для того чтобы определить, какие два тела являются одновозрастными, приходится обращаться к палеонтологическим остаткам, содержащимся в этих телах (оставим в стороне крайне ограниченные пока возможности абсолютной геохронологии). При этом возникают две трудности. Во-первых, этих остатков во многих телах или не содержится вообще, или их очень мало. Во-вторых, когда остатков «достаточно» (?), нужно так описать их и построить для них такую классификацию-перечисление, чтобы можно было воспользоваться известными способами стратиграфической параллелизации. Следует учитывать, что у нас крайне ограничены возможности непосредственно проверять точность подобных косвенных стратиграфических построений.

Трудности определения одновозрастности не исчезают и в тех случаях, когда к палеонтологическим рассуждениям добав-

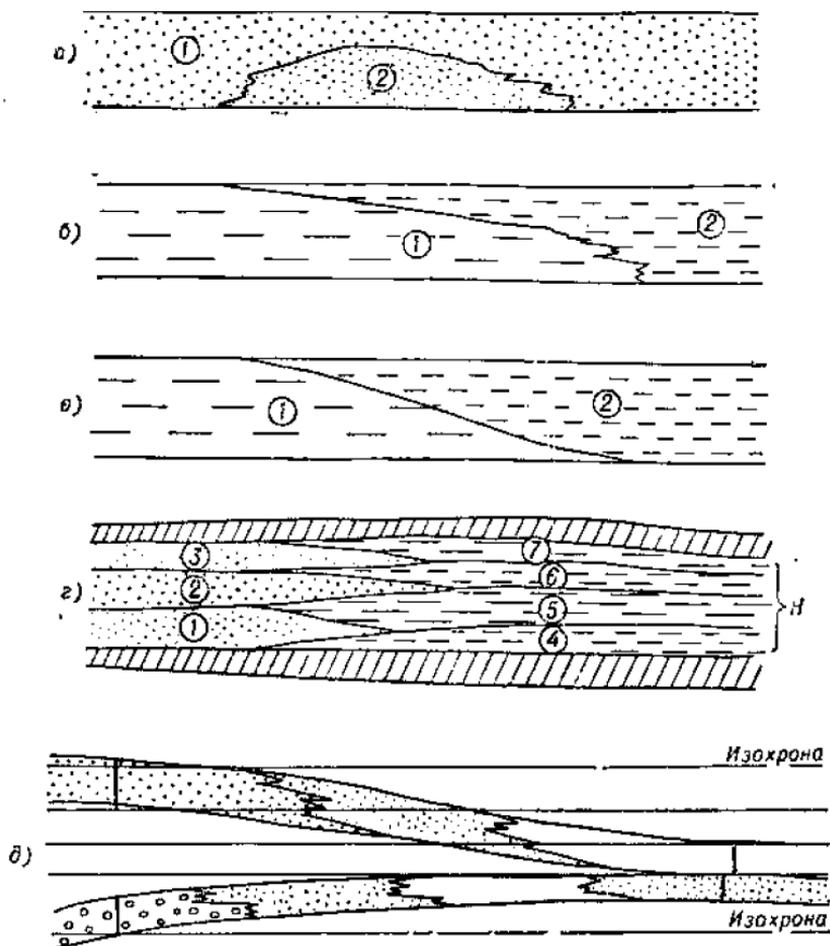


Рис. 4.

ляются рассуждения о характере взаимоотношений рассматриваемых тел и их составе.

Отмеченные содержательные трудности уточнения исходных понятий, однако, почти не привлекают внимания геологов, что приводит к нежелательным последствиям.

Разберем некоторые из таких ситуаций. Среди геологов, изучающих осадочные отложения, считается, что выделять фаши как части некоторого целостного объекта можно по любым свойствам, но так, чтобы все части получались одновозрастные. Если объектом такого фашиального анализа является слой

(пачка, толща, словом, стратифицированное образование), то фацнальные границы должны рассекать его от подошвы до кровли, а не замыкаться, скажем, от подошвы на подошву же (рис. 4, а). В связи с этим за «фацнальный переход» (между фацнами) признается только такой, который происходит переключиванием или «постепенно» (нетрудно заметить, что так называемые «постепенные переходы» фактически являются случаями тончайшего переключивания).

В подобной концепции неявно заложены давно опровергнутые практикой предположения об обязательной синхронности петрографических границ и одновозрастности сходных по составу образований. Здесь также нередко замыкается круг в рассуждениях: фацны по определению должны быть одновозрастными, а одновозрастность доказывается выделением «фацний» или отысканием «фацнальных переходов», и все это не сопровождается предъявлением критериев проверки того, что выделенные тела действительно являются фацниями.

Так, на рис. 4, б неясно, какую часть тела (1) считать фацней тела (2); а на рис. 4, в этот вопрос еще менее определен. Словом, если невозможно измерять физическое время образования любой точки слоя (самая обычная ситуация в геологии), выход пытаются найти в предположении, что одновозрастные тела должны сочленяться способом переключивания. На рис. 4, г можно видеть, что это не более, чем постулирование синхронности вещественных границ «по простиранию». В самом деле, резонно предположить, что тела, имеющие разный состав, отлагались с различной скоростью. Предположим, что тела (1), (2) и (3) образовались каждое за единицу времени, а тела (4), (5), (6) и (7) — каждое за три единицы, что вполне реально. Тогда левая часть слоя *H* возникла за три единицы времени, а правая — за 12 единиц. Получается, что время образования левой части слоя «вложено» во время образования правой, если даже сверху и снизу слой *H* ограничен «маркирующими горизонтами», которые, в свою очередь, могут иметь такое же строение. Говорить об одновозрастности по такому принципу равносильно утверждению об «одновозрастности» родителей и их детей. Фактически здесь реализуется довольно неопределенное понятие «современный».

Из рис. 4, д, где суммированы приведенные рассуждения, видно, что опираться при фацнальном анализе на физическую одновременность невозможно, а на геологическую — нет смысла. Уйти от подобных неопределенностей при определении возраста на основании «комплекса данных» невозможно. Геологу остается опираться на «здравый смысл» до того момента, пока упомянутые предположения не начнут отражаться на практической работе. Но этот момент обычно невозможно определить.

Другой пример. Понятие «фацнация» часто смешивают с понятием «генетический тип». Покажем, что эти недоразумения возникают опять же на базе неопределенности исходных понятий.

О соотношении понятий «фацнация» и «генетический тип» существует много высказываний, подытоженных в работах Е. В. Шанцера [87] и Г. Ф. Крашенинникова [44]. По Г. Ф. Крашенинникову фацны, если их понимать как комплексы отложений, образовавшиеся в определенной физико-географической обстановке, обязательно должны фиксироваться в «относительно-стратиграфическом» аспекте, т. е. с указанием, какому телу они «одновозрастны»; без этого понятие «фацнация» в точности перекрывается «вполне ясным» понятием «генетический тип». Получается, что генетический тип — это как бы фацнация, выделяемая в негеохронологизированном пространстве.

Е. В. Шанцер, подробно разбирая понятие о генетических типах и сравнивая его с понятием «фацнация» и «формация», пришел к заключению о том, что генетические типы суть комплексы отложений, возникновение которых обусловлено процессами, играющими некую «самостоятельную роль» в истории

формирования осадочного покрова. Если содержание и объем понятия «фа́ция» по Е. В. Шандеру, как цитировано выше, зависят от задач исследования, то генетический тип он же определяет как всегда соответствующий «одной из строго определенных динамических форм аккумуляции, объективно существующих в природе вне зависимости от постановки задач исследования» [87].

Разделение фаций и генетических типов как объектов на основе таких исходных понятий по меньшей мере спорно. Разумеется, процессы («динамическая форма») аккумуляции, как и любые природные процессы, развиваются независимо от целей наших исследований. Но их объективность также относительна, как и объективность любой природной границы. В природе протекает множество тесно взаимосвязанных процессов. Выделение какого-либо из них «в чистом виде» и назначение его в качестве определяющего для построения объективно-относительного понятия «генетический тип» производится субъектом и опосредовано его практикой. Именно последняя определяет «масштаб понимания фации» или «историческую роль» процесса, определяющего генетический тип. Она же приводит исследователя к заключению о том, что, хотя, скажем, отложения постоянных рек и ручьев, а также любых временных потоков вообще-то «весьма различны», «все же это лишь разные варианты одного и того же генетического типа» [87, стр. 175]. Последнее высказывание — типичный пример абстракции отождествления — представления действительности с помощью того или иного набора моделей путем волевого решения, опосредованного практикой, т. е. делать неразличимым то, что на самом деле различимо.

Установить однозначный критерий разделения «двух типов отложений, совершенно тождественных с чисто динамико-геологической точки зрения», опираясь на столь неопределенные понятия, как «достаточно ясно выраженные элементы физико-географической обстановки», «историко-геологическая роль процесса», «самостоятельная роль», «особые черты», «качественно различные» и т. п., практически невозможно. Научная роль понятий, основанных на таких высказываниях, в противоположность их «историко-геологической» роли оказывается весьма неутешительной. Возможность формального уточнения понятия «генетический тип», так же как и понятия «фа́ция», находится в прямой зависимости от задач исследования и производится путем условных соглашений.

Соотношение понятий «фа́ция» и «генетический тип» становится ясным, если отбросить все перечисленные неопределенные исходные понятия. Не имеет значения ни «относительно-стратиграфический аспект», ни «самостоятельность роли». Понятие «фа́ция», как бы оно ни употреблялось, всегда имеет в виду некоторое тело или связанное в пространстве множество тел. Когда эти тела возникают в одной и той же обстановке или при одном и том же процессе, например при деятельности рек, мы говорим о соответствующих (в данном случае об аллювиальной) фациях. Генетический же тип (аллювий) может символизировать только понятие класса (множества) безотносительно положения его элементов в геологическом пространстве. Это — перечень свойств множества тел (класса), возникающих при заданном процессе (деятельность рек). Выходит, что понятие «класс фаций» тождественно понятию «генетический тип» и последнее, по сути дела, лишнее. Телом генетический тип не может быть (что ясно и этимологически — тип). Можно представить себе генетический тип (класс) фаций (класс тел), но не «фа́цию генетического типа» (тело класса). В тех случаях, когда под генетическим типом понимают все же тело, оно подменяет собой, так сказать «архифа́цию», толкает к ненужной иерархии фаций, ибо фа́ция становится подтипом типа.

Так точные исходные понятия «класс» и «тело» помогают довольно просто разобратся в изрядно запутанном вопросе о соотношении понятий «фа́ция» и «генетический тип».

Итак, для уточнения понятий «фация» и «фациальный анализ» необходимо прежде всего исходить из общих соображений содержательного и формального характера. Это значит, что первоначально нужно уточнить цели, стоящие перед фациальным анализом, и его задачи; обсудить вопросы существования и единственности решения этих задач. Затем построить формальную схему фациального анализа и, на основе всего предыдущего, выявить систему исходных понятий, необходимых для формулировки понятия о фациях. После формального уточнения исходных понятий можно перейти к формулировке понятия о фациях.

Уточнять понятие можно двумя способами: путем **э к с п л и к а ц и и** и **логического вывода**. Рассмотренные традиционные попытки уточнения понятия «фация» являются **эксплицитными**. Они основаны на анализе частных случаев применения понятия, на примерах и описаниях. Практика показывает достаточно ясно, что **эксплицитный способ**, к тому же базирующийся на разговорном языке, не приводит в данном случае к цели. Остается использовать другую возможность, а именно уточнить понятие «фация» путем **логического вывода** из заранее заданного набора формализованных, не допускающих множественности толкований исходных понятий.

#### **Уточнение целей и задач фациального анализа**

Работ, в которых бы специально обсуждалась проблема формулировки целей фациального анализа, не имеется. Если же и высказываются какие-либо соображения об этом (как правило, весьма общего характера), то они позволяют цели фациального анализа понимать по-разному. Обычно целью фациального анализа считается: изучение строения геологических тел, выявление закономерностей в строении различных образований и их взаимоотношениях, изучение геологической истории, причин наблюдаемого распределения разного рода объектов «во времени и пространстве» и т. п. [5], 87 и др.]. Подобные формулировки, надо сказать, допускают очень много их трактовок; в целом получается, что «проводить фациальный анализ» — фактически то же самое, что и «заниматься геологией» вообще.

Неопределенность истолкования целей фациального анализа — одна из основных причин неразработанности его как научного метода. Поэтому прежде всего необходим разумный выбор цели (из числа возможных) фациального анализа, а затем уточнение ее формулировки. Для этого придется воспользоваться такими общенаучными понятиями, как прогноз, диагноз, интерполяция и экстраполяция. Условимся о следующем их истолковании.

*Прогноз (ретроспективный)* — определение свойств  $X$ , которые были присущи изучаемому телу в прошлом (в момент  $T_1$ ), на основании этих же свойств  $X$ , которые присущи ему в данный момент  $T_2$ .

*Прогноз (предсказание)* — определение свойств  $X$ , которые будут присущи телу в будущем (в момент  $T_3$ ), на основании этих же свойств  $X$ , которые присущи ему в данный момент  $T_2$ .

*Диагноз (простой)* — определение одних свойств  $Y$ , присущих телу в момент  $T$ , через другие свойства  $X$ , присущие всему телу в этот же момент  $T$ .

*Диагноз (сложный)* — определение одних свойств  $Y$ , присущих телу в фиксированный момент  $T$ , через другие свойства  $X$ , присущие частям тела в тот же момент  $T$ .

*Интерполяция и экстраполяция* — определение свойств  $X$  одних частей тела, присущих им в момент  $T$ , по свойствам  $X$  других частей тела, присущим им в момент  $T$ .

Кроме того, нужно учесть, что ранее, при уточнении цели формационного анализа, она была сформулирована так: представление геологического пространства (как правило, предварительно разбитого на некоторые «сверхкрупные» области) в виде совокупности «крупных» областей за счет разделения этого пространства на «мелкие» части, обладающие фиксированными свойствами, и последующего группирования этих «мелких» частей в «крупные» [25].

Выше отмечалось, что основная идея фациального анализа заключается в изучении свойств целого по частям, по свойствам этих частей. С учетом всего изложенного выше цель фациального анализа следует сформулировать так: представление заданной части геологического пространства (возможно, предварительно разбитого на некоторые «сверхкрупные» области) в виде «крупных» областей, которым можно приписать фиксированные условия и обстановки образования, за счет его разделения на мелкие части и последующего объединения этих «мелких» частей в «крупные».

Если оставить в стороне вопросы группирования «мелких» частей в «крупные» области, что требует специального обсуждения, формулировку цели фациального анализа можно упростить, и она станет такой:

определение условий и обстановок образования любых геологических тел по свойствам, присущим этим телам в настоящий момент.

Таким образом, процедура фациального анализа является сложным диагнозом. Различ-

ные толкования целей фациального анализа, встречающиеся в литературе, либо близки к этой упрощенной формулировке, например в [87, стр. 36], либо близки к толкованию цели формационного анализа [25], или же соответствуют различным формам прогноза, диагноза, интерполяции и экстраполяции.

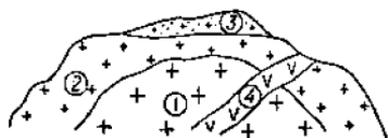


Рис. 5.

каких-либо свойств тел. Например, на рис. 5 изображены два сложных геологических тела — слой и массив, включающие в себя по четыре элемента. Если следовать этой трактовке, то целью фациального анализа является получение объяснения, почему элементарные тела (1), (2), (3) и (4) расположены именно так, а не иначе, и какими еще неизвестными свойствами они могут обладать. Скажем, в слое уменьшается размер обломков слева направо; на основании объяснения этого, например, увеличением глубины бассейна можно выделить часть слоя, образованную в прибрежных условиях, и, опираясь на гипотезу о свойствах тел, образующихся в прибрежных условиях, прогнозировать здесь россыпи устойчивых минералов. Для массива по данным о составе и расположении элементарных тел (1) — (4) и исходя из гипотезы о процессах застывания магмы можно предположить, что тела (2) и (3) соответствуют краевым частям интрузива, следовательно, в апикальной части (3) можно ожидать скопления определенных образований (грейзены и др.).

Подобная точка зрения на цель фациального анализа распространена довольно широко. Однако в этом случае фациальный анализ нельзя рассматривать как теоретический метод. Последний обязан что-то доказать а т е л ь н о п р е д с к а з ы в а т ь, а не предсказывать, опираясь на объяснение, или же только объяснять. Дело в том, что одни и те же факты могут объясняться множеством различных причин. («Хороший теоретик может объяснить почти любые полученные результаты, верные или неверные . . .» [83, стр. 395].) Предпочсть же одно объяснение другому, разумеется при условии, что эти объяснения удовлетворяют одним и тем же положениям, принятым в качестве исходных аксиом, можно только опираясь на субъ-

Выделяется особый случай, когда целевая установка фациального анализа истолковывается как получение объяснений причины наблюдаемого устройства геологического тела с целью предсказания на основе этого объяснения и некоторых гипотез

ективные представления или вводя дополнительные аксиомы.

Кроме того, «выяснение закономерностей» «в пространстве и во времени» есть, как правило, описание пространственного размещения геологических тел, именуемых фациями, и объяснение причин такого размещения. Все это не является специфическим для какого-то одного метода, именуемого фаціальным анализом, такого рода исследования ведутся при рассмотрении любых геологических тел.

Если не рассматривать вопросы группирования, логическое существо формационного анализа тоже сводится к сложному диагнозу.

Обратимся к рассмотрению задач фаціального анализа. Будем различать две их постановки.

1. В простом случае постановку задачи фаціального анализа можно пояснить так: имеем сложное геологическое тело, распадающееся на ряд элементарных тел (последними могут быть монопородные тела, минералы, конкреции, палеонтологические остатки и т. п.). Известны условия и обстановки образования всех этих элементарных тел, а также некоторые свойства самого сложного тела, например его структура. Требуется определить условия образования сложного тела.

2. В более сложных случаях фаціального анализа оказывается необходимым определить условия и обстановки образования самих элементарных тел (всех или части их), исходя из свойств, присущих этим телам.

Таким образом, в простом случае мы приходим к задаче сложного диагноза — по генетическим свойствам отдельных частей тела определяем его генетические свойства в целом. Решение об условиях образования сложного тела при первой постановке можно принимать на основании того обстоятельства, что эти условия соответствуют пересечению обстановок образования его элементарных частей. Например, если в состав сложного тела входят элементарные тела, одни из которых образованы в области моря и встречаются в диапазоне от больших до малых глубин, а другие характеризуются условиями образования на малых глубинах моря и на суше, то пересечение соответствующих областей в пространстве условий и обстановок образования дает область «море малой глубины». Из сложной формулировки «конусовидной формы область, где перемежаются условия приноса материала пресными водами с условиями образования из морских вод», возникает новая формулировка: «подводная часть дельты».

Нахождение пересечения областей, соответствующих телам, в пространстве обстановок и условий образования хорошо ил-

люстрируется «Эйлеровыми кругами» (диаграммами Венна), приводящимися в курсах логики (рис. 6).

В сложном случае фацеального анализа мы дополнительно приходим к необходимости предварительно определять условия и обстановки образования элементарных тел. Некоторые геологи суть фацеального анализа понимают только как проведение именно этой операции. Уточнить логическое существо такой задачи через диагноз, прогноз, интерполяцию и экстраполяцию оказывается затруднительным. Она или сводится к первому случаю, если элементарные тела рассматривать как сложные, или же

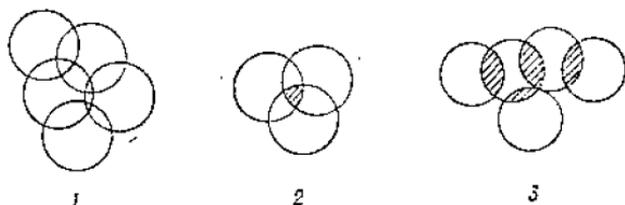


Рис. 6.

опирается на непосредственное решение (как вырабатываются аксиомы).

Рассмотрим различные практические приемы решения задач фацеального анализа.

Для их решения необходимо, во-первых, построить: а) классификации-перечисления элементарных тел по условиям и обстановкам образования, б) классификации этих же тел по свойствам, которые определяются при наблюдении; во-вторых, получить отображение второй классификации на первую. Наибольшая трудность заключается в получении такого отображения.

Наиболее распространенный прием приписывания элементарному телу условий и обстановок образования опирается на гипотезу о том, что существует соответствие между условиями и обстановками, в которых возникали геологические тела, и свойствами этих тел, наблюдаемыми в настоящее время.

Переход от свойств тел к условиям и обстановкам их образования осуществляется приемом обращения суждения, выведенного для множества  $A_1$ , и затем экстраполяцией обращенного суждения на более мощное множество  $A \supset A_1$ . Делается это так: на некотором подмножестве элементарных тел (на  $A_1$ ) устанавливается каким-либо способом соответствие между условиями и обстановками образования этих геологических тел и их свойствами. Иначе говоря, устанавливается следующее: из факта образования данного элементарного тела  $a$ , входящего в  $A_1$  ( $a \in A_1$ ),

в таких-то условиях и обстановках вытекает, что тело  $a \in A_1$  должно обладать такими-то свойствами. Символически это записывается так:  $a \in B \Rightarrow a \in C, \forall a \in A_1$ . Затем знак логического следования (импликации) оборачивается, т. е. предполагается следующее: из того факта, что данное элементарное тело  $a \in A_1$  обладает данными свойствами, вытекает, что оно образовалось именно в таких-то условиях и обстановках:  $a \in C \Rightarrow a \in B, \forall a \in A_1$ . После этого полученное суждение экстраполируется на все множество элементарных тел:  $a \in C \Rightarrow a \in B, \forall a \in (A \supseteq A_1)$ .

Поясним сказанное содержательным примером. На подмножестве «современные осадки» ( $A_1$ ) по данным непосредственных наблюдений устанавливается, что в обстановке «море» (обозначим ее классом  $M$ ) образуются геологические тела (слои)  $c \in A_1$ , сложенные песками, содержащими глауконитовые зерна (отнесем слой такого состава к классу  $G$ ). Получаем высказывание  $c \in M \Rightarrow c \in G, \forall c \in A_1$ . Затем, обернув знак импликации, получаем обратное суждение:  $c \in G \Rightarrow c \in M, \forall c \in A_1$ . Полученное высказывание — если пески содержат глауконит, то они образовались в море — используется на всем множестве песков (скажем, современных и ископаемых):  $c \in G \Rightarrow c \in M, \forall c \in A$ .

Обращение суждения и его экстраполяция могут быть законными только при определенных фиксированных условиях. В нашем случае — тогда, когда между условиями и обстановками образования и свойствами современных песков имеется взаимно однозначное соответствие. Имеет ли место такое соответствие в действительности, можно установить лишь в зависимости от того, насколько подробно различаются нами условия и обстановки образования и свойства песков. Кроме того, необходимо, чтобы множества современных и ископаемых песков были изо-

морфны друг другу.

Обращение импликации на подмножестве с последующим распространением полученного высказывания на все множество составляет сущность известного принципа актуализма. Это положение может быть названо принципом лишь с большой долей условности, ибо в общем случае обращение импликации и распространение суждения, конечно же, является незаконным. По этой причине принцип актуализма трактуется как предположение о том, что процессы, происходившие в геологическом прошлом, приводили к явлениям, сходным с современными следствиями аналогичных процессов. Конкретизация же условий, когда можно обращать импликацию с последующим распространением полученного суждения, встречается с рядом принципиаль-

ных трудностей. Последнее обусловлено тем, что в геологии вообще не имеется возможностей обосновать законность обращения импликации и законность экстраполяции обращенного суждения только на основе экспериментальных данных. Это в первую очередь связано с тем, что для уже сформированных геологических тел определить условия и обстановки образования в принципе нельзя — заключение об этом всегда основано на предположениях, — хотя и имеется возможность для части современных геологических тел наблюдать процесс их формирования. Поэтому критерии правильности выводов фациального анализа должны строиться не на основе туманных указаний о необходимости диалектического подхода и не на основе того, что получено, а на основе того, как получено. Последнее же определяется строгостью формально-логической процедуры вывода.

Из сказанного можно заключить, что проблема существования решения фациальных задач может быть разрешена путем построения некоторых алгоритмов. Проблема же единственности их решения остается открытой.

Дополнительные трудности в проведении фациального анализа возникают, если рассматривать его с учетом необходимости группирования. В этом случае его проведению должно предшествовать разбиение исследуемого геологического пространства на такие сложные геологические тела, которым можно приписать единую фиксированную обстановку образования, вернее сказать — односвязную область в пространстве условий и обстановок образования. Именно это — единство обстановки образования — подразумевается в ряде определений фаций, где говорится, что фация — это некоторая однородная часть, а именно «часть . . . обнаруживающая характерные черты», «осадок . . . обладающий одинаковым . . . составом . . .», с «одинаковой фауной и флорой»; что это — «некоторый объем осадка или породы, характеризующийся сходным комплексом палеонтологических, петрографических и физико-химических признаков»; «осадки, отложенные в одних и тех же условиях, отличных от тех, которые господствовали в соседних районах» и т. д. [45, стр. 4].

Очевидно, что при фиксированной классификации обстановок образования не всякое разбиение геологического пространства удовлетворит этому условию. Приходится прибегать к перегруппировкам ранее выделенных тел. Но очевидно и другое: если задано произвольное разбиение, очень вероятно, что мы сможем построить такую классификацию обстановок или дать такие определения отдельным классам, которые удовлетворят имеющемуся разбиению. То есть понимание «однородности» и «одинаковости» можно формулировать по-разному. Именно это обстоятель-

ство и привело к запутанности понятия «фация» — у геолога всегда есть возможность подобрать такую формулировку классам обстановок и условий образования, которая свяжет самые разнообразные по другим характеристикам тела, особенно, если эта формулировка дается в генетических терминах. Например, можно связать в одном классе обстановок яшму и порфирит, а можно и разделить. Словом, решение вопросов, основанное на понятиях «единство», «одинаковость», происходит в процессе представления окружающей нас действительности путем *абстракции отождествления* и опосредованно подчинено требованиям практики (см. [31], гл. I, § 1).

Итак, целью фациального анализа в общем случае является определение условий и обстановок образования сложных геологических тел или их частей на основании сведений об элементарных телах, слагающих сложные. С логических позиций фациальный анализ сводится к сложному диагнозу и ретроспективному прогнозу.

Фациальный анализ может проводиться в различных модификациях, в зависимости от того, что считается заданным. При проведении его приходится решать ряд задач: 1) задачу определения условий и обстановок образования элементарных тел; 2) задачу группирования элементарных тел с целью выделения сложного тела, обладающего некоторой единой фиксированной обстановкой образования; 3) задачу определения этой некоторой обстановки образования сложного тела.

Специфика перечисленных задач в том, что их решение существует, но не является единственным, а правильность полученных результатов не может быть проверена непосредственно, экспериментально. Для контроля и проверки правильности фациальных построений приходится прибегать к различного рода теоретическим критериям и опираться на логику последовательности проводимых действий.

### Схема фациального анализа

Выше отмечалось, что основная идея фациального анализа заключается в представлении исследуемого пространства некоторой совокупностью сложных геологических тел, каждому из которых можно приписать фиксированные условия и обстановки образования — односвязную область в пространстве условий и обстановок образования. Условия и обстановки образования сложных геологических тел при этой операции устанавливаются по свойствам отдельных элементарных тел, составляющих сложные, и по свойствам самих сложных тел.

Очевидно, что такая процедура может проводиться многократно. Те тела, которые первоначально принимались за сложные, для которых устанавливались условия и обстановки образования, могут быть, в свою очередь, приняты за элементарные. Опираясь на сведения о них, их можно будет использовать для определения условий и обстановок образования других, более крупных тел.

Таким образом, фациальный анализ в принципе позволяет определять условия и обстановки образования для геологических тел более «высокого уровня организации» через известные свойства геологических тел относительно «низкого уровня».

Опираясь на сказанное, можно указать последовательность действий, совокупность которых и есть собственно фациальный анализ.

Пусть нам задано некоторое геологическое пространство. Рассмотрим два случая: 1) когда не задано разбиение этого геологического пространства на элементарные тела; 2) когда такое разбиение задано.

В первом случае, прежде чем приступить к фациальному анализу, проводят разбиение геологического пространства на элементарные тела. Процедура элементаризации геологического пространства практически предшествует любым геологическим построениям. Поэтому представляется целесообразным не включать эту процедуру в фациальный анализ, а считать, что мы всегда будем иметь дело со вторым случаем.

Если считать, что геологическое пространство элементаризовано, например путем разделения на монопородные тела по избранной из некоторых соображений классификации горных пород, то задача фациального анализа сводится к отысканию способа группирования этих элементарных тел, позволяющего получить разбиение элементаризованного геологического пространства на сложные тела, которым можно приписать фиксированные условия и обстановки образования. На этот способ разбиения можно накладывать и дополнительные требования.

При решении подобной задачи приходится сталкиваться с двумя случаями: а) когда условия и обстановки образования элементарных тел известны; б) когда условия и обстановки образования элементарных тел неизвестны и их требуется определить.

В первом случае фациальный анализ проводится в следующем порядке.

1) Каждому  $i$ -му элементарному телу приписывается область  $G_i$  в пространстве условий и обстановок образования.

2) В пространстве условий и обстановок образования находим участки пересечения различных областей  $G_i$ ; это позволяет

выяснить, какие элементарные тела могут объединяться в сложные.

3) Рассматриваются различные случаи возможного группирования элементарных тел в сложные. Первым условием группирования является то, что в состав одного и того же сложного тела могут быть включены только те элементарные тела, которые имеют в пространстве условий и обстановок образования отличную от нуля общую область пересечения. Второе условие: элементарные тела, включаемые в состав сложного тела, должны быть достаточно близко расположены — связаны между собой — в геологическом пространстве, т. е. должны быть сформулированы условия, которые дают основание объединить эти тела в односвязную область [21, стр. 144].

4) Если оказывается, что возможны несколько таких способов группирования, необходимо сформулировать дополнительные требования, позволяющие выбрать один из них. Можно, например, требовать, чтобы число получаемых сложных геологических тел было минимальным; чтобы было минимальным число таких тел, которые содержат минимум (в частности, по одному) элементов; чтобы был минимален (или максимален) суммарный объем пересечения областей в пространстве обстановок и условий образования, отвечающих выделенным телам, и т. д.

Способ нахождения областей в пространстве условий и обстановок образования содержательно можно пояснить так: допустим, наблюдается сонахождение таких монопородных тел: а) слой песчаника с диагональной слоистостью эолового типа, слабозвестковистого; б) слойки битой ракушки из раковин морских моллюсков и с растительными остатками; в) прослойки ила. По принятой классификации обстановок [57, стр. 255] тела (а) могут встречаться в морской прибрежной и континентальной обстановке, тела (б) — в морской прибрежной, в зоне прибоя и выше зоны прибоя, тела (в) — в континентальной и морской обстановках, в условиях малоподвижных вод. Пересечение этих обстановок, очевидно, будет соответствовать такой области: «морское побережье, выше уровня прибоя, на суше».

Особого внимания заслуживает анализ причин, порождающих неоднозначность группирования элементарных тел в сложные. Для такого анализа необходимы вспомогательные понятия.

Рассмотрим совокупность элементарных геологических тел  $A_1, A_2, \dots, A_N$ , составляющих рассматриваемое геологическое пространство  $R$ , и совокупность отвечающих им областей в пространстве условий и обстановок образования  $G_1, G_2, \dots, G_N$ .

**О п р е д е л е н и е 1.** Два элементарных тела  $A_i$  и  $A_j$  назовем *связными*, если существуют такие пары элементарных тел

$A_i$  и  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_1}$  и  $A_{i_2}$ , ...,  $A_{i_n}$  и  $A_j$ , которые имеют отличные от нуля пересечения соответствующих им областей в пространстве условий и обстановок образования, т. е. если области  $G_i$  и  $G_j$  связаны через «посредников» (см. рис. 6—1,3).

**О п р е д е л е н и е 2.** Совокупность элементарных тел  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_2}$ ,  $A_{i_m}$  назовем *компонентой связности*, если любая пара тел  $A_i$  и  $A_j$  из этой совокупности является связной.

Иначе говоря, компонента связности — это совокупность тех элементарных и геологических тел, которые могут и не соприкасаться в геологическом пространстве, но которые соответствуют таким условиям образования, что области их в пространстве условий и обстановок все пересекаются между собой. Понятие о компоненте связности можно было бы сопоставить с разобранным выше понятием «генетический тип».

**О п р е д е л е н и е 3.** Два элементарных тела назовем *непосредственно связными*, если соответствующие им области  $G_i$  и  $G_j$  имеют отличное от нуля пересечение.

**О п р е д е л е н и е 4.** Совокупность элементарных тел  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_2}$ , ...,  $A_{i_m}$  назовем *тесной компонентой связности*, если любые два элементарных тела  $A_{i_p}$  и  $A_{i_q}$  из этой совокупности оказываются непосредственно связными.

Иначе говоря, тесная компонента связности — это совокупность элементарных тел, которые могут и не соприкасаться в геологическом пространстве, но которые имеют такие условия и обстановки образования, что существует отличная от нуля единая (односвязная) область пересечения соответствующих им областей в пространстве условий и обстановок образования (см. рис. 6—2). В геологических терминах аналогичного понятия не существует.

Используя алгоритм разбиения множества на компоненты связности [26], можно, задавшись некоторыми требованиями, однозначно разбить заданную совокупность элементарных тел  $A_1, A_2, \dots, A_N$  на компоненты связности  $\{A\}_1, \{A\}_2, \dots, \{A\}_n$ . Очевидно, что элементарные тела, входящие в различные компоненты связности, не могут входить в состав одного и того же сложного тела, интересующего нас при проведении фациального анализа. Из заданной совокупности элементарных тел  $A_1, A_2, \dots, A_N$ , составляющих рассматриваемое геологическое пространство, выберем только те, которые входят в некоторую ( $i$ -ю) компоненту связности  $\{A\}_i$ .

**О п р е д е л е н и е 5.** Два любых элементарных тела  $A_i$  и  $A_j$  из этой совокупности назовем *ближайшими соседями*, если они имеют общую границу. Два тела  $A_i$  и  $A_j$ , принад

лежащие данной компоненте связности, будем называть *соседями*, если в этой компоненте существуют такие пары элементарных тел  $A_i$  и  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_1}$  и  $A_{i_2}$ ,  $A_{i_2}$ , ...,  $A_{i_n}$  и  $A_j$ , которые являются ближайшими соседями, т. е.  $A_i$  является соседом  $A_j$ , если они связаны в пространстве через цепочку «посредников».

**О п р е д е л е н и е 6.** Совокупность элементарных тел, образующих  $l$ -ю компоненту связности, назовем *пространственной компонентой связности*, если любые два элементарных тела  $A_{i_p}$  и  $A_{i_q}$  из этой совокупности являются соседями.

Иначе говоря, пространственная компонента связности — сложное геологическое тело — совокупность тех элементарных геологических тел, которые: а) обязательно имеют в геологическом пространстве общие протяженные границы и образуют в нем односвязную область (т. е. являются соседями — составляя единое тело); б) имеют такие условия и обстановки образования, что соответствующие им области в пространстве условий и обстановок образования пересекаются.

Используя алгоритм, предложенный в [26], можно разбить  $l$ -ю компоненту связности  $\{A\}_l$  на пространственные компоненты  $\{A\}_1^1$ ,  $\{A\}_1^2$ , ...,  $\{A\}_1^m$ . Поступая аналогично с другими компонентами связности, мы в итоге однозначно представим исходную совокупность элементарных тел  $A_1, A_2, \dots, A_N$  в виде множества компонент связности  $\{A\}_1^1, \{A\}_1^2, \dots, \{A\}_1^m$ . Очевидно, что элементарные тела, входящие в различные пространственные компоненты связности, не могут входить в состав сложного тела с интересующими нас свойствами (определяемыми фиксированным классом обстановок и условий образования). Все элементарные тела, образующие искомое сложное геологическое тело, которому можно приписать фиксированные условия и обстановки образования (*это и есть фация*), должны входить в тесную компоненту связности.

Ясно, что  $l$ -я пространственная компонента связности  $\{A\}_l^1$  может представлять собой тесную компоненту связности, а может и не быть таковой. Поэтому интересующая нас задача группирования элементарных тел  $A_1, A_2, \dots, A_N$  в сложные тела может быть теперь истолкована как задача разбиения каждой из пространственных компонент связности

$$\{A\}_1^1, \{A\}_1^2, \dots, \{A\}_1^m$$

именно на тесные компоненты связности. Полученные таким образом тесные компоненты связности условимся называть *тесными пространственными компонентами связности*.

О п р е д е л е н и е 7. Тесной пространственной компонентой связности будем называть совокупность элементарных тел, которые все являются соседями, а соответствующие им области в пространстве условий и обстановок образования образуют единое, отличное от нуля пересечение.

*Тесные пространственные компоненты связности и представляют интересующие нас геологические тела — фации.* Они образованы такими элементарными телами, которые в геологическом пространстве соприкасаются, а соответствующие им (элементарным телам) области в пространстве условий и обстановок образования имеют односвязную (единую) область пересечения.

Именно на этом этапе фациальных построений и возникает неоднозначность, вызванная различиями способов разбиения пространственных компонент на тесные компоненты связности. Анализ причин неоднозначности операций группирования элементарных тел в сложные можно иллюстрировать таким модельным примером.

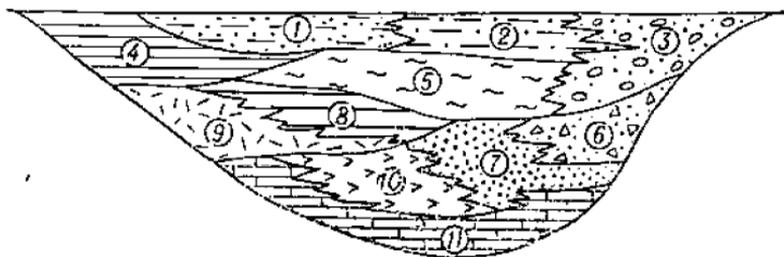


Рис. 7.

На рис. 7 изображено геологическое пространство, представляющее собой совокупность элементарных геологических тел  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{11}$  (Например: 1 — глинистые алевриты, 2 — алевролиты, 3 — гравий, 4 — глины, 5 — суглинки, 6 — брекчии, 7 — пески, 8 — глины песчаные, 9 — гипсоносные глины, 10 — мергели, 11 — известняки).

На графиках (рис. 8) в координатах условий и обстановок образования (для данного примера выбрано двумерное пространство с координатами  $H$  — глубина бассейна и  $L$  — удаленность от области сноса) изображены области  $G_1, G_2, \dots, G_{11}$ , характеризующие условия образования этих тел. Из рис. 9 и 10 видно, как при совмещении областей  $G_1 - G_{11}$  заданная совокупность элементарных тел  $A_1, A_2, \dots, A_{11}$  в пространстве условий и обстановок образования разбивается на две компоненты связности —

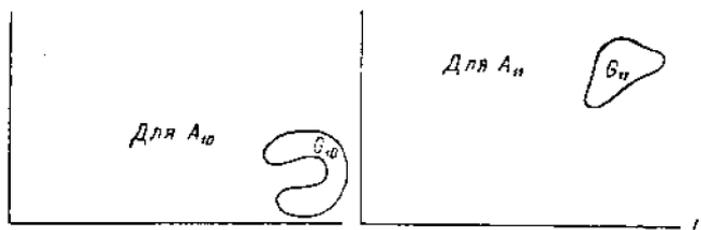
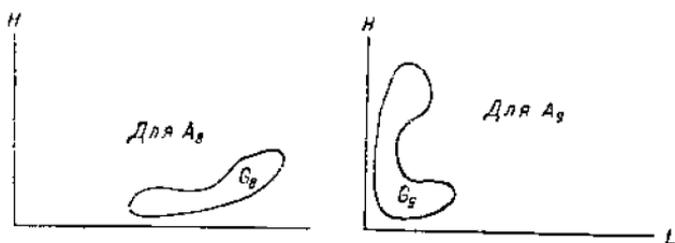
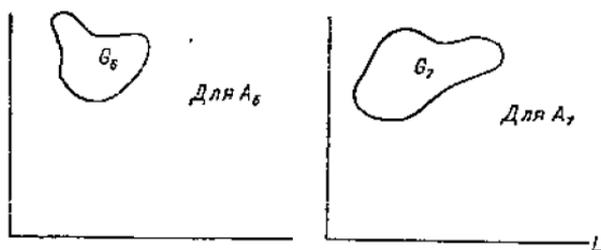
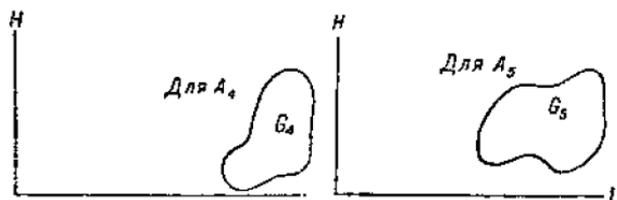
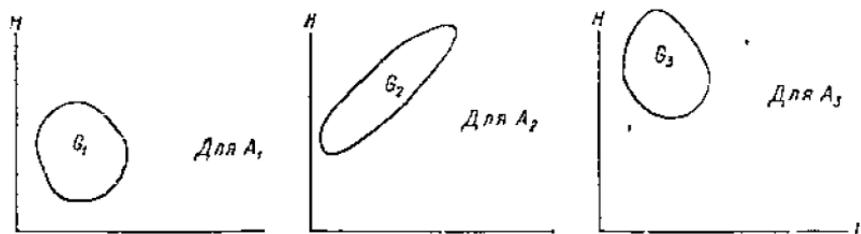


Рис. 8.

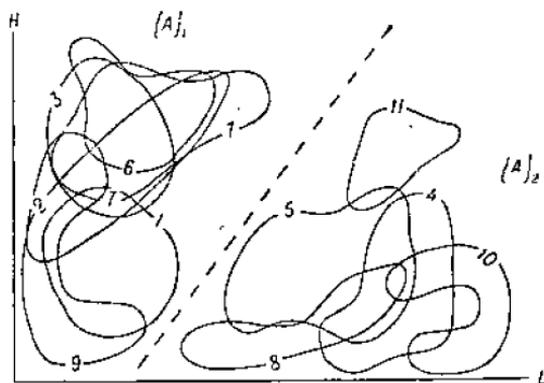


Рис. 9. Области  $G$  совмещены, при этом возникло 2 компоненты связности  $\{A\}'_1$  и  $\{A\}'_2$

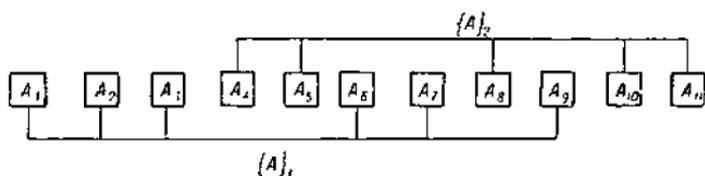


Рис. 10. Схема распределения элементарных геологических тел  $A_1—A_{11}$  по компонентам связности.

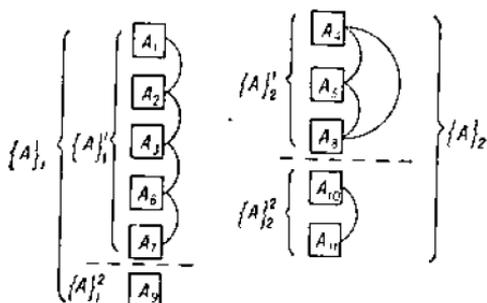


Рис. 11. Схема, поясняющая способ выделения пространственных компонент связности. Соединены ближайше соседи.

$\{A\}_1$  и  $\{A\}_2$ . Из рис. 11 вытекает, что в геологическом пространстве, учитывая понятие о соседстве, нам придется иметь дело с четырьмя пространственными компонентами связности:

$$\{A\}_1^1, \{A\}_1^2, \{A\}_2^1 \text{ и } \{A\}_2^2.$$

На рисунках 12—14 показаны области  $G$ , соответствующие этим четырем пространственным компонентам связности. Видно, что тела, образующие пространственные компоненты  $\{A\}_1^2$  и  $\{A\}_2^2$ , однозначно разбиваются на тесные компоненты связности.

Из рис. 12 следует, что пространственная компонента связности  $\{A\}_2^1$  однозначно переводится в одну тесную компоненту связности, если задаться требованием минимизации площади тесных компонент связности.

Пространственная же компонента связности  $\{A\}_1^1$  при аналогичном требовании, как видно из рис. 14, может быть разбита на тесные компоненты связности несколькими способами.

На рис. 15 и 16 изображены два варианта представления геологического пространства, заданного на рис. 7, в виде сложных тел  $B$  после группирования. Если потребовать, чтобы суммарный объем областей в координатах  $H$  и  $L$ , отвечающих телам  $B_1, B_2, \dots, B_6$ , был минимален, мы придем к такому представлению нашего геологического пространства, которое дается на рис. 15.

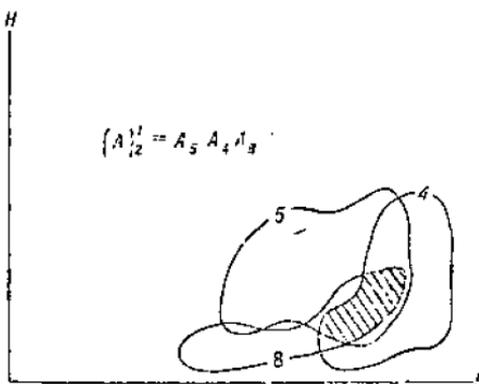


Рис. 12. Пространственная компонента связности  $\{A\}_2^1$  однозначно переводится в тесную пространственную компоненту связности, область которой заштрихована.

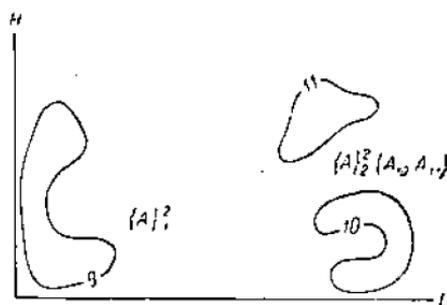


Рис. 13. Пространственная компонента связности  $\{A\}_2^2$  однозначно разбивается на 2 тесные пространственные компоненты связности, соответствующие телам  $A_{10}$  и  $A_{11}$ .  $\{A\}_1^2$  соответствует телу  $A_9$ .

Области  $G$  в координатах условий и обстановок образования, соответствующие телам  $B_1, B_2, \dots, B_6$ , даны на рис. 14 и 15.

Вернемся ко второму случаю проведения фациального анализа: когда условия и обстановки образования элементарных тел не заданы и приходится их предварительно определять. Как уже отмечалось, такое определение опирается на ряд эмпирически выбранных приемов и предположений, связанных с применением принципа актуализма. Последние связаны, например, с

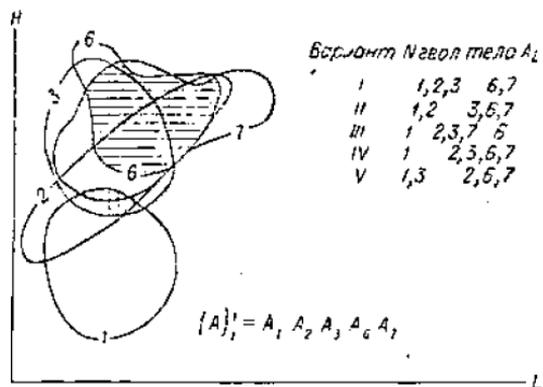


Рис. 14. Варианты разбиения пространственной компоненты связности  $\{A\}_1$  на тесные пространственные компоненты связности. Возможны 5 вариантов представления ее в виде непересекающихся областей. Заштрихован вариант I.

установлением (на основе полевых или лабораторных наблюдений) прямой импликации, позволяющей судить о свойствах элементарных тел по условиям и обстановкам их образования, и последующим обращением этой импликации, что позволяет судить об условиях и обстановках образования элементарных тел по их свойствам. Эти приемы, вообще говоря, оказываются различными для различных типов элементарных тел, но всегда содержат такие предположения, которые принимаются за истинные, например, принимается истинной обращенная импликация. Иначе говоря, процедура соотнесения классификации-перечисления элементарных тел  $A$  по условиям и обстановкам образования с их классификацией-перечислением по свойствам тел всегда базируется на определенной аксиоматике.

Представляется уместным кратко повторить общую схему фациального анализа и проиллюстрировать ее некоторыми замечаниями.

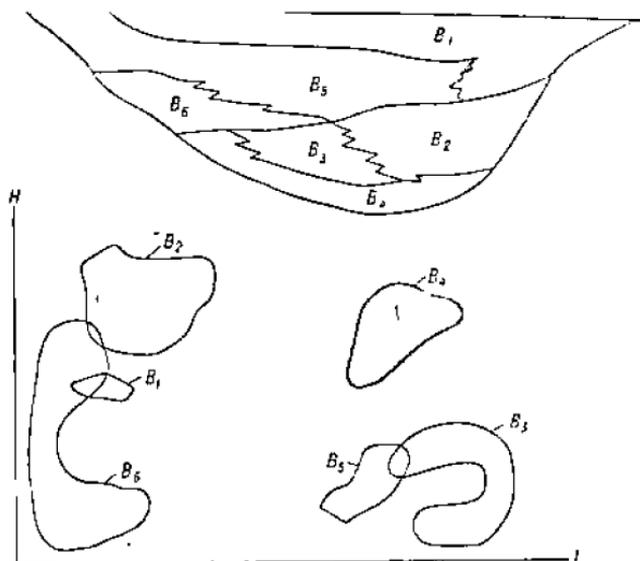


Рис. 15. Области сложных тел  $B_i$  в пространстве обстановок и условий образования для варианта I (см. рис. 14) и взаиморасположение тел  $B_i$  в геологическом пространстве (на профиле).

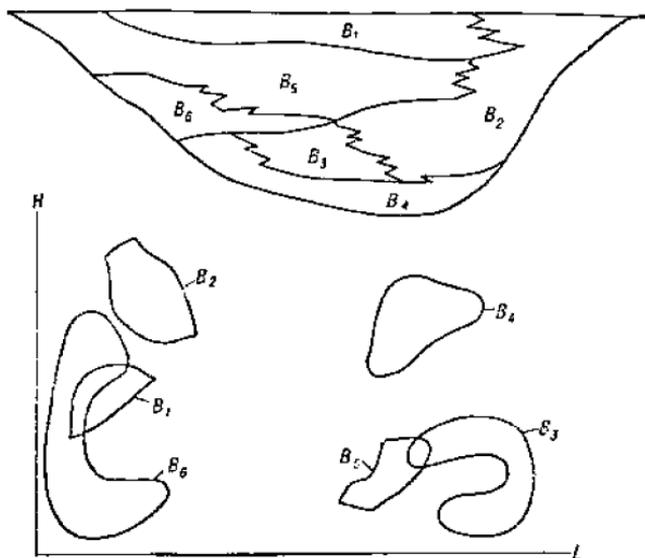


Рис. 16. Области сложных тел  $B_i$  в пространстве обстановок и условий образования для варианта II (см. рис. 14) и взаиморасположение тел  $B_i$  в геологическом пространстве (на профиле).

Итак, в любом случае можно считать, что при фаціальном анализе задана часть геологического пространства  $R$ , представленная множеством элементарных геологических тел  $\{A\}$ .

На первом этапе анализа необходимо: а) формально зафиксировать посредством соответствующего понятия тип элементарных тел  $\langle A \rangle$ , который содержит в себе множество элементарных геологических тел  $\{A\}$ ; б) выбрать на основе объективно измеряемых свойств этих тел систему признаков  $U$  и построить классификацию-перечисление элементарных геологических тел по свойствам, присущим им в настоящий момент — по системе признаков  $U$ , т. е. перечислить классы  $A_1^U, A_2^U, \dots, A_{NV}^U$ . Обозначим такую классификацию  $[A : U]$ ; в) выбрать систему признаков  $V$ , позволяющую различать условия и обстановки образования как элементарных, так и сложных геологических тел, и построить классификации-перечисления этих тел по условиям и обстановкам образования с использованием системы признаков  $V$  —  $[A : V]$ , т. е. перечислить классы  $A_1^V, A_2^V, \dots, A_{NV}^V$  (одновременно и  $B_1^V, B_2^V, \dots$ ).

Этот первый этап условимся называть этапом *выбора исходных предпосылок*. Ясно, что исходные предпосылки должны выбираться так, чтобы они обладали достаточной общностью: были пригодны для любого геологического пространства  $R$ , выполненного элементарными геологическими телами данного типа.

Оговорим одно обстоятельство — здесь не рассматриваются критерии выбора этих исходных предпосылок. Очевидно, что последние выбираются по требованиям исследования (минимизация затрат на исследование, опыт, традиции и т. п.). Проверить удачность выбора исходных предпосылок можно, видимо, только путем проб и ошибок при условии сохранения правильности логической схемы действий.

На втором этапе необходимо установить соответствие между двумя классификациями-перечислениями  $[A : U]$  и  $[A : V]$ , т. е. указать для каждого класса неотличимости  $A_i^U$  соответствующий ему класс (классы) неотличимости  $A_{j(i)}^V$ , такой (такие), чтобы из факта принадлежности данного элементарного геологического тела  $A'$  к  $A_i^U$  следовало бы, что оно принадлежит  $A_{j(i)}^V$ . Подобное соответствие позволяет приписать каждому элементарному геологическому телу  $A'$ , обладающему известными признаками  $U'$ , условия и обстановки образования  $V'$ . За счет этого каждому классу  $A_i^U$  будет поставлена в соответствие область в пространстве  $V$  — обозначим ее  $G_i^V$ , представляющая собой совокупность классов  $A_{j(i)}^V$ . Для установления такого

соответствия, как уже отмечалось, необходимы некоторые аксиомы. Эти аксиомы обязательно должны быть зафиксированы в явном виде. Вторым этапом условимся называть *выбором исходной аксиоматики*.

Возможны два вида соответствий между классификациями-перечислениями  $[A : U]$  и  $[A : V]$ , а именно: 1) когда какому-либо одному классу  $A_i^U$  ставится в соответствие множество классов  $\{A_{j(i)}^V\}$ , 2) когда любому одному классу  $A_i^U$  ставится в соответствие только один класс  $A_{j(i)}^V$ , причем различным классам  $A_i^U$  отвечают одинаковые классы  $A_{j(i)}^V$ .

В дальнейшем будем иметь в виду только первый вид соответствия между этими классификациями-перечислениями. Вторым видом соответствия представляет собой частный случай первого, когда последующие фацциальные построения упрощаются за счет упрощения приемов группирования элементарных геологических тел в сложные. В первом случае каждому элементарному телу в пространстве условий и обстановок образования отвечает область конечных размеров. Во втором — каждому элементарному телу в пространстве условий и обстановок образования отвечает точка, т. е. «область нулевого размера».

Вообще говоря, между классификациями по свойствам  $[A : U]$  и по условиям образования  $[A : V]$  может быть установлено одно-однозначное (взаимно однозначное) соответствие. Однако в этом случае фацциальный анализ не имеет смысла, ибо класс элементарных тел при таких «фацциальных построениях» переводится сам в себя, происходит лишь перекодировка сведений об элементарных телах.

На третьем этапе, учитывая, что каждому элементарному геологическому телу  $A_i$ , принадлежащему  $\{A\}$ , уже приписана область  $G_i^V$  в пространстве условий и обстановок образования, эти элементарные тела группируются в сложные. Как уже отмечалось, этот этап проводится так: а) множество элементарных геологических тел  $\{A\}$  разбивается на компоненты связности  $\{A\}_1, \{A\}_2, \dots, \{A\}_p$ ; б) каждая компонента связности  $\{A\}_i$  разбивается на пространственные компоненты связности  $\{A\}_i^1, \{A\}_i^2, \dots, \{A\}_i^m$ ; в) для каждой из пространственных компонент связности  $\{A\}_i^j$  формулируются требования, обеспечивающие однозначность ее разбиения на тесные компоненты связности; проводится разбиение всех пространственных компонент связности на тесные пространственные компоненты связности, т. е. каждой  $i$ -й тесной компоненте связности приводится в соответствие сложное геологическое тело  $B_i$  в геологическом пространстве  $R$ .

## Схема процедуры фациального анализа

| Задано: геологическое пространство класса $R$ , представленное множеством элементарных тел $\{A\}$ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Этап выбора исходных предпосылок                                                                | <p>↓</p> <p>Фиксируется тип элементарных тел <math>\langle A \rangle</math>.</p> <p>↓</p> <p>Выбирается система признаков <math>U</math> (свойства) и строится классификация-перечисление <math>[A : U]</math></p> <p>↓</p> <p>Выбирается система признаков <math>V</math> (условия и обстановки образования) как для элементарных тел <math>\langle A \rangle</math>, так и для будущих сложных тел <math>\langle B \rangle</math>; строятся классификации-перечисления <math>[A : V]</math> и <math>[B : V]</math></p>                                                     |
| 2. Этап выбора исходной аксиоматики                                                                | <p>↓</p> <p>Устанавливается соответствие между <math>[A : U]</math> и <math>[A : V]</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3. Этап группирования                                                                              | <p>↓</p> <p>Одному из классов <math>[A : U]</math> ставится в соответствие множество классов <math>[A : V]</math></p> <p>↓</p> <p>Множество элементарных тел <math>\langle A \rangle</math> разбивается на компоненты связности <math>\{A\}_i</math></p> <p>↓</p> <p>Каждая компонента связности <math>\{A\}_i</math> разбивается на пространственные компоненты связности <math>\{A\}_i^m</math></p> <p>↓</p> <p>Каждая пространственная компонента связности <math>\{A\}_i^m</math> разбивается на тесные пространственные компоненты связности <math>B</math> (фации)</p> |
| 4. Этап нахождения общих областей пересечения                                                      | <p>↓</p> <p>Каждому сложному геологическому телу <math>B_i</math> (фации) приписывается односвязная область в пространстве условий и обстановок образования</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

↓

Переход на новый «уровень», начиная с этапа 1.

Третий этап условимся называть *группированием* (выбором алгоритма группирования). Чтобы группирование проводилось однозначно, нужно вводить дополнительные требования, т. е. задавать конкретный алгоритм группирования. Подобные операции, даже при относительно небольшом количестве элементарных тел, довольно сложны. Поиск оптимального варианта группирования путем перебора, несомненно, потребует применения вычислительной техники.

На четвертом этапе каждому сложному геологическому телу  $B$ , приписывается область в пространстве условий и обстановок образования посредством построения пересечения областей  $G$ , элементарных тел. Затем сложные тела  $\{B\}$  принимаются за элементарные, и схема анализа может быть повторена, начиная с первого этапа.

В качестве выводов к данному разделу в табл. 1 приводится схема фациального анализа.

### Определение понятия «фация»

Прежде всего необходимо выбрать способ формулировки, наиболее подходящий для данного понятия. Возможны три способа формулировок: эксплицитный, логического вывода и операциональный. Правильный выбор способа очень важен для дальнейшего. С другой стороны, обосновать выбор с самого начала, как правило, не представляется возможным; насколько удачен выбранный способ, можно установить лишь позже [39].

Опыт показывает, что в предлагавшихся определениях понятия о фациях не хватает оперативных критериев; поэтому наиболее подходящим способом для формулировки рассматриваемого понятия будет операциональный.

При выработке определения понятия «фация» можно, с одной стороны, исходить из основной идеи фациального анализа, с другой — из его общей схемы. То и другое изложено выше. Теперь можно сказать, что в соответствии с основной идеей фациального анализа понятие о фациях должно формулироваться прежде всего как понятие об определенном способе действий, как понятие об определенных операциях с некоторыми объектами. Эти объекты могут быть различными, и в результате действий с ними получают некоторые другие объекты, которые, естественно, тоже могут быть различными. Из этого вытекает, что понятие о фациях нельзя формулировать как понятие о предметах, всегда имеющих определенный облик и составляющих конечное множество. Определенный образ всегда имеют только действия, которые приводят к вычленению того, что нам следует рассматривать как фации.

По этой причине, с учетом общей схемы фациального анализа, предварительно можно считать, что фация есть сложное геологическое тело класса  $B$ , полученное определенным способом действий  $P$  с элементарными геологическими телами класса  $A$ , составляющими геологическое пространство класса  $R$ . Облик и состав, т. е. свойства сложных геологических тел класса  $B$  определяются  $P$ ,  $A$  и  $R$ . В различных случаях  $A$  и  $R$  могут быть

различными, а  $P$  всегда одно и то же. В силу постоянства  $P$  некоторыми постоянными характеристиками обладают и сложные геологические тела классов  $B$ , а именно: они всегда должны быть такими, что им можно приписывать фиксированную односвязную область в пространстве условий и обстановок образования. Кроме того, к сложным геологическим телам класса  $B$ , в силу определения сложного геологического тела [21, стр. 145], применима одна и та же схема аналитического описания [23].

Основываясь на предыдущем, сформулируем вначале понятие о фации как об и д и в и д у а л ь н о м теле. Будем в дальнейшем называть его *понятием об  $i$ -фации*.

О п р е д е л е н и е 8. Под  $i$ -фацией будем понимать сложное геологическое тело  $B_i$ , принадлежащее классу  $B$ , которому (телу) в пространстве условий и обстановок образования  $V$  можно приписать фиксированную односвязную область  $G_i^V$ .

При этом сложное геологическое тело  $B_i$  таково, что:

а) оно получено за счет действий  $P$  ( $A \rightarrow B$ ) над элементарными геологическими телами класса  $A$ , составляющими геологическое пространство класса  $R$ ;

б) область  $G_i^V$  представляет собой область пересечения областей  $g_i^V$  в пространстве условий и обстановок образования, отвечающих элементарным телам  $A$ , входящих в эту  $i$ -фацию;

в) ему можно однозначно приписать следующие характеристики: форму  $f_i$ , размер  $v_i$ , положение центра масс  $m_i$ , ориентацию  $\vec{r}_i$ , вещественный состав  $b_i$ , структуру  $c_i$ , вещественную ассоциацию  $d_i$ , возраст  $T_i$ .

Таким образом, в соответствии с данным определением  $i$ -фация описывается 13 параметрами:  $R, A, B, P(A \rightarrow B), G^V, f_i, v_i, m_i, \vec{r}_i, b_i, c_i, d_i$  и  $T_i$ . Следует учесть, что сами  $R, A, B, b_i, c_i, d_i$  тоже описываются некоторыми параметрами.

Дадим теперь определение понятия фации (абстрактной) с учетом того, что для целей фациального анализа параметры  $t_i, V_i, m_i$  и  $\vec{r}_i$  очевидно, несущественны.

О п р е д е л е н и е 9. Под фацией будем понимать  $i$ -фацию описанную только с точки зрения девяти параметров:  $R, A, B, P(A \rightarrow B), G_i^V, b_i, c_i, d_i$  и  $T_i$ . Иначе говоря, фация—это множество  $i$ -фаций, у которых фиксированы лишь упомянутые девять параметров.

<sup>1</sup> Об определении  $f, v, m, \vec{r}, b, c$  и  $d$  говорится в [21], а также в [23]; параметр  $T$  принимается здесь без уточнения.

Опираясь на такое описание фации, перейдем к выделению различных важных с геологической точки зрения типов и классов фаций, которые будем получать фиксацией тех или иных параметров, считая всегда фиксированным только  $P$ . Кроме того, будем считать, что фиксация  $A$  приводит в силу постоянства  $P$  к фиксированному  $B$ .

$R$ -фация — множество всех фаций, для которых фиксирован класс геологических пространств  $R$ . Например — фации межгорных впадин, платформенные фации.

$A$ -фация — множество всех фаций, которые получаются за счет действий  $P$  над элементарными геологическими телами фиксированного класса  $A$ . Например — литофации, т. е. фации, образованные из монопородных тел; ритмофации, т. е. фации, в которых элементарными телами являются ритмы и т. п.

$RA$ -фация — множество фаций, для которых фиксирован класс геологических пространств  $R$  и которые получены за счет действий над элементарными телами фиксированного класса  $A$ . Например — платформенные литофации, геосинклинальные ритмофации.

$RAT$ -фация — множество  $RA$ -фаций, у которых фиксирован возраст  $T$  (фиксировать возраст геологических тел можно только тогда, когда уже зафиксированы  $R$  и  $A$ ). Например — платформенные литофации ордовика, геосинклинальные ритмофации лейаса<sup>1</sup>.

При такой систематике внутри  $R$ -,  $A$ -,  $RA$ - и  $RAT$ -фаций (являющихся типами фаций) можно выделять различные классы фаций, фиксируя какой-либо из параметров  $G_i^V, b_i, c_i, d_i$  или их сочетания.

Данные здесь определения понятий  $i$ -фации, абстрактной фации, типов фаций и другие «фациальные» понятия, которые могут быть получены указанным выше способом, удовлетворяют всем необходимым требованиям, предъявляемым к понятиям [21, стр. 110]. В частности, они позволяют судить о том, каким образом могут эти различные фации выделяться и к чему сводится их описание.

Понятие о различных фациях опирается на понятие о сложном геологическом теле, определенном ранее с указанием перечня действий, которые можно производить над ним [21]. Поэтому можно считать, что приведенные выше определения различных фаций позволяют судить и о тех действиях, которые можно про-

---

<sup>1</sup> Утверждения о том, что фациальный анализ можно проводить только на телах  $A$ , которые все имеют фиксированный возраст  $T$ , ничего ни в данной систематике, ни в процедуре анализа не меняют.

изводить с фациями. В этом-то и заключается принципиальное преимущество предложенных здесь формулировок перед теми, что были известны ранее.

Разумеется, предложенные формулировки носят общий характер. Для их конкретизации необходимо в нужном плане выработать прежде всего понятия об *i*-фации: фиксировать класс элементарных геологических тел *A*; фиксировать систему признаков *V*, описывающую условия и обстановки образования; фиксировать класс геологических пространств *R*. Когда такая конкретизация проведена, условимся говорить о *конкретных фациях*.

Используем для примера такой конкретизации рис. 7. Пусть *R* — геологическое пространство, скажем, класса «краевой прогиб». *A* — множество геологических тел, каждое из которых состоит из какой-либо породы по перечисленному списку. *V* — система признаков условий и обстановок образования, заданная таким образом: координата *L* (расстояние от области сноса) разделена на 6 интервалов (прибрежная и внутренняя части лагуны; прибрежная часть моря, среднеудаленная часть моря, открытое море); координата *H* — глубина водоема разделена на 3 интервала (мелкая, средняя, глубокая части). Классификация-перечисление  $[A : V]$ , таким образом, будет содержать 18 классов условий и обстановок образования (рис. 17), на диаграмме соот-

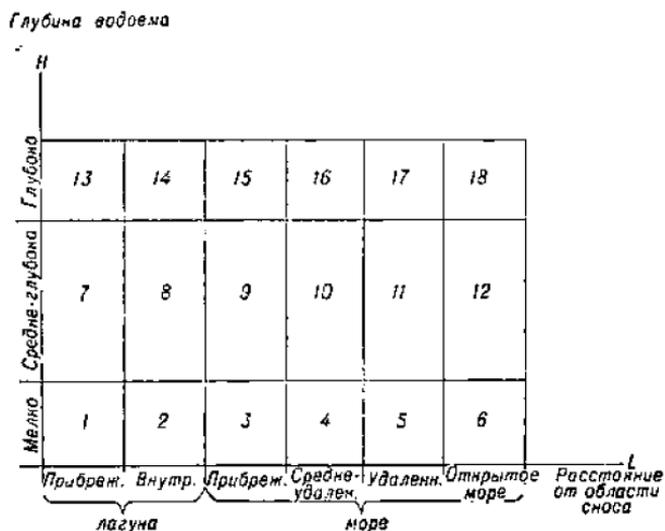


Рис. 17. Пространство условий и обстановок образования в координатах  $H/L$  ( $H$  — глубина бассейна,  $L$  — расстояние от области сноса) с классификацией-перечислением  $[A : V]$  и  $[B : V]$  из 18 классов.

ветствующих прямоугольникам № 1—18. Например, класс 1 — мелкая, прибрежная часть лагуны; класс 2 — среднеглубокая часть лагуны и т. д. Если какое-либо элементарное геологическое тело принадлежит некоторому классу классификации [A : V], ему будет отвечать о б л а с т ь в пространстве условий и обстановок образования. Напомним, области, отвечающие телам 1—11 рис. 7, изображены на рис. 8 (1—11).

Теперь обратимся к рис. 15 (1—2), где изображен вариант разделения заданного пространства  $R$  на фации (тела  $B$ ) и отвечающие этим телам  $B$  области в пространстве условий и обстановок образования. Если наложить диаграмму рис. 15—2 на рис. 17, можно увидеть, что, например, телу  $B_1$  соответствует в этом пространстве с учетом выбранного масштаба область, которая покрывается прямоугольными областями № 7 и 8. Область, соответствующая телу  $B_2$ , покрывается областями 7, 8, 9, 13, 14 и 15; телу  $B_3$  — 6, 11, 12; телу  $B_4$  — 11, 12, 17, 18 и т. д. Следовательно, конкретная  $i$ -фация  $B_i$  — это сложное геологическое тело, составленное алевролитами, глинистыми алевролитами и гравием, отложенное в условиях прибрежной части лагуны, в обстановке средних глубин. Оно относится к типу «литофаций краевого прогиба» ( $RA$ -фация).  $T$  мы не фиксировали.

### Фации и формации (сравнение понятий)

В чем проявляется разница между понятиями «фация» и «формация», между фациальным и формационным анализами? Этот вопрос также достаточно запутан. Характерно то, что почти во всех работах, посвященных уточнению понятия «фация», обязательно затрагивается понятие «формация» и наоборот. В литературе, посвященной этому вопросу, намечаются все возможные позиции относительно соотношений понятий «фация» и «формация»: 1) фация и формация — одно и то же; 2) фация — часть формации; 3) формация — часть фации; 4) это перекрывающиеся понятия, которые в отдельных частных случаях могут обозначать одно и то же.

Отсутствует точка зрения, согласно которой фация и формация рассматривались бы как понятия, не имеющие ничего общего, скажем, как понятия «минерал» и «стратиграфический ярус». Ясно, что и фации, и формации суть подразделения литосферы, основанные на понятиях «горная порода» и «геологическое тело», поэтому они взаимосвязаны.

Первая точка зрения — фация и формация есть одно и то же — выражена, например, в работах Н. М. Страхова [73], где формация определяется как комплекс отложений, образовавшийся

при сохранении в одном и том же районе в течение длительного времени физико-географической обстановки одного и того же характера.

Вторая — фация есть часть формации — распространена очень широко. Ее выразителями являются, например, Л. Б. Рухии [68], считавший формацию «генетической совокупностью фаций», В. Е. Хави [81], у которого формация — «закономерное сочетание парагенетически взаимосвязанных литофаций». Сюда же можно, отчасти, причислить и автора термина «фация» А. Грессли, который иногда называл совокупность фаций формацией [15]. Наконец, в одной из последних работ [5] формация также трактуется как одна или несколько фаций.

Третья точка зрения — формация есть часть фации — распространена меньше. Она неявным образом вытекает из сопоставления работ, одни из которых формации выделяют в таком геологическом объекте, который другие определяют как фацию.

Четвертая точка зрения — понятия «фация» и «формация» перекрываются — выражена в тех работах (например, см. [15]), где фация определяется как разновозрастных отложений. Но формации тоже являются разновозрастными отложениями и тоже могут быть разновозрастными. Н. С. Шатский [89] требовал четко различать понятия «фация» и «формация», определяя фацию как показатель взаимоотношений разновозрастных соседних объектов любого из конкретных стратиграфических подразделений (при этом подразумевались не обязательно ближайшие соседи). В такой трактовке термин «фациальный» всегда имеет в виду минимум два тела. Формации же, будучи геологическими телами, могут охватывать любые стратиграфические подразделения. Поэтому они где-то должны пересекаться и с теми телами, которые имеются в виду при фациальных построениях. «Формации сами испытывают свои фациальные изменения . . .», — писал Н. С. Шатский [89, стр. 54], не оговаривая при этом, что границы участков, по которым определяются эти «фациальные изменения», обязательно должны совпадать с формационными границами. Последнее возможно как частный случай.

Для того чтобы выяснить взаимоотношения между фациальным и формационным анализами, необходимо обратиться к уточнению формулировки понятия о формации. Будем опираться на соображения, изложенные нами ранее [25], не повторяя их здесь. Для сопоставимости будем действовать точно так же, как действовали при выработке формулировки понятия о фациях, т. е. используем операциональный способ формулировки понятия, опираясь на основную идею формационного анализа и его общую схему.

Как было показано при разборе основной идеи формационного анализа [25], сущность ее заключается в разделении (с минимизацией затрат и усилий на достижение исследовательской цели) геологического пространства фиксированного класса на сложные геологические тела, обладающие заранее фиксированными свойствами. Такое разделение достигается за счет разделения этого пространства на элементарные геологические тела, обладающие другими фиксированными свойствами, и последующего группирования их. Исходя из сказанного, общую схему формационного анализа можно представить в следующем виде.

В любом случае задана часть геологического пространства  $R$ , представленная множеством элементарных тел  $\{A\}$ .

На первом этапе необходимо:

а) формально зафиксировать посредством соответствующего понятия множество элементарных тел  $\langle A \rangle$ , содержащее  $\{A\}$ ;

б) выбрать и зафиксировать систему признаков этих тел по свойствам  $V$ , затем построить классификацию-перечисление  $[A : V]$  с классами  $A_1^V, A_2^V, \dots, A_{N(V)}^V$ ;

в) зафиксировать множество сложных тел  $\{B\}$  и выбрать две системы признаков, а именно: систему  $F$ , которая разбивает  $\{B\}$  на интересующие нас классы  $B_1^F, B_2^F, \dots, B_{N(F)}^F$ ; систему  $\Phi$ , которая выбирается с учетом того, что тела  $\{B\}$  состояются из тел  $\{A\}$ ; по  $\Phi$  строится  $[B : \Phi]$  с классами  $B_1^\Phi, B_2^\Phi, \dots, B_{N(\Phi)}^\Phi$ .

На втором этапе устанавливается соответствие между двумя классификациями-перечислениями  $[B : F]$  и  $[B : \Phi]$ , т. е. строится алгоритм распознавания, который обозначим  $Q (\Phi \rightarrow F)$ , позволяющий перейти к интересующей нас классификации сложных тел  $\{B\}$  по системе признаков  $F$ .

На третьем этапе выбирается алгоритм группирования тел, принадлежащих  $\{A\}$ , в тела  $\{B\}$ . Обозначим этот алгоритм  $P (A \rightarrow B)$ .

На четвертом этапе каждому полученному телу  $B$ , используя алгоритм  $Q (\Phi \rightarrow F)$ , приписывается класс  $B_i^F$  и, следовательно, по аналогии все свойства этого класса.

На основании изложенного можно вывести понятие о формации как об индивидуальном теле — об  $i$ -формации<sup>1</sup>.

**О п р е д е л е н и е 10.** Под  $i$ -формацией понимается сложное геологическое тело  $B_i$ , принадлежащее определенному

<sup>1</sup> В геологии осадочных пород индивиду-формация называется «конкретной формацией»; в геологии магматических образований конкретной формации часто соответствует понятие «магматический комплекс».

классу тел. Этому телу в пространстве системы свойств  $F$  можно приписать фиксированную односвязную область  $G_i^F$ .

Сложное геологическое тело  $B_i$  таково, что:

а) оно получено за счет действий  $P$  (группирования) над элементарными телами класса  $A$ , составляющими геологическое пространство класса  $R$ ;

б) его область  $G_i$  может быть определена системой свойств на основании алгоритма  $Q$  по областям  $q_i^P$  в пространстве свойств, которые могут быть приписаны элементарным телам  $A$ , слагающим сложное тело  $B_i$ ;

в) ему можно однозначно приписать форму  $t_i$ , размер  $v_i$ , положение центра масс  $m_i$ , ориентацию  $\vec{r}_i$ , вещественный состав  $b_i$ , структуру  $c_i$ , вещественную ассоциацию  $d_i$ , возраст  $T_i$ .

Таким образом, в соответствии с данным определением  $i$ -формация описывается следующими 14 параметрами:  $R, A,$

$B, P, Q, G_i^F, t_i, v_i, m_i, \vec{r}_i, b_i, c_i, d_i, T_i$ .

Определим теперь понятие формации (абстрактной) как множества  $i$ -формаций, описанных только десятью параметрами:  $R, A, B, P, Q, G_i^F, b_i, c_i, d_i, T_i$  (очевидно, что для

целей формационного анализа параметры  $t_i, v_i, m_i$  и  $\vec{r}_i$  несущественны).

Перейдем к сопоставлениям. Сначала сопоставим основные идеи фациального и формационного анализов:

Основная идея фациального анализа

Основная идея формационного анализа

Определение условий и обстановок образования сложных геологических тел на основании знания условий и обстановок образования элементарных тел, составляющих сложные тела

Определение свойств сложных геологических тел на основании знания свойств и взаимоотношений элементарных тел, составляющих эти сложные тела

Видно, что основные идеи обоих видов анализа близки между собой. И фациальный, и формационный анализ предназначен для определения свойств сложных геологических тел через свойства элементарных тел. Различие в том, что при фациальном анализе всегда имеются в виду одни и те же характеристики элементарных и сложных тел, а именно: характеристики условий и обстановок их образования. Иначе говоря, в фациальном анализе всегда содержательно фиксирована его цель — определить условия и обстановки образования сложных геологических тел косвенным образом. При фациальном анализе мы группируем элементарные тела так, чтобы удалось определить (с соблюдением дополнительных требований) условия

образования полученной группы. Но к а к о е при этом свойство группы тел удастся определить, заранее неизвестно.

Для формационного же анализа его цель с о д е р ж а т е л ь н о не фиксирована. Мы так группируем элементы, образующие формации, чтобы у групп (формаций) появилось новое, еще не проверенное свойство, отличающееся качественно или количественно от свойств, присущих элементарным телам. Новое свойство, однако, должно быть зафиксировано заранее, только тогда можно избежать множественности решения задач формационного анализа и вывести критерий правильности формационных построений. При этом можно использовать р а з л и ч н ы е характеристики сложных тел, в связи с чем приходится использовать и различные характеристики элементарных тел, причем характеристики элементарных тел по своему смыслу могут и не совпадать с теми характеристиками, которые мы собираемся определять на сложных телах.

Естественно, можно сформулировать задачу так, что фации окажутся равными формациям, т. е. окажется, что классы  $[B : V]$  соответствуют классам  $[B : F]$ . Это и получается в тех случаях, когда формационное свойство назначается, например, в «климатических» или «геотектонических» терминах. Всегда можно найти такую классификацию  $[B : V]$ , соотношение с которой позволит назвать подобные формации («флиш», «молассы», «соленосные») фациями, ибо их (формаций) групповые (эмергентные) свойства фактически сформулированы в терминах обстановок и условий образования. Если же для фациального анализа зафиксировать и н у ю классификацию  $[B : V]$ , то, действительно, как и отмечал Н. С. Шатский [89, стр. 56], в молассовой формации можно выделить несколько фаций. Но это вовсе не потому, что формация ошибочно принята за «фацию» вследствие «неверных» фациальных построений, а потому, что так были сформулированы исходные посылки исследования.

Следовательно, фациальный анализ характеризуется тем, что во всех случаях обладает постоянством перехода от свойств элементарных тел к интересующим нас свойствам сложных тел (фаций), т. е. постоянством алгоритма  $P(A \rightarrow B)$  и алгоритма нахождения областей пересечения  $L(G_A \rightarrow G_B)$ . Формационный же анализ не содержит в себе какого-либо постоянного элемента: и алгоритм  $P(A \rightarrow B)$ , и алгоритм  $Q(\Phi \rightarrow F)$  могут меняться в зависимости от выбора  $A$ ,  $F$  и  $\Phi$ .

Перейдем к сопоставлению общих схем фациального и формационного анализов (табл. 2). Между этими схемами имеется заметное сходство: оба вида анализов исходят из одних и тех же посылок (см. графу «задано»). Логика этих схем принципиально

|                      | Фациальный анализ                                                                                                                                                               | Формационный анализ                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Задано               | Геологическое пространство, относящееся к фиксированному классу геологических пространств $R$ , разбитое на множество элементарных тел $\{A\}$                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                      | Множество сложных геологических тел $\{B\}$                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Выбирается           | Система признаков $U$ , определенная на $\{A\}$ и классификация-перечисление $[A : U]$                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                      | Система признаков $V$ и классификация-перечисления $[A : V]$ и $[B : V]$                                                                                                        | Система признаков $F$ , определенная на множестве $\{B\}$ , в классификация $[B : F]$                                                                                                                                                                                          |
| Требуется определить | Соответствие между $[A : U]$ и $[A : V]$ , т. е. установить алгоритм $Q(U \rightarrow V)_A$                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                      | Алгоритм группирования $P(A \rightarrow B)$ элементарных тел в сложные                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                      | Принадлежность каждого выделенного сложного тела $B_i$ к классам классификации $[B : V]$ на основании алгоритма нахождения общих областей перечисления $L(Q_A \rightarrow Q_B)$ | Принадлежность каждого выделенного сложного тела $B_i$ к классам классификации $[B : F]$ на основании системы признаков $U$ для множества $\{A\}$ и алгоритма группирования $P(A \rightarrow B)$ путем построения системы признаков $\Phi$ и алгоритма $Q(\Phi \rightarrow F)$ |
| Алгоритмы для ЭВМ    | $Q(U \rightarrow V)_A$                                                                                                                                                          | $Q(\Phi \rightarrow F)$                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                      | $P(A \rightarrow B)$                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                      | $L(G_A \rightarrow G_B)$                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                |

применима к различным «уровням» исходных элементарных тел. В качестве последних могут рассматриваться любые геологические тела: от минералов до толщ и массивов. Обе схемы применимы к одним и тем же множествам элементарных тел, например, к одному и тому же множеству осадочных слоев. Заметим только, что в большинстве случаев понятия «фациальный» и «формационный анализ» используются, начиная с того «уровня», когда в качестве элементарных тел рассматриваются монопородные тела.

Важно отметить, что при замене системы признаков  $\Phi$  и  $F$  системой  $V$  схема формационного анализа переходит в схему фациального. Однако получить схему формационного анализа из схемы фациального какими-либо заменами нельзя вследствие того, что в схеме фациального анализа используются только 2 системы признаков ( $U$  и  $V$ ), определенные на множествах  $\{A\}$  и  $\{B\}$ . В формационном же анализе используются 3 системы признаков:  $U$ ,  $\Phi$  и  $F$ ,  $U$  определена на множестве элементарных тел  $\{A\}$  а  $\Phi$  и  $F$  — на  $\{B\}$ .

С другой стороны, обе схемы обладают и различиями как в том, что выбирается, так и в том, что требуется определить. Различными оказываются и используемые алгоритмы. Алгоритм распознавания  $Q(U \rightarrow V)_A$  в фациальном анализе строится на множестве элементарных тел, а в формационном анализе такой же алгоритм  $Q(\Phi \rightarrow F)$  строится на множестве сложных тел. В силу этого в фациальном анализе появляется еще один алгоритм  $L(G_A \rightarrow G_B)$ , аналога которому нет в формационном анализе.

Различаются и алгоритмы группирования. В фациальном анализе группирование опирается на особенности перечисления областей в пространстве условий и обстановок образования, а в формационном анализе — на сходство группируемых тел в признаковом пространстве.

Однозначность результатов применения схемы фациального анализа вытекает из заранее сформулированных требований, не связанных с определением затрат и усилий на достижение цели исследования, а однозначность формационного анализа основывается на требовании минимизировать эти затраты. Кроме того, правильность действий при формационном анализе в принципе всегда может быть проверена непосредственными экспериментальными измерениями. Отнести любое выделенное сложное тело  $B_i$  к классам  $\{B : F\}$  можно и непосредственно, если не считаться с затратами<sup>1</sup>. Правильность же фациального анализа для ископаемых тел такой проверке не поддается. Отнести любое выде-

<sup>1</sup> Например, составлять пробы, характеризующие весь объем формации.

| <i>i</i> - фация                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <i>i</i> - формация                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сложное геологическое тело                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>полученное группированием элементарных тел исходного множества <math>\{A\}</math> по алгоритму <math>PV (A \rightarrow B)</math>;</p> <p>которому можно приписать единую область в пространстве условий и обстановок образования <math>(G_i^V)</math> за счет использования алгоритма распознавания <math>Q (U \rightarrow V)</math> и алгоритма нахождения областей пересечения <math>L (GA - GB)</math>;</p> | <p>полученное группированием элементарных тел исходного множества <math>\{A\}</math> по алгоритму <math>PF (A \rightarrow B)</math>;</p> <p>которому можно приписать класс сложных тел <math>B_i^F(i)</math> (область в пространстве свойств тел) на основании алгоритма распознавания <math>Q (\Phi \rightarrow F)</math>;</p> |
| <p>которому можно однозначно приписать <math>t_i, v_i, m_i, \tilde{r}_i, b_i, c_i, d_i, T_i</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

ленное сложное тело  $B_i$  к классам  $[B : V]$  можно, как правило, только с помощью схемы фациального анализа.

Отмеченные особенности фациального и формационного анализов можно усмотреть из сопоставления выведенных выше определений *i* - фации и *i* - формации (табл. 3).

Опираясь на эти понятия, попытаемся выяснить, как могут соотноситься два конкретных геологических тела, одно из которых является *i* - фацией, другое *i* - формацией. Ясно, что сопоставлять их можно лишь в том случае, когда они образованы элементарными телами одного и того же множества  $\{A\}$ , которым представлено одно и то же геологическое пространство  $R$ .

Ответить на вопрос о характере соотношений можно лишь после конкретизации обоих понятий, а именно: после фиксации  $V, P^V, F, P^F$ . В общем плане можно сказать, что два таких конкретных тела могут находиться в любых соотношениях: совпадать друг с другом, вкладываться одно в другое, пересекаться. Наиболее интересен случай совпадения этих тел, наименее интересен, когда они пересекаются или когда *i* - фация вкладывается в *i* - формацию, и нельзя приписать последней единую односвязную область в пространстве условий и обстановок образования.

Итак, сопоставление основных идей фациального и формационного анализов, их общей схемы и определений понятий «фация» и «формация» показывает, что эти анализы с содержательных позиций оказываются во многом различными, хотя опира-

ются на одну и ту же идею: определять свойства целого по свойствам его частей. С формальных же позиций между этими приемами геологических исследований имеется много общего; в частности, тот и другой анализ базируется на алгоритмах группирования и распознавания.

### Замечание об обращенных видах фациального и формационного анализа

Как уже отмечено, с общей точки зрения и фациальный, и формационный анализ позволяет определять свойства геологических тел более «высокого уровня» через свойства геологических тел «низкого уровня» (сложный диагноз). В принципе возможно поставить обратную задачу: определить свойства тел «низкого уровня» на основании свойства тел «высокого уровня». При рассмотрении таких задач условимся говорить об *обращенном* фациальном и формационном анализе.

В качестве примера обращенной фациальной задачи в узком смысле можно привести задачу определения условий и обстановок образования некоторого элементарного тела (или нескольких таких тел), входящих в состав фиксированного сложного тела, когда это элементарное тело занимает внутри сложного определенное положение, а условия и обстановки образования других (или части других) тел известны.

Конкретным примером может служить, скажем, вопрос определения условий и обстановки образования фосфоритовых тел, залегающих в некоторой осадочной толще. Толща представляет собой сложное геологическое тело, сложенное разнообразными вулканическими и осадочными породами. Ясно, что определение интересующих нас условий образования этих фосфоритовых тел возможно только косвенным образом, на основе данных по вмещающей толще. Геологи часто сталкиваются с подобными вопросами, стремясь добиться их однозначного решения.

Нередко приемы обоих видов анализа — прямого и обратного — перемежаются или следуют друг за другом: вначале по элементарным телам (исключая интересующее нас образование) определяются условия и обстановки образования сложного тела, затем проводится обратный анализ. Однако вследствие отсутствия четких теоретических схем такие операции проводятся весьма несистемно. Нередко именно несистемность действий исследователя ведет к появлению множественности решений фациальных задач или к попыткам однозначно решить задачи, заведомо не имеющие одного решения.

В формационном анализе обратная задача подразумевает определение свойств элементарных тел по свойствам сложного тела. Такая операция, например, требуется при решении поисковых задач. Бывает, что по внешнему виду некоторой толщи можно определить, что в ней содержится какое-то элементарное тело; однако неизвестно, обладает ли оно интересующим нас свойством, причем это зависит от того, какими свойствами обладает данное сложное тело. Скажем, зная какое-то общее свойство некоторой толщи, сложенной известняками и доломитами, требуется выяснить, обладают ли отдельные слои известняка и доломита свойством повышенной фосфатности? Иногда на этот вопрос можно довольно уверенно ответить, опираясь на общие свойства толщи.

Решение задач обращенного фациального или формационного анализа должно опираться на данные предшествующего прямого анализа, включать в себя использование алгоритмов диагноза и т. д., так как возможности изучить свойства геологических тел ограничены их размерами и сложностью устройства. Непосредственно измерять свойства сложных тел, называемых фациями, и определять условия образования тел, называемых фациями, мы можем в очень редких случаях. Как правило, свойства сложных и крупных геологических тел определяются косвенным образом. Если свойства некоторых сложных геологических тел известны, есть много оснований утверждать, что они были получены ранее именно путем прямого анализа. Поэтому теоретическое исследование обращенных процедур фациального и формационного анализов может быть успешно проведено только после достаточно подробного исследования прямых процедур.

## **ПАРАГЕНЕЗИС**

### **ОБЩИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОНЯТИЯ О ПАРАГЕНЕЗИСЕ**

#### **О значении для теоретической геологии понятия «парагенезис» и необходимости его развития**

На понятие «парагенезис» в геологии опирается множество исследовательских приемов установления связей между классами объектов исследования, а также выделения групп «связанных»

объектов, называемых «парагенетическими ассоциациями». Кроме того, на понятие о парагенезисе опирается ряд определенных других геологических понятий, например понятия «формации» [84, 89]. Кроме того, значение понятия о парагенезисе определяется тем, что при изучении крупных и сложных геологических объектов знание характера зависимостей между их элементами позволяет высказывать предположения о причинах возникновения этих зависимостей, а также получать суждения о генезисе этих объектов.

Существующие представления о парагенезисе в общем виде раскрывают идейное существо этого понятия. В частности, опираясь на эти представления, можно выяснить, что различные исследования с применением понятия о парагенезисе проводились и проводятся в двух направлениях: а) поиск и установление связей между выделенными классами объектов; б) использования установленных связей в практических целях (для определения количества или расположения объектов одного класса через известное количество или расположение объектов другого класса, для выделения групп объектов и проч.).

Однако для конкретного научного применения представления о парагенезисе оказываются слишком расплывчатыми. Последнее обусловлено в первую очередь тем, что чаще всего обнаружение парагенетических связей опирается на гипотетические представления о механизме образования «связанных объектов», о причине-посреднике таких связей. Кроме того, из-за отсутствия общепринятого четкого определения понятия «парагенезис» исследователи пользуются различными его определениями и притом так, что изучаемые связи получают различную трактовку. В итоге как сам факт установления парагенезиса, так и его практическое использование в значительной мере обусловлены субъективными моментами. Поэтому очень часто высказывания о том, что данные образования «находятся в парагенетическом соотношении», оказываются лишенными однозначного смысла, а иногда лишенными смысла вообще.

Из сказанного вытекает, что дальнейшая разработка понятия «парагенезис» является одной из важнейших и актуальнейших задач теоретической геологии.

### **Краткие данные о развитии представлений о парагенезисе**

С общих позиций понятие о парагенезисе опирается на известное положение ассоциативной психологии, согласно которому два любых объекта, совпадающие по месту, времени или следую-

шие друг за другом в некоторой частной цепи наблюдений, считаются «связанными». Это дает основание при появлении одного объекта ожидать появления другого. Подобные соображения в геологии применяются с древнейших времен. Например, искатели золота руководствовались малопонятными для них, но часто наблюдаемыми фактами сонахождения его с кварцем.

Обнаруженные частными наблюдениями случаи сонахождения объектов иногда свидетельствовали об «устойчивых связях», т. е. таких, когда замеченное сонахождение в дальнейшем на новых участках подтверждалось всегда или почти всегда, или же о «неустойчивых связях», когда отмеченное сонахождение в последующем подтверждалось лишь в единичных случаях. Возникла необходимость различать два вида сонахождения — устойчивое и неустойчивое.

Из-за отсутствия каких-либо количественных критериев такое различие стали основывать на генетических соображениях. Те случаи сонахождения, которые могли быть объяснены имеющимися гипотезами и представлениями о механизме образования сонаходящихся объектов, объявлялись устойчивыми и получали название парагенетических. Когда такого объяснения дать не удавалось, говорили о случайном, не парагенетическом сонахождении.

В геологической литературе понятие «парагенезис» зафиксировано более полутора столетия назад (в 1798 г.) В. М. Севергиным как понятие о «смежности минералов», что означало «совокупное пребывание двух или многих минералов в каком-либо месте» [84]. Впоследствии, в 1849 г., автор термина «парагенезис» Ф. А. Брейтгаупт, обобщая данные о минеральных ассоциациях, под парагенезисом минералов понимал «более или менее резко выраженную способность их (минералов) к совместному нахождению» — ассоциации [6].

Эти первые наброски понятия «парагенезис» имели довольно неопределенное содержание и объем, вследствие чего часто пересматривались, уточнялись, дополнялись. История этих уточнений и дополнений изложена, например, в [61]. Для дальнейшего достаточно привести несколько основных трактовок понятия «парагенезис».

А. Е. Ферман — «... парагенезисом будем называть комплекс условий, определяющих совместное нахождение ряда минералов, а самые минералы этого комплекса будем объединять под именем естественной минеральной ассоциации» [78].

В. И. Вернадский парагенезисом назвал «все минеральные ассоциации, известные для какого-нибудь минерала или химического элемента» [17].

А. Г. Бетехтин — «совместно образовавшиеся группы минералов в данном минеральном теле», «...минералы, которые по тем или иным критериям возрастных соотношений возникли на определенной стадии минералообразования...» [7].

Д. С. Коржинский — совокупность одновременно образованных минералов, «продуктов одной и той же стадии одного процесса», «равновесная совокупность совместно и одновременно возникших элементов некоторой физико-химической системы» [42].

В рудной геологии парагенезисом месторождения называют «последовательность образования минералов во времени», «хронологический порядок выделения минералов» в результате изучения их взаимоотношений (например, [60]). Другие определения общего порядка, главным образом генетические, включающие мотивы приведенных выше частных определений, можно найти в общеизвестных справочниках. Например:

«Парагенезис — совместное нахождение минералов, объясняющееся генетической связью между ними. Последняя может обуславливаться одновременным или последовательным образованием их в результате одного процесса, последовательным образованием их одного из другого путем замещения и т. д.» (Геологический словарь, 1960).

«Парагенезис минералов — совместное нахождение в земной коре минералов, связанных общими условиями образования... Некоторые применяют понятие «парагенезис» в более узком смысле: только по отношению к минералам, совместно выделившимся на какой-либо одной стадии сложного процесса минералообразования» (БСЭ, 2 изд., т. 32).

«Парагенезис — а) образование минералов, находящихся во взаимозависимости и непосредственно сонаходящихся; б) порядок, в котором возникали минералы горных пород и жил, группируясь в характерные ассоциации» (Webster's New International Dictionary, sec. ed., 1959).

Как можно убедиться, в приведенных определениях очень нечетко выражена мысль о том, что же такое парагенезис — группа объектов, связанных некоторой особой связью, или сама эта связь. Упор обычно делается на разъяснение того, почему возникают парагенетические группы, а не что они собой представляют.

В 1966 г. на международном коллоквиуме во Фрайберге (ГДР), специально посвященном вопросам уточнения понятия о парагенезисе [59, 95], было выработано компромиссное определение: «Парагенезис минералов — это минеральная ассоциация, возникающая закономерно в ходе одного процесса, ограниченного в пространстве и времени и протекавшего в определенных физико-

химических условиях». Коллоквиум предложил различать понятия о «минеральной ассоциации» как совокупности, для которой нет достаточных оснований утверждать, что ее элементы объединены некоторой закономерностью, и о «парагенезисе минералов» как совокупности, единой по процессу и времени образования, т. е. ассоциации, причинно обоснованной. Новые определения понятия «парагенезис» можно найти в статьях В. А. Жарикова и Н. В. Петровской, написанных после упомянутого коллоквиума: «Парагенезис минералов — это совокупность совместно существующих и находящихся в равновесии минералов» [37]. «Парагенетическая минеральная ассоциация — это закономерное общество минералов, образованных совместно, равновесная минеральная система в пределах термодинамических условий, допускающих возникновение такой системы, и в ограниченном отрезке времени соответствующая одной ступени минерального равновесия» [61].

Завершая краткий обзор понятий о парагенезисе, заметим, что первоначально это понятие формулировалось и использовалось в таких областях геологии, как минералогия, петрография, геохимия. Лишь затем оно без существенных изменений перешло в область изучения ассоциаций горных пород — в учение о формациях как основание для группирования породных тел эмпирическим образом [84, 90] и тем самым для перехода к изучению более «высокого» (надпородного) уровня геологических образований. Однако использование данного понятия для подобных целей сопряжено с рядом специфических трудностей, которые будут отмечены позже.

### **Особенности существующих толкований понятия «парагенезис»**

Вначале остановимся на определениях, данных Фрайбергским Брейтгаупт-коллоквиумом [95], являющихся продуктом долгого и представительного обсуждения. При знакомстве с данными формулировками возникает неясность, следует ли считать минеральной ассоциацией сообщество минералов, порожденное закономерным сочетанием *нескольких* процессов? Ведь сопотекание нескольких «генетически различных действий» в природе происходит всегда закономерно и всегда обусловлено физико-химическими законами. В итоге, опираясь на определения Брейтгаупт-коллоквиума [95, стр. 10], следует признать, что отличие минеральных ассоциаций (случайных сообществ)

от парагенетических ассоциаций (закономерных сообществ) полностью зависит от того, насколько четко исследователь сумел оговорить процесс: смог ли он дать такую формулировку, которую другие исследователи не смогут считать обобщенным обозначением нескольких процессов, а вынуждены также считать обозначением е д и н о г о процесса. Получается, что истолкование рассматриваемых понятий полностью зависит от формулировок генетических процессов или минералообразующей среды. На этом пути не представляется возможным достичь согласованности.

В этом отношении полезно отметить замечание Л. Василева [96], указавшего, что в трех показателях, на которые опирается понятие о парагенезисе (пространство, время, физико-химические условия), единственным реальным критерием является пространственный, а остальные необходимо дополнительно уточнять.

Аналогичные соображения возникают и при рассмотрении подобных формулировок, приведенных позднее, например, формулировки Н. В. Петровской [61], обобщающей различные современные трактовки понятия о парагенезисе. По способу построения эта формулировка относится к тем, что получаются посредством логического вывода [65]. Ее основной особенностью является то, что она опирается на ряд понятий, которые сами не имеют четко определенного содержания и объема: «пространственная близость», «совместно образовавшиеся», «закономерно», «одновременно», «ограниченный отрезок времени», «одна ступень минерального равновесия» и т. д. Именно это свойство лишает рассматриваемую формулировку, как и прочие определения парагенезиса<sup>1</sup>, преимуществ перед другими. Основной недостаток таких формулировок в том, что все они неоперационны, т. е. не сопровождаются формальным описанием процедур, которые приводят к определению парагенезиса, и, следовательно, не могут однозначно и воспроизводимо применяться.

Этими формулировками дается лишь общее представление о том, что интуитивно понимается или требуется понимать под парагенезисом, но они не позволяют получить необходимые и достаточные критерии установления парагенезиса двух и более объектов. А это, в свою очередь, не позволяет

---

<sup>1</sup> В том числе и определение В. А. Жарикова [37], которое опирается на критерий равновесия и считается его автором «необходимым и достаточным», «однозначно» характеризующим парагенезис.

получить четкие правила использования уже установленных парагенетических связей в практических целях.

Неоперационные формулировки совершенно непригодны для научной работы в современном ее понимании. Это важное обстоятельство было впервые отмечено А. Б. Вистелиусом [18], который на частном примере связи между содержаниями, концентрациями членов парагенезиса показал, что «связь между членами ассоциации может трактоваться совершенно неправильно, полностью расходясь с тем, что существует в действительности. В некоторых случаях связь пропускается, несмотря на поиски ее, иногда же она переоценивается без достаточно строгих доказательств».

Делались неоднократные попытки избавиться от неопределенности понятий, используемых для формулировки понятия о парагенезисе. Однако можно убедиться, что все эти попытки направлены по заведомо неподходящему пути генетических разъяснений. Этот путь при всей своей привлекательности не дает операциональных определений и допускает в итоге произвол в действиях. Для того чтобы он привел к желаемым результатам, требуется, чтобы все исследователи могли однозначно различать «генетически различные акты», однозначно выдвигать соображения, согласно которым процессы «строго ограничиваются определенным отрезком времени, пространством и физико-химическими условиями» и т. п. Добиться же такой однозначности на основе традиционно используемых предпосылок невозможно.

### **Исходные методологические предпосылки для дальнейшей разработки понятия «парагенезис»**

Итак, многочисленные попытки уточнить понятие «парагенезис» пока не привели к каким-либо существенным результатам. Это обстоятельство, помимо прочего, объясняется ошибочными исходными методологическими предпосылками, которые использовались и используются при уточнении понятия «парагенезис». С целью выяснения недостатков этих предпосылок и выбора более удачной методологической базы вернемся к истории развития понятия о парагенезисе вначале в минералогии и петрографии, а затем в геологии.

Первые определения парагенезиса (Севергин, Брейтгаупт) по сути дела выражали только и д е ю, основанную на аналогии, — по присутствию одних объектов предсказывать присутствие других. В дальнейшем потребовалось уточнить границы области, в которой такая аналогия была бы правомерна. Это

отчасти сделано в определении В. И. Вернадского, предложившего учитывать минеральные тела, в которых данный минерал (элемент) встречается. Таким образом, место, где должно было определяться сонахождение, приобретало не «какое-либо», как у Севергина, а уже более определенное толкование. Затем возникла необходимость уточнить исходное понятие «совместно образовавшиеся» (или «совместно находящиеся»), т. к. исследователи, используя понятие «парагенезис» для организации групп, столкнулись с возможностью объединять элементарные части данного минерального тела (штуфа, жилы, рудной залежи и т. д.) в различные группы, причем в зависимости от выбранной процедуры такого объединения одни и те же элементы могли оказываться в разных группах. Чтобы избежать этого, было предложено «в каждую выделяемую парагенетическую группу... включать только те минералы, которые по тем или иным критериям возрастных соотношений возникли на определенной стадии минералообразования...» [6]. Здесь исходное понятие «совместно образовавшиеся» заменено понятием «возникшие на определенной стадии». Это, естественно, потребовало задания процедуры диагностики таких стадий, потребовались процедуры различения процессов и разделения этих процессов на стадии. При этом из рассуждений выпало то обстоятельство, что как раз само понятие о парагенезисе должно было бы помогать определению этих стадий.

Для того чтобы экспериментально различать минералообразующие процессы и их стадии, было предложено использовать критерий физико-химического равновесия. В парагенетическую ассоциацию по этой рекомендации следует объединять только такие элементы заданной области, которые в заданных условиях находятся в равновесных соотношениях, т. е. существуют или появляются одновременно, в определенных пропорциональных количествах. При этом требуется опираться на исходное понятие об одновременности — одно из самых неясных и трудных для уточнения. Так как объектами минералогии и петрографии являются преимущественно статические для нас минеральные системы, одновременность выделения минералов и тот факт, что они находятся в равновесии, регистрируются только по их структурным взаимоотношениям. Поэтому при детализации наблюдений понятие одновременности обычно расплывается. В итоге оно заменяется представлениями о пространственных соотношениях, параллелизуемых с некоторым интервалом времени, границы которого могут устанавливаться по-разному, или с понятием о системе, которой приписывается одновременность возникновения ее элементов. Такие взаимоотношения, например,

для минералов определяются тем, что одновременно возникшие минералы не должны замещать друг друга.

Трудности истолкования таких понятий, как «совместно образовавшиеся», «возникшие на определенной стадии», «находящиеся в физико-химическом равновесии», «одновременно образовавшиеся» и т. п., привели к тому, что большинство минералогов и петрографов отказались от общих трактовок и пошли по пути анализа конкретных минеральных ассоциаций, выделяемых частными определениями, исходящими из субъективных соображений о процессах их формирования. В подобных случаях возникает замкнутый круг в рассуждениях. Это показано в том разделе работы [42], где говорится о трудностях обратных задач парагенетического анализа, когда парагенезис определяется по тому, что минералы находились в равновесии, а то, что они находились в равновесии, должно следовать из факта установления парагенезиса.

Несколько иная позиция в вопросе определения парагенезиса возникла в учении о геологических формациях. Здесь одни считали, что объединение элементарных тел в ассоциации должно основываться на соображениях о существовании неких генетически единых систем [47, 62], т. е. продолжали традиции минералогического подхода, когда связи между элементами устанавливаются в пределах некоторого, заранее заданного тела (по данной концепции заданного генетически). Другие считали, что заранее задаваться соображениями о тех границах, в которых должны отыскиваться парагенетические связи, нельзя. Наоборот, сами эти границы должны быть установлены с помощью методики определения парагенетических связей, ибо парагенетические ассоциации «существуют в природе вне нашего сознания» и должны быть выявлены независимо от наших представлений о генезисе заключающих их систем. Сторонники такого подхода предлагали эмпирически находить ассоциации парагенетически связанных геологических тел, т. е. определять границы сложных геологических тел, элементы которых связаны некоторой (?) закономерностью. При этом, однако, исходное множество элементарных тел фактически не задавалось, задавались только их классы. Не задавался и характер закономерности, которую надо было обнаружить.

Возникла парадоксальная ситуация: требовалось наблюдать связи между элементами, в то время как ни перечень видов элементов, ни количество самих элементов, ни вид связей не фиксировались. В такой ситуации исследователь, понимая, что ему нужно, но не зная, что это такое, конечно же, вынужден был опираться только на свои субъективные представления.

Отметим, что подобный подход, пропагандируемый в работах Н. П. Хераскова [84] и Н. С. Шатского [89, 90], базировался именно на первоначальных, т. е. самых расплывчатых определениях парагенезиса Севергина и Брейтгаупта, хотя к моменту возникновения этого направления в геологии уже накопился материал по уточнению понятия «парагенезис» и, главное, уже была осознана необходимость его уточнения.

Толкование парагенезиса с генетических позиций сталкивается с множественностью представлений о «закономерных генетических связях». Толкование с позиций сонахождения дополнительно к этому сталкивается с возможностью произвольно толковать исходное множество элементов. «Генетическое» направление страдает от невозможности объективно определять границы генетических систем. «Парагенетическое» направление вообще ничего не задает, кроме туманных указаний о том, что связи должны быть «закономерны», «часто наблюдаться» и т. д. В целом можно сказать, что сейчас под парагенезисом в учении о формациях подразумевается или сонахождение объектов, находящийся в некоторой (в разных конкретных случаях фиксируемой по-разному) связи, или сонахождение объектов, объясняемое некоторой общей причиной (объектов, имеющих связь друг с другом через ненаблюдаемого генетического посредника).

С учетом общего опыта по уточнению понятий и выработке их [65] из предыдущего вытекает, что при введении и уточнении понятия о парагенезисе допускались следующие методологические ошибки. Во-первых, предварительно не фиксировалось целевое назначение понятия о парагенезисе. Обычно приводились очень общие высказывания, согласно которым это понятие помогало определять условия происхождения или взаиморасположение объектов.

Во-вторых, для формулировок понятия использовался способ формально-логического вывода без учета необходимых требований, которые предъявляет формальная логика к процедуре определения понятий [41]. В частности, не уделялось внимания разделению используемых понятий на исходные и вводимые. Используемые вспомогательные понятия не имели сколько-нибудь четкого содержания и объема. Неопределенность вспомогательных понятий ощущалась всеми. Но при уточнении формулировок все сводилось к тому, что одни неясные понятия заменялись другими, «более ясными» с субъективной точки зрения исследователя, дающего определения. Необходимые уточнения пытались строить на базе частных примеров, которые в вопросах уточнения понятий, как известно [91], могут нести только иллюстративную нагрузку.

В-третьих, заранее не оговаривались необходимые требования, которые следует предъявить к понятию «парагенезис»: правильно ли введено это понятие, позволяет ли оно достичь намеченных целей, действительно ли цель достигнута, обеспечивает ли это понятие рациональное достижение целей?

Ясно, что успех в деле уточнения понятия о парагенезисе возможен только в том случае, если удастся избавиться от этих методологических ошибок. Поэтому в качестве исходных методологических предпосылок для дальнейшего с учетом общего опыта выработке научных понятий выберем следующее:

1) всякой попытке уточнения понятия должны предшествовать уточнение и формулировка цели, во имя которой это понятие вводится;

2) прежде чем уточнить понятие, необходимо принять способ его введения (экспликация, логический вывод и т. д.);

3) уточненная формулировка понятия должна удовлетворять всем общим формальным требованиям относительно соотношений между содержанием и объемом понятия [41];

4) уточненная формулировка понятия должна позволять построить алгоритмическую схему рационального достижения тех целей, ради которых понятие вводится, с учетом существующих теоретических и экспериментальных возможностей;

5) для проверки требования пункта 4) необходимо указать или построить хотя бы простейшую схему.

### **Общая схема процедуры уточнения понятия о парагенезисе**

В соответствии со сказанным выше, в частности с учетом выбранных методологических предпосылок, для уточнения понятия «парагенезис» будем придерживаться следующей схемы:

1. Обсудим с общих позиций цели, для достижения которых вводится понятие «парагенезис».

2. Обсудим возможные способы его введения.

3. Введем вспомогательные формальные понятия для определения понятия о парагенезисе.

4. Дадим общую трактовку понятия о парагенезисе.

5. Обсудим полученную формулировку понятия «парагенезис» с точки зрения требований пунктов 3) и 4), обратив особое внимание на задачи выделения парагенетических ассоциаций.

### **Обсуждение цели введения понятия о парагенезисе**

В работах традиционного плана цель введения понятия о парагенезисе специально не исследовалась, считалось, что она очевидна, и ее формулирование сводилось к довольно общим

высказываниям. Согласно последним, это понятие помогает определять взаимозависимость объектов и условия их происхождения (например, [93]). Анализ различных исследовательских работ, касающихся парагенезиса, показывает, что оно вводилось главным образом в следующих целях.

В системах, исследуемых впервые, требуется: 1) установить присутствие одного компонента системы по присутствию другого; 2) установить количество одного компонента системы через известное количество другого компонента; 3) определить расположение одного компонента системы по положению другого компонента; 4) определить специфические черты одного компонента по чертам другого компонента с учетом особенностей и характера связи между ними; 5) выделить целостный объект (определить границы и свойства системы), в котором все компоненты или часть их связаны некоторой (парагенетической) закономерностью; 6) установить условия образования одних компонентов объекта по известным условиям образования других; 7) определить закономерности поведения системы.

Очевидно, что достижение целей 4), 5), 6) и 7) предполагает предварительное решение задач, связанных с достижением целей 1), 2) и 3), т. е. с выяснением соотношения количеств компонентов системы и их взаиморасположения. Поэтому цели 1), 2) и 3) следует считать первоочередными и основными. Цели же 4), 5), 6) и 7) во всех случаях являются производными от первых.

Мы не будем обсуждать возможности достижения перечисленных целей. Однако в связи с особым вниманием, которое уделяется в геологии цели 5) — выделению целостных объектов, отметим следующее: проблема выделения целостных объектов на основе понятия о парагенезисе в минералогии и петрографии вообще не возникала, ибо почти любые свойства минерала и горной породы можно определять непосредственно — на образце — и тем самым решать вопрос о целостности объекта тоже непосредственно, если, конечно, имеется фиксированная классификация-перечисление минералов, пород. Позже в геологии возникла идея оперировать с «крупными» целостными объектами, получившими название формаций. Такие «крупные» объекты затруднительно или вообще невозможно охватить непосредственно или представить образцом, пробой. Подобные объекты выделяются не непосредственно, а конструктивным способом — путем группирования их элементов. Проверять правильность подобной операции непосредственно чрезвычайно трудно и дорого, почему эта проверка и опирается главным образом на логичность процедуры. Проблема выделения таких объектов

с помощью понятия «парагенетическая связь» представляется чрезвычайно важной. Здесь необходимо только отметить, что само по себе представление о парагенетических связях в п р и н ц и п е не позволяет решить эту проблему непосредственно. Точнее говоря, опираясь на представление о парагенетических связях, но не фиксируя однозначно характеристики этих связей, выделять целостные объекты можно множеством способов на одном и том же исходном материале.

Поэтому представляется разумным вначале сформулировать понятие о парагенезисе исходя только из первых трех наиболее простых и фундаментальных целей.

### **Принятие способа введения понятия о парагенезисе**

Из предыдущего изложения должно быть ясно, что успех работы по уточнению понятия «парагенезис» во многом зависит от способа введения этого понятия. Оно обладает большой общностью, как и вообще понятие «связь». Именно в силу этой общности введение данного понятия эксплицитным способом, т. е. пояснением на примерах, не позволяет достичь нужной ясности. Попытки же ввести понятие о парагенезисе способом логического вывода встречаются со множеством трудностей, обусловленных тем, что при этом приходится формально уточнять много вспомогательных понятий.

Поэтому, учитывая, что на рассматриваемое понятие опирается довольно много теоретических конструкций, остается одно: использовать операциональный способ его введения, отвлекаясь от содержания тех объектов, между которыми требуется искать парагенетическую связь.

### **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ**

#### **Общие замечания**

Как следует из предыдущего, многочисленные представления о парагенезисе опираются, в свою очередь, на представления о взаимосвязи между объектами. По этой причине вначале необходимо коротко рассмотреть вопросы о связи между свойствами

объектов, а затем на базе проведенного рассмотрения ввести вспомогательные понятия, необходимые для описания взаимосвязей между объектами. Этим мы и займемся в данном разделе. Отметим, что наиболее подробно вопросы связи между свойствами рассматриваются в математической статистике [12, 75].

В геологии результаты, полученные с помощью аппарата математической статистики, как нам представляется, почти всегда излишне канонизируются [33, 43, 53, 88]. На наш взгляд, следует учитывать, что «теория статистической корреляции восходит к тому времени, когда формализация теории была еще невозможна и понятие стохастической независимости по необходимости носило мистический характер» [77]. Кроме того, известно, что эта теория развивалась с использованием предположений [1], проверка которых в геологии и геофизике крайне затруднительна, а основные критерии, позволяющие получить некоторые сведения о «форме» и «силе» связи между свойствами, изобретались с учетом ограничений ручного счета [93].

Для дальнейшего достаточно рассмотреть вопрос о связи только между двумя свойствами. Будем придерживаться примерно такой же схемы изложения, которая использовалась в [1 и 82].

Подчеркнем, что в первую очередь будем интересоваться такими вопросами о связи между двумя свойствами, которые могут быть решены только на основе экспериментальных данных, которыми мы располагаем в типичных геологических ситуациях.

### Классификация-перечисление свойств и пар свойств

Здесь рассмотрим применительно к нуждам понятия о парагенезисе вопросы классифицирования свойств и пар свойств. При этом будем опираться на общие результаты теории измерений, изложенные в [74], а также на специальные разработки [28, 43]. Обозначим:

$A$  — множество интересующих нас объектов;

$a$  — объекты, входящие в  $A$ :  $a \in A$ ;

$\varphi_i$  — свойства, которые приписываются объектам  $a \in A$ ;

$\varphi_i(a)$  — значение свойства  $\varphi_i$ , которое оно принимает на  $a \in A$ ;

$\Phi_i$  — множество значений свойства  $\varphi_i$ , которое оно принимает на множестве объектов  $A$ .

Ради краткости условимся в дальнейшем  $\varphi_i$  называть *переменной*, определенной на  $A$ , обозначая ее через  $X_i$ . Значения, которые принимает эта переменная, условимся фиксировать так:  $x_1^i, x_2^i, \dots, x_{n(i)}^i$ . Например, в качестве множества  $A$  можно рассматривать гранитные массивы, в качестве  $a$  — конкретный гранитный массив, в качестве  $\varphi_i$  — среднюю плотность пород гранитного массива.

Как и в [28], будем делить свойства на *формальные* (объективно измеряемые непосредственно или косвенно) и *неформальные* (измеряемые субъективно). Примеры формальных свойств — плотность, пористость, удельное сопротивление, магнитная восприимчивость; примеры неформальных свойств — зернистость, окатанность, цвет, тектоническое положение, глубина отложения и т. п.

Разделить свойства на формальные и неформальные необходимо по следующим соображениям. Как известно, в основе любой объективной теории связи между свойствами должна лежать следующая аксиома.

**Аксиома 1.** Имеет смысл говорить о связи между свойствами тогда и только тогда, когда эти свойства формальны.

Эта аксиома в связи с понятными обстоятельствами в руководствах по математической статистике не приводится явно, она фигурирует там неявно. Для наших целей имеет смысл выписать ее в явном виде. Решение вопроса о том, является данное свойство формальным или нет, при конкретных геологических исследованиях, как правило, требует значительных усилий или специальных оговорок. К сожалению, до сих пор по традиции этот вопрос, как правило, опускается. Это приводит к противоречию с аксиомой 1, к ложным проблемам и неоправданным затратам (Например — задача о корреляционной связи между химическими элементами внутри пород, проблема «ложной корреляции» в геохимии. Эта проблема многократно обсуждалась [2, 18, 32, 69, 70]). Необходимо дополнительно отметить следующее. Исходя из тех общих трактовок понятия породы, которые анализировались в [21], следует считать, что химический состав породы в абсолютных единицах не имеет смысла. Если же считать, что он имеет смысл, легко увидеть, что химический состав породы в абсолютных единицах является неформальным свойством. Его нельзя измерить непосредственно [32], нельзя измерить и косвенно: если пытаться определить  $x_j$  из условий

$$\beta_j = \frac{x_j}{\sum x_j}, j = 1, 2, \dots, n,$$

получим систему из однородных линейных уравнений с нулевыми правыми частями. Такая система либо имеет нулевое решение, либо имеет множество решений [4]).

Будем делить свойства на *одноместные*, которые определены на множестве  $A$ , и *многоместные*, определенные на множестве вида  $A \times A \times \dots \times A$ . Если  $A$  — множество гранитных массивов, то средний химический состав этих массивов — одноместное свойство и абсолютный возраст каждого массива — тоже одноместное свойство. Относительный же возраст этих гранитных массивов — свойство многоместное.

Такое разделение свойств необходимо, так как во всех руководствах по математической статистике неявно принимается и такая аксиома:

**А к с и о м а 2.** Исследовать связи между свойствами можно тогда и только тогда, когда свойства определены на одном и том же множестве объектов.

В геологии часто путают одноместные и многоместные свойства и нередко ищут связи между свойствами разной «местности». Пример этого — исследования связи между абсолютным возрастом (одноместное свойство) и относительным (многоместное свойство).

Учитывая, что в последующем нас будут интересовать только формальные и одноместные свойства, разделим их дополнительно на логические и арифметические. Будем говорить, что переменная  $X$  является [74] *арифметической* переменной, если на множестве  $x_1, x_2, \dots, x_n$  определены арифметические операции, т. е. имеют смысл выражения:  $x_k \pm x_e$ ,  $x_k x_e$  и  $x_k/x_e$ ; *логической* переменной *первого рода*, если на множестве  $x_1, x_2, \dots, x_n$  определены только бинарные отношения неотличимости и порядка, т. е. имеют смысл только выражения:  $x_k = x_e$ ,  $x_k \neq x_e$ ,  $x_k < x_e$  и  $x_k > x_e$ ; *логической* переменной *второго рода*, если на множестве  $x_1, x_2, \dots, x_n$  определено только бинарное отношение неотличимости, т. е. имеют смысл только выражения:  $x_k = x_e$ ,  $x_k \neq x_e$ .

Рассмотрим множество минералов. Примером арифметической переменной на нем может служить плотность минералов, примером логической переменной первого рода — твердость минералов по шкале Мооса, примером логической переменной второго рода с некоторыми оговорками — цвет минералов.

Необходимость и целесообразность только что проведенного разделения свойств будет ясна из дальнейшего изложения.

Далее. При некоторых условиях, уточнение которых в конкретных геологических ситуациях является, как правило, очень тяжелой задачей, каждому значению  $x_k$  переменной  $X$  можно приписать в е р о я т н о с т ь  $P_k$  [16]. При этом с переменной  $X$  связывают два множества:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Задачу получения множества  $P_1, P_2, \dots, P_n$  условимся называть

теоретико-вероятностной интерпретацией переменной  $X$ . В тех случаях, когда такую интерпретацию удалось провести, переменную  $X$  принято называть *случайной величиной*.

Для арифметических и логических первого рода случайных величин  $X$  можно на основе рассмотрения двух множеств  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $P_1, P_2, \dots, P_n$  построить функцию плотности вероятностей  $P(x)$  и функцию распределения вероятностей  $f(x)$  и говорить о законе распределения случайной величины  $X$  [19]. Для логических случайных величин второго рода  $X$  такие построения в принципе невозможны [43].

Рассмотрим пару переменных  $x_i$  и  $x_j$ . Каждая из них может принадлежать либо к классу арифметических ( $X^1$ ), либо к классу логических первого рода ( $X^2$ ), либо к классу логических второго рода ( $X^3$ ). Таким образом, нам придется иметь дело с шестью различными типами пар свойств: 1)  $x_i^1, x_j^1$ , 2)  $x_i^1, x_j^2$ , 3)  $x_i^1, x_j^3$ , 4)  $x_i^2, x_j^2$ , 5)  $x_i^2, x_j^3$ , 6)  $x_i^3, x_j^3$ . В каждом из шести отмеченных случаев может оказаться, что мы имеем дело со следующими тремя ситуациями: а) когда удалось получить теоретико-вероятностную интерпретацию для двух переменных  $x_i$  и  $x_j$ , б) когда удалось получить такую интерпретацию только для одной из переменных  $x_i$  и в) когда для обеих переменных  $x_i$  и  $x_j$  не удалось получить теоретико-вероятностной интерпретации. Таким образом, можно говорить о восемнадцати видах пар свойств.

На основании предыдущего естественно принять еще одну аксиому об анализе связи между свойствами.

**Аксиома 3.** Имеет смысл исследовать связь между двумя свойствами только тогда, когда предварительно установлено, к какому виду относится рассматриваемая пара свойств.

Очевидно, что для различных видов пар потребуются различные приемы исследования связи.

### О построении теоретико-вероятностной интерпретации для переменной

Пусть фиксированы некоторое множество объектов  $A$  и некоторая переменная  $X$ , определенная на  $A$ , для которых требуется получить теоретико-вероятностную интерпретацию. На основе экспериментальных данных можно получить таблицу вида

$$\langle a_t, x_t \rangle,$$

$$t = 1, 2, \dots, T,$$

которая указывает, какие значения  $x_i$  принимает свойство  $X$  на объектах  $a_i \in A$ . Как неоднократно отмечалось [20, 82], такая таблица не позволяет однозначно сопоставить с переменной  $X$  два множества  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Для этого необходимо привлечение некоторых дополнительных сведений. Несмотря на то, что этот вопрос представляет жгучий интерес для всех, кто имеет дело с обработкой экспериментальных данных, несмотря на то, что он так или иначе затрагивается в любых руководствах по математической статистике [12, 75, 20], до сих пор он разработан слабо. Построение множества  $x_1, x_2, \dots, x_n$  эквивалентно построению классификаций-перечислений, о которых подробно говорится, например, в [21]. О построении же множества  $P_1, P_2, \dots, P_n$  можно сказать следующее. Этот вопрос рассматривался только применительно к переменным класса  $X^1$  и  $X^2$ , когда имеет смысл говорить о законе распределения. При этом предполагается известным из «общих теоретических представлений» либо вид, либо возможные виды законов распределения. В дальнейшем дело сводится, во-первых, к выбору одного из возможных видов законов распределения, во-вторых, к получению статистических оценок для параметров закона распределения [12, 75].

Выбор вида закона распределения осуществляется на основе некоторых статистических критериев проверки гипотез. О логическом существовании статистических критериев проверки гипотез подробно говорится, например, в [1]. Сейчас важно заметить следующее: задача теоретико-вероятностной интерпретации переменной не является математической задачей. Она является частным случаем построения так называемой знаковой или математической модели. В настоящее время представления о знаковых моделях широко используются в геологии [19, 20, 43, 53]. Однако тот смысл, который здесь вкладывается в это понятие, не отвечает современным представлениям о моделях [54].

О математической модели в соответствии с [20, 43] можно говорить всегда, когда удастся математически выразить наши представления, а в соответствии с [54] о такой модели можно говорить только тогда, когда такое выражение дает новые сведения о моделируемом множестве объектов. Такое на первый взгляд чисто философское различие в понимании модели приводит к ряду затруднений при выборе вида модели и проверке пригодности построенных моделей. В соответствии с [54] на класс пригодных моделей нельзя налагать каких-либо ограничений. В работе же [20] отмечается, что класс модели в геологии

должен выбираться на основе общих генетических представлений и приемлемыми считаются только «стохастические» модели.

В соответствии с [54] согласие следствий, вытекающих из модели, с известными экспериментальными данными является побочным критерием пригодности модели, а по [20] — основным. Широко известно, что не существует моделей, которые согласовывались бы со всеми данными, полученными из опыта. Например, модели идеальной теории упругости противоречат некоторым экспериментальным данным, однако именно эти модели лежат в основе сейсморазведки.

Работа с моделью в соответствии с [20] заканчивается проверкой ее непротиворечивости экспериментальным данным, а в соответствии с [54] эта работа с моделью только начинается.

Возвращаясь к вопросу о теоретико-вероятностной интерпретации переменной, следует сказать, что все известные статистические критерии для проверки пригодности такой интерпретации дают лишь побочные данные. Для дальнейшего полезно принять еще одну аксиому.

**А к с и о м а 4.** На вопрос о том, нужно ли давать теоретико-вероятностную интерпретацию переменной  $X$  и удачно ли она дана, можно получить ответ только тогда, когда удастся выяснить, что нового позволила получить эта трактовка.

Уместно подчеркнуть, что в подавляющем большинстве случаев построить «разумную» теоретико-вероятностную трактовку переменных, т. е. такую, которая позволяла бы получать новые сведения, для парагенетических задач крайне затруднительно. По этой причине естественно пытаться избежать, если возможно, таких тяжелых построений, заменить их более простыми.

### **Зависимость и независимость свойств**

Вопрос о зависимости и независимости двух переменных наиболее подробно рассмотрен для случая, когда имеются в виду **д е а р и ф м е т и ч е с к и е** случайные величины [16, 77]. Опираясь на общепринятые представления, можно построить определение независимости для двух таких величин так, что оно будет пригодным для любого количества пар случайных величин.

Пусть  $X$  и  $Y$  — две случайные величины, определенные на множестве  $A$ , принимающие множество значений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_m$  с вероятностями  $p_1, p_2, \dots, p_n$  и  $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$ .

Пусть  $P_{ij}$  — вероятность события, состоящего в том, что случайная величина  $X$  принимает на  $a \in A$  значение  $x_i$  при условии, что случайная величина  $Y$  приняла на этом  $a \in A$

значение  $y_j$ , а  $Q_{ji}$  — вероятность события, заключающегося в том, что случайная величина  $Y$  принимает на  $a \in A$  значение  $y_j$ , если  $X$  приняла на этом  $a \in A$  значение  $x_i$ .

Две случайные величины  $X$  и  $Y$ , определенные на  $A$ , считаются *независимыми*, если  $P_i = P_{ij}$  и  $Q_j = Q_{ji}$ .

Эти два равенства можно рассматривать как формальное высказывание об отсутствии связи между  $X$  и  $Y$ , как формальную фиксацию условий, при которых для выяснения того, какое значение принимает  $Y$  ( $X$ ) на данном объекте  $a \in A$ , не имеет смысла предварительно измерять на данном объекте  $a \in A$  значение, которое принимает  $X$  ( $Y$ ). Это понятие независимости  $X$  и  $Y$  обладает наряду с очевидными достоинствами, проявляющимися при рассмотрении внутренних задач теории вероятности, и существенными недостатками. Оно опирается на знание вероятности и условий вероятности. Для того чтобы им воспользоваться в конкретной ситуации, необходимо знать эти вероятности. Но именно их крайне затруднительно определить при подобных геологических исследованиях. Как отмечалось ранее, теоретико-вероятностная интерпретация переменной  $X$  или  $Y$  может быть проведена различным образом. В соответствии с этим при одних и тех же экспериментальных данных можно получать различные суждения о связи между  $X$  и  $Y$ .

Из приведенного выше определения независимости двух случайных величин  $X$  и  $Y$  пока не удалось получить каких-либо практических критериев для оценки связи. Во всяком случае, связь этого понятия с такими критериями, как коэффициент корреляции и корреляционное отношение, остается пока неясной [1, 75, 77, 94]. Поэтому с точки зрения специалиста, занимающегося обработкой экспериментальных данных, это понятие нуждается в некоторой трансформации.

Отметим, что определение зависимости двух случайных величин  $X$  и  $Y$  пока не выработано. Сейчас отсутствуют точные определения таких понятий, как форма связи и сила связи, хотя этими словами широко пользуются. Для наших целей удобно сформулировать понятие о зависимости между двумя свойствами, опираясь на понятие детерминированной базы классификации-перечисления [21].

Рассмотрим две переменные  $X$  и  $Y$ , определенные на множестве  $A$ . Пусть  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_m$  множества их логически возможных значений, которые мы условились различать. Детерминированной базой классификации-перечисления множества  $A$  по переменным  $X$  и  $Y$  назовем множество различных пар  $\langle x_i, y_j \rangle, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ . Положим, что на подмножестве  $A' \subset A$  проведены эксперименты, в результате

которых получено множество различных пар  $\langle x'_i, y'_j \rangle$ , содержащее  $N$  пар.

**О п р е д е л е н и е 11.** Две переменные  $X$  и  $Y$ , определенные на множестве  $A$ , в случае, когда  $N < nm$ , будут называться зависимыми на множестве  $A$ . Когда же  $N = n \cdot m$ , они будут называться независимыми на множестве  $A$ .

Естественно, о зависимости и независимости переменных  $X$  и  $Y$  можно говорить только в том случае, когда для каждой из них фиксировано множество логически возможных значений, а также фиксирован экспериментальный материал. Это понятие зависимости между двумя свойствами опирается на знание множества всех логически возможных пар их значений и множества фактически реализуемых на  $A$  пар их значений. Если его сопоставить с первым общепринятым определением независимости двух свойств, можно заметить следующее: свойства, независимые по первому определению, независимы и по второму определению; свойства, зависимые по второму определению, не будут независимы по первому определению; но свойства, независимые по второму определению, могут не оказаться независимыми по первому определению.

Таким образом, наше определение улавливает не все мыслимые с теоретико-вероятностных позиций связи между двумя свойствами, а только некоторые из них. Здесь целесообразно принять такую аксиому о связи:

**А к с и о м а 5.** В практических задачах нас интересуют не все мыслимые с каких-либо теоретических позиций связи, а только те из них, которые можно на основе экспериментальных данных объективно устанавливать и использовать.

Можно убедиться, что наше определение как раз и улавливает наиболее четкие и просто устанавливаемые связи.

Следует отметить, что в интересующих нас задачах связи между двумя свойствами могут быть практически использованы: 1) для получения суждений о значении, которое принимает на  $a \in A$  одно свойство, на основании знания того значения, которое принимает на  $a \in A$  другое свойство; 2) для описания множества  $A$ , когда наличие связи между двумя свойствами, определенными на  $A$ , а также особенности этой связи используются как свойство, присущее  $A$ .

К сожалению, во многих геологических работах, например [9, 31], вопрос установления связи между двумя переменными рассматривается как самоцель, как получение числа. Разумеется, важно установить сам факт связи, но еще важнее показать, что этот факт был установлен не зря, что его можно использовать. М. В. Хемминг [83] подчеркивал, что «цель расчетов —

понимание, а не число», «прежде чем решать задачу, подумай, что делать с ее решением». Эти замечания особенно важны для геологов, ибо все тела любого вида, слагающие земную кору, в некотором аспекте являются взаимосвязанными.

### Практические критерии оценки связи между свойствами

Практические приемы выявления связей разрабатывались отдельно для различных пар свойств. Наиболее разработан тот случай, когда обе переменные  $X$  и  $Y$  являются арифметическими. В этом случае поступают так. Если позволяют теоретические представления и экспериментальный материал, переменную  $Y$  считают *функцией известного вида* от переменной  $X$ . Таким образом, считается, что предполагаемая связь между  $X$  и  $Y$  описывается функцией  $Y = y(x, a_1, a_2, \dots, a_r)$ , содержащей неизвестные параметры  $a_1, a_2, \dots, a_r$ . Эти параметры можно определить на основе принципа наименьших квадратов [49]. Такая схема выяснения связи между переменными  $X$  и  $Y$  обычно называется детерминистской [1, 21]. Если теоретические соображения и экспериментальный материал не позволяют использовать детерминистскую схему, используют стохастическую [1, 21].

Следует отметить, что в подавляющем большинстве геологических задач не удалось получить каких-либо формальных критериев, позволяющих предпочесть одну схему другой. Дело, по-видимому, в следующем. Установление связи между двумя свойствами является еще одним частным примером построения знаковой или математической модели [43, 54]. В этом смысле подобное установление опять-таки не является математической задачей, ибо все формальные критерии, которые мы пытаемся привлечь для выбора одной из схем, носят ориентировочный характер. Здесь по-прежнему дело не столько в том, что учитывает и чего не учитывает модель, сколько в том, что она дает нового.

В простейшем случае стохастическая схема сводится к следующему. Переменной  $Y$  дают теоретико-вероятностную интерпретацию и рассматривают зависимость между переменными  $M_r(Y)$  и  $X$ , где под  $M_r(Y)$  подразумеваются моменты  $r$ -ого порядка случайной величины  $Y$  [1]. Обычно ограничиваются двумя моментами:  $M_1(Y)$  — начальным моментом первого порядка (математическим ожиданием) и  $M_2(Y)$  — центральным моментом второго порядка (дисперсией). Далее поступают так же, как и в детерминистской схеме. Предполагается, что связь между  $M_r(Y)$

и  $X$  описывается функцией известного вида  $y_r = y_2(x, a_1, a_2, \dots, a_t)$ , содержащей неизвестные параметры, которые определяются на основе принципа наименьших квадратов. Линию  $y_1 = y_1(x, a_1, a_2, \dots, a_t)$ , в координатах  $Y, X$  принято называть *линией регрессии*.

В качестве критерия оценки силы связи используют корреляционное отношение, которое показывает, как тесно лежат точки  $M_1(Y)$  и  $X$  вокруг линии регрессии. Если линия регрессии представляет собой прямую, корреляционное отношение переходит в коэффициент корреляции [12, 50, 63, 75, 76]. Таким образом, существующие практические приемы исследования связи между двумя арифметическими переменными  $X$  и  $Y$  опираются, помимо всего прочего, на знание формы связи, знание вида функции, описывающей эту связь.

В парагенетических задачах у нас отсутствует возможность заранее указать форму связи, мы еще только ищем связь. Но именно форма, а не что-либо другое, представляет для нас основной интерес. По этой причине существующие практические приемы установления связи вызывают некоторое неудовлетворение.

Вопрос определения формы связи между двумя свойствами ввиду трудности его решения почти во всех геологических ситуациях, по молчаливому соглашению, принято обходить. Это оказывается возможным делать потому, что коэффициент корреляции обладает одним хорошим свойством: он, вернее его оценка, может быть вычислен просто и без каких-либо предположений о форме связи. Подробно свойства этого коэффициента обсуждаются, например, в [1, 93]. Сейчас же уместно отметить следующее.

Пусть  $\hat{\rho}(XY)$  — оценка коэффициента корреляции для случайных величин  $X$  и  $Y$ . Если  $|\hat{\rho}(X, Y)| \approx 1$ , можно говорить о наличии линейной связи между  $X$  и  $Y$ :  $Y \approx aX + b$ . Если же  $0 < |\hat{\rho}(X, Y)| < 1$ , никаких суждений о связи между случайными величинами  $X$  и  $Y$  сделать нельзя. Если же  $|\hat{\rho}(X, Y)| \approx 0$ , можно говорить об отсутствии такой линейной связи между  $X$  и  $Y$ , которой отвечает прямая регрессии с углом наклона  $\alpha > \varepsilon$ .

Таким образом, коэффициент корреляции только в исключительных случаях, когда его оценка оказывается близкой к единице, позволяет говорить о наличии линейной связи и только в исключительных случаях, когда его оценка близка к нулю, позволяет с некоторой оговоркой (!) говорить об отсутствии линейной связи.

Если обе переменные  $X$  и  $Y$  являются логическими первого рода, вместо коэффициента корреляции используют коэффициенты ранговой корреляции по Спирмену или Кендалу [76, 86, 92].

Если обе переменные  $X$  и  $Y$  являются логическими второго рода, для исследования связи между ними используют коэффициент взаимной сопряженности А. А. Чупрова [86].

### Критерий наличия связи между двумя переменными

Из сказанного в предыдущем разделе вытекает, что для наших целей необходимо несколько модифицировать практические приемы рассмотрения связи между двумя свойствами. Это тем более уместно, что различные коэффициенты, например коэффициент корреляции, строились, как уже отмечалось, с учетом возможностей только ручного счета.

Предпримем такую попытку модификации, действуя по следующей схеме: вначале обсудим построение критерия для обнаружения существенной связи между двумя свойствами; затем рассмотрим описание формы такой связи, далее — описание силы связи и, наконец, использование результатов исследования связи в тех целях, о которых говорилось ранее. Для парагенетических задач основной интерес, как будет показано далее, представляют те случаи, когда мы имеем дело с переменными, которые обе либо арифметические, либо логические второго рода.

Пусть нами построена детерминированная база классификации-перечисления множества объектов  $A$  по переменным  $X$  и  $Y$ , которые принимают значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_m$ . Эта база может быть изображена геометрически в системе координат  $X, Y$  в виде прямоугольника, разбитого на квадраты (рис. 18). Каждый квадрат, фиксированный двумя числами  $i$  и  $j$ , отвечает паре логически возможных значений наших переменных  $x_i, y_j$ . Среди этих пар значений только некоторые реализуются на объектах  $a \in A' \subset A$ . Заштрихуем те квадраты, которые отвечают этим парам значений. Будем считать, что в соответствии с определением множества объектов  $A$  всегда имеется возможность так выбрать совокупность логически возможных значений наших переменных, что 1) произведение  $nm$  будет максимальным; 2) совокупность заштрихованных квадратов не будет иметь «дыр» и будет связной; 3) протяженность этой совокупности по  $X$  будет в точности равна  $n$  [27].

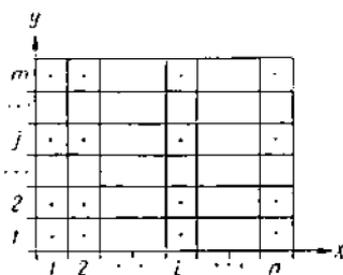


Рис. 18.

Сказанное означает, что множество заштрихованных квадратов образует одну плоскую фигуру без «дыр», протяженность которой по  $X$  равна в точности  $n$  клеткам. Введем выражение.

$$\rho(Y/X) = \frac{nm - N}{nm - n},$$

где, как и раньше,  $n$  — число логически возможных значений переменной  $X$ ,  $m$  — число логически возможных значений переменной  $Y$ , а  $N$  — число заштрихованных квадратов. Очевидно, что  $n \leq N \leq nm$  и потому  $0 \leq \rho(Y/X) \leq 1$ .

По нашему определению на множестве  $A$  переменная  $Y$  будет связана с  $X$ , если  $\rho(Y/X) > 0$ .

**О п р е д е л е н и е 12.** Будем говорить, что связь переменной  $Y$  с переменной  $X$  на множестве  $A$  существенна, если  $\rho(Y/X) \geq \alpha > 0$ .

В различных парагенетических задачах  $\alpha$  выбирается различным образом. Отметим, что  $\rho(Y/X) \neq \rho(X/Y)$ .

### Описание формы связи между двумя переменными

Пусть на множестве  $A$  арифметическая переменная  $Y$  существенно связана с арифметической переменной  $X$ . Построим  $n$  точек, каждая из которых соответствует фиксированному значению переменной  $X$  и среднему арифметическому значению переменной  $Y$ , отвечающему фиксированному значению переменной  $X$  (рис. 19).



Рис. 19

Соединим между собой эти  $n$  точек отрезками прямых. Получим ломаную линию регрессии [30]. Рассмотрим плоскую фигуру, ограниченную этой ломаной и прямой  $\bar{Y}_{\min}$ .

**О п р е д е л е н и е 13.** Под описанием формы существенной связи арифметической переменной  $Y$  с арифметической переменной  $X$  на множестве  $A$  будем понимать описание формы указанной выше плоской фигуры при условии, что это описание дается в первом приближении в соответствии с алгоритмом, предложенным в [27].

В соответствии с этим определением описание формы существенной связи переменной  $Y$  с переменной  $X$  будет сводиться к заданию 12 параметров:  $\alpha = \frac{a_1}{b_1}$ ,  $\beta = \frac{a_2}{b_2}$ ,  $\gamma = \frac{a_1}{a_2}$ ,  $\delta = \frac{b_1}{b_2}$ ,  $x_i, y_i, i = 1, 2, 3, 4$ .

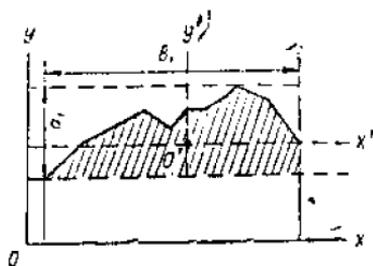


Рис. 20

Смысл этих параметров можно пояснить геометрически (см. рис. 20). Построим, следуя [27], локальную систему координат  $X'O'Y'$ , жестко связанную с рассматриваемой фигурой, начало которой помещено в центре масс фигуры, ось  $O'X'$  направлена по простираанию фигуры, а ось  $O'Y'$  — вкrest ее простираания. Тогда параметры  $a_i$  и  $b_i$ ,  $a_i \leq b_i$ , имеют смысл размеров сторон прямоугольника, описанного вокруг фигуры, стороны которого параллельны локальной системе координат  $X'O'Y'$ ;  $a_2$  и  $b_2$ ,  $a_2 \leq b_2$ , имеют смысл модулей корней уравнения  $Z^2 - \frac{L}{2}Z + S = 0$ , где  $L$  — периметр фигуры,  $S$  — ее площадь; параметры  $x_i, y_i, i = 1, 2, 3, 4$  являются нормированными координатами центров масс частей фигуры, расположенных в  $i$ -ом квадранте локальной системы координат  $X'O'Y'$ .

Пусть на множестве  $A$  логическая переменная второго рода  $Y$  существенно связана с логической переменной второго рода  $X$ . Ранее была указана процедура, позволяющая построить плоскую фигуру, отвечающую этой связи.

**О п р е д е л е н и е 14.** Под описанием формы существенной связи логической переменной второго рода  $Y$  с логической переменной второго рода  $X$  на множестве  $A$  будем понимать описание формы указанной ранее плоской фигуры при условии, что описание ее задается только 4 параметрами:  $\alpha = \frac{a_1}{b_1}$ ,  $\beta = \frac{a_2}{b_2}$ ,  $\gamma = \frac{a_1}{a_2}$ ,  $\delta = \frac{b_1}{b_2}$ , определяемыми в соответствии с алгоритмом, предложенным в [27].

### Описание силы связи между двумя переменными

Для случая, когда речь идет о двух арифметических переменных  $Y$  и  $X$ , будем искать функцию  $Y = y(x)$  в виде полинома степени  $m$  —  $P_m(x)$ . Опираясь на 12 параметров, описываю-

щих форму связи между переменными  $Y$  и  $X$ , можно указать алгоритм распознавания  $F$  [29], который позволит по значениям параметров определить эту степень  $m$ . Коэффициенты полинома  $P_m(x)$  можно найти, опираясь на обычную методику, связанную с принципом наименьших квадратов [49].

После определения коэффициентов полинома  $P_m(x)$  в качестве меры, позволяющей определить силу существенной связи арифметической переменной  $Y$  с арифметической переменной  $X$ , можно применить известное корреляционное отношение Пирсона [33, 63, 75].

В случае, когда речь идет о двух логических переменных второго рода, в качестве меры, позволяющей определить силу существенной связи логической переменной второго рода  $Y$  с логической переменной второго рода  $X$ , можно взять несколько видоизмененный коэффициент взаимной сопряженности Чупрова [86].

Пусть  $H(Y)$  — энтропия переменной  $Y$ , вычисленная на основе эмпирических частот, а  $H(Y/X)$  — полная условная энтропия переменной  $Y$  по переменной  $X$ , вычисленная на основе таких же частот [16, 21]. Тогда в качестве упомянутой меры силы связи будем использовать выражение

$$r(Y/X) = 1 - \frac{H(Y/X)}{H(X)}.$$

### Об использовании результатов исследования связи между двумя переменными

Ранее подчеркивалось, что исследование существенной связи между двумя переменными  $X$  и  $Y$  на множестве  $A$  не является самоцелью, а проводится для того, чтобы иметь возможность:

(1) получать суждения о значении одной переменной  $Y$  на объекте  $a \in A$  по известному значению другой переменной  $X$  на этом же объекте  $a \in A$ ;

(2) получать суждения о свойствах множества объектов  $A$ , обусловленных специфическими чертами существенной связи переменных  $Y$  и  $X$  на этом множестве объектов  $A$ , с целью сопоставления  $A$  с другими множествами объектов.

Если  $X$  и  $Y$  являются арифметическими переменными, для получения суждения о значении переменной  $Y$  на объекте  $a \in A$  по известному значению переменной  $X$  на объекте  $a \in A$  можно использовать полином  $P_m(x)$ , способ построения которого уже обсуждался. При этом мера силы связи между переменными  $Y$  и

$X$  может быть использована как критерий, характеризующий возможные ошибки в таких суждениях.

Если  $X$  и  $Y$  являются логическими переменными второго рода, для получения суждения о значении переменной  $Y$  на объекте  $a \in A$  по известному значению переменной  $X$  на объекте  $a \in A$  можно использовать (в зависимости от формы связи между переменными  $Y$  и  $X$ , описываемой отмеченными выше четырьмя параметрами) различные алгоритмы распознавания, подробно проанализированные в [29]. При этом мера силы связи между переменными  $Y$  и  $X$  опять же может быть использована в качестве критерия, характеризующего возможные ошибки в таких суждениях.

Для получения суждений о свойствах множества объектов  $A$ , обусловленных специфическими чертами существенной связи переменных  $X$  и  $Y$  на этом множестве объектов  $A$ , можно использовать параметры, описывающие форму и силу этой связи.

Ниже попытаемся выработать общее понятие парагенезиса, опираясь на те вспомогательные понятия, которые были даны в предыдущем разделе, а также на те понятия, которые подробно обсуждались в [21, 23, 28].

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ О ПАРАГЕНЕЗИСЕ

### Определение понятия базисной совокупности

Пусть  $g$  — некоторая «сверхкрупная» область геологического пространства, относящаяся к классу  $G$ ,  $g \in G$ . Предположим, что любая «сверхкрупная» область  $g \in G$  может быть разбита на «крупные» области  $a$ , относящиеся к классу  $A$ ,  $a \in A$ . Положим, что в нашем распоряжении имеется  $[A : U]$  — классификация-перечисление «крупных» областей  $a \in A$  по системе признаков  $U$ , содержащая классы неотличимости  $A_1, A_2, \dots, A_{N(U)}$  [21]. Кроме того, любая «крупная» область  $a \in A$  может быть разбита на «мелкие» области  $b$ , относящиеся к классу  $B$ ,  $b \in B$ . Положим, что в нашем распоряжении имеется классификация-перечисление «мелких» областей  $B$  по системе признаков  $W$  —  $[B : W]$ , содержащая классы неотличимости  $B_1, B_2, \dots, B_{N(W)}$ .

Очевидно, что каждой «крупной» области  $a_i^h \in A_j$  можно привести в соответствие совокупность классов  $\langle B \rangle_j^h$ . Для этого «крупную» область  $a_i^h \in A_j$  следует разбить на «мелкие» области  $b \in B$  и выяснить, к каким различным  $B_i$  принад-

лежат упомянутые области. Для различных значков  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n(j)$ , будем получать, вообще говоря, различные совокупности классов  $\langle B \rangle_j^k$ . Приведем в соответствие каждому классу неотличимости «крупных» областей  $A_j \subset A$  совокупность классов неотличимости «мелких» областей  $B_i \subset B$ :

$$\{B_i\}_j = \langle B \rangle_j^1 \cup \langle B \rangle_j^2 \cup \dots \cup \langle B \rangle_j^{n(j)}.$$

**О п р е д е л е н и е 15.** Совокупность классов неотличимости  $\{B_i\}_j$  назовем базисной совокупностью для класса неотличимости «крупных» областей  $A_j \subset A$ .

Дадим одну из возможных геологических интерпретаций  $G$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $A_j$  и  $\{B_i\}_j$ . Например, для исследования задана некоторая «сверхкрупная» область геологического пространства, а именно «древняя Сибирская платформа» ( $\partial$ ), относящаяся к классу «древних платформ» ( $G$ ).

Эта область может быть разбита на «крупные» области, каждая из которых представляет геологическую формацию ( $a$ ), относящуюся к типу «платформенные формации» ( $A$ ). В нашем распоряжении имеется классификация-перечисление этих формаций, содержащая классы неотличимости (абстрактные формации):  $A_1$  — терригенная красноцветная формация,  $A_2$  — терригенная сероцветная формация,  $A_3$  — карбонатная формация,  $A_4$  — соленосная формация и т. д.

Любая из конкретных формаций ( $i$  = формация, см. определение 10)  $a \in A$  может быть подразделена на «мелкие» области ( $b$ ), относящиеся к классу «монопородные тела» ( $B$ ). Эти монопородные тела расклассифицированы по системе признаков  $W$ , в результате чего определены классы неотличимости монопородных тел:  $B_1$  — аргиллиты,  $B_2$  — алевролиты,  $B_3$  — песчаники,  $B_4$  — известняки,  $B_5$  — доломиты,  $B_6$  — каменная соль и т. д.

Очевидно, что каждую конкретную формацию  $a_j^k$ , относящуюся, например, к классу «красноцветных терригенных» ( $A_j$ ), можно разбить на монопородные тела, выяснить, к каким классам принадлежат эти тела, и тем самым привести в соответствие данной конкретной формации перечень классов пород  $\langle B \rangle_j^k$ . В некотором частном случае этот список мог бы выражаться, скажем, тремя классами:  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ .

Перебрав все конкретные формации, развитые на древних платформах и относящиеся к заданному классу  $A_j$ , получим множество списков  $\{\langle B \rangle_j^k\}$ . Из этого множества списков можно выделить базисную совокупность, перечислив все классы  $B_i$ , которые входят хотя бы в один из рассматриваемых списков.

Другой пример. В качестве «сверхкрупной» области можно рассматривать интрузивный массив, сложенный «крупными» телами различных интрузивных пород: гарцбургит ( $A_1$ ), габбро ( $A_2$ ), гранодиорит ( $A_3$ ), диорит ( $A_4$ ) и гранит ( $A_5$ ). В качестве «мелких» областей будем рассматривать минералы, составляющие данные породы: кварц, полевой шпат, оливин, биотит, амфибол, пироксен и т. д. Рассматривая отдельные, например гранитные, тела, слагающие данный массив, мы составим базисную совокупность минералов, входящих в эти граниты. Можно сказать, что сюда войдут кварц, полевые шпаты, биотит, амфибол, пироксен. Оливин не войдет.

Из определения базисной совокупности вытекает, что если некоторая «мелкая» область  $b \in B$  принадлежит какому-либо классу  $B_i$ , входящему в базисную совокупность  $\{B_i\}$  «крупных» областей класса  $A_j$ , то среди «крупных» областей  $a \in A_j$  имеется по крайней мере одна такая «крупная» область  $a' \in A_j$ , которая содержит в себе по крайней мере одну «мелкую» область  $b \in B_i$ .

Данное определение базисной совокупности имеет операционный смысл тогда, когда у нас имеются алгоритмы обнаружения, выделения и определения принадлежности к классу неогличимости (по заранее фиксированным классификациям-перечислениям) областей  $g$ ,  $a$  и  $b$ .

### Понятие несовместности и совместности классов

Пусть  $\{B_{j1}, B_{j2}, \dots, B_{ji}\}$  — базисная совокупность, отвечающая  $A_j$ , и  $a_1^1, a_1^2, \dots, a_1^n$  — совокупность областей, принадлежащих  $A_i$ . Рассмотрим таблицу вида  $(a_i^1 - a_i^n)(B_{j1} - B_{ji})$ .

Если предположить, что в табл. 4  $\alpha_{ki}$  имеет такой смысл:

$$\alpha_{ki} = \begin{cases} +1, & \text{если в } a_i^k \text{ содержится хотя бы одна } b \in B_{ji}, \\ -1, & \text{если в } a_i^k \text{ не содержится ни одной } b \in B_{ji}, \end{cases}$$

то таблица будет показывать, какая совокупность  $\langle B_i \rangle_j^k$  отвечает  $a_i^k \in A_j$ . Рассмотрим два столбца таблицы —  $p$ -й и  $q$ -й.

О п р е д е л е н и е 16. Классы  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$  будут называться *несовместными*, если окажется, что  $\alpha_{kp} = \alpha_{kq} = -1$  или  $\alpha_{kp} = -\alpha_{kq}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$  ( $j$ ). Во всех других случаях классы  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$  будут называться *совместными* на  $a_i^k \in A_j$ .

| $a_j^k$ \ $B_{jt}$ | $B_{j_1}$ | $B_{j_2}$ | ... | $B_{j_t}$     | ... | $B_{j_t}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----|---------------|-----|-----------|
| $a_j^1$            |           |           |     |               |     |           |
| $a_j^2$            |           |           |     |               |     |           |
| ...                |           |           |     |               |     |           |
| $a_j^k$            |           |           |     | $\alpha_{kt}$ |     |           |
| ...                |           |           |     |               |     |           |
| $a_j^n$            |           |           |     |               |     |           |

Из факта несовместности классов  $B_{j_p}$  и  $B_{j_q}$  вытекает, что если в «крупной» области  $a_j^k \in A_j$  обнаружена «мелкая» область  $b \in B_{j_p}$ , то в  $a_j^k \in A_j$  не может быть обнаружена «мелкая» область  $b \in B_{j_q}$  и наоборот. Известный пример несовместности — взаимоотношение нефелина и кварца, диопсида и кордиерита на классе магматических пород.

#### Связь относительных количеств классов

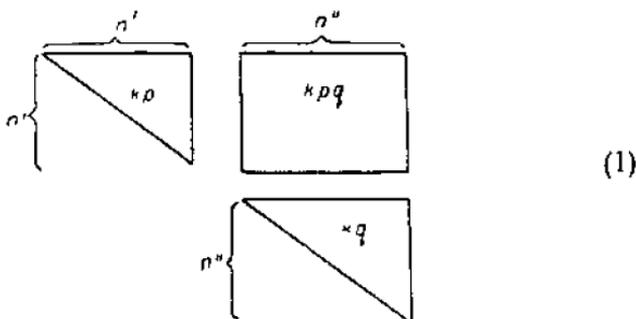
Если предположить, что нами выбраны единицы и способ измерения относительного количества «мелких» областей  $b \in B_{jt}$  внутри «крупных» областей  $a_j^k \in A_j$ , то можно считать, что в таблице совместности в  $p$ -ом и  $q$ -ом столбцах  $\alpha_{k_p}$  и  $\alpha_{k_q}$  имеют смысл чисел, показывающих относительные количества «мелких» областей  $b' \in B_{j_p}$  и  $b'' \in B_{j_q}$  внутри «крупной» области  $a_j^k \in A_j$ . Если классы  $B_{j_p}$  и  $B_{j_q}$  совместны, то числа  $\alpha_{k_p}$  и  $\alpha_{k_q}$  можно толковать как значения арифметичес-

к и х переменных  $\alpha_p$  и  $\alpha_q$ , отвечающих относительно количеству «мелких» областей  $b' \in B_{jp}$  и  $b'' \in B_{jq}$  внутри «крупных» областей  $a_j^k \in A_j$ . Поэтому, естественно, можно говорить о связи между арифметическими переменными  $\alpha_p$  и  $\alpha_q$  на множестве  $A$ .

Для обнаружения существенной связи между ними, для описания ее формы и силы можно использовать приемы, о которых шла речь выше. Ради краткости эту связь будем называть связью между относительными количествами двух классов  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$ .

### Пространственная связь классов

Если некоторые объекты обнаруживают количественную связь, имеет смысл обратиться к вопросу об их пространственной связи. Введем понятие о пространственной связи «мелких» областей  $b' \in B_{jp}$  и  $b'' \in B_{jq}$  внутри «крупных» областей  $a_j^k \in A_j$ . Рассмотрим две любые области  $\hat{b}$  и  $\tilde{b}$ , находящиеся внутри «крупных» областей  $a_j^k \in A_j$ . Пусть  $R_0, R_1, \dots, R_n$  — множество тех принципиально возможных случаев взаимного расположения этих областей, которые мы условимся считать различными. Предположим, что внутри «крупной» области  $a_j^k \in A_j$  нами обнаружено  $n'$  «мелких» областей  $b' \in B_{jp}$  и  $n''$  «мелких» областей  $b'' \in B_{jq}$ . «Крупной» области  $a_j^k \in A_j$  можно привести в соответствие матрицу, состоящую из двух треугольных матриц и одной прямоугольной:



Элементы треугольной матрицы  $kr$  показывают, как располагаются внутри  $a_j^k \in A_j$  одна относительно другой «мелкие» области  $b' \in B_{jp}$ ; элементы матрицы  $kq$  показывают, как располагаются внутри  $a_j^k \in A_j$  одна относительно другой «мелкие»

области  $b'' \in B_{jq}$ ; элементы матрицы  $kpq$  — как располагаются внутри  $a_i^k \in A_j$  «мелкие» области  $b' \in B_{jp}$  и  $b'' \in B_{jq}$  относительно друг друга.

Предположим, нами построена некоторая система описания матриц вида (1) и следующего вида:

$$\begin{array}{|c} \triangle \\ \hline \text{кр} \end{array} \quad (2)$$

Будем считать, что параметры этого описания не зависят от размеров рассматриваемых матриц и не меняются при перестановке любых двух строк или столбцов. Пример такого описания подобных матриц приводится в [21, 23]. Положим так же, что на основе такого описания нами построена классификация-перечисление рассматриваемых матриц вида (1) и (2), содержащая  $N$  классов неотличимости. Тогда «крупной» области  $a_i^k \in A_j$  можно привести в соответствие два числа —  $m_k(p \cdot q)$  и  $m_k(p)$ , имеющие смысл номеров классов неотличимости только что упомянутой классификации-перечисления, к которым относятся матрицы (1) и (2). Аналогично предыдущему можно получить такие пары целых чисел  $m_k(p, q)$  и  $m_k(p)$  для любых  $k$ . Это позволяет рассматривать на множестве  $A_j$  две логические переменные второго рода  $m(p, q)$  и  $m(p)$ . Связь между этими переменными, очевидно, будет отвечать пространственной связи между «мелкими» областями  $b' \in B_{jp}$  и  $b'' \in B_{jq}$  внутри «крупных» областей  $a_i^k \in A_j$ . Ради краткости будем называть эту связь пространственной связью двух классов  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$ . Для обнаружений существенной пространственной связи, для описания ее формы и силы можно использовать те же самые приемы, о которых говорилось раньше.

### Понятие о парагенетической связи одного класса с другим

Положим, что  $g, G, a, A, A_1, A_2, \dots, A_{N(V)}, b, B, B_1, B_2, \dots, B_{N(W)}, B_{jp}, B_{jq}, \alpha_p, \alpha_q, m(p, q), m(p)$  — символы, имеющие тот смысл, который был им приписан ранее. Учтем, что нами уже получены критерии для установления существенной связи между двумя переменными — как количественной, так и пространственной.

О п р е д е л е н и е 17. В «сверхкрупной» области  $g$ , принадлежащей к классу  $G$ , класс «мелких» областей  $B_{j_p}$  называется *парагенетически связанным* с классом «мелких» областей  $B_{j_g}$  внутри «крупных» областей  $a$ , принадлежащих к классу  $A_j$ , если:

- 1) переменная  $\alpha_g$  имеет существенную связь с переменной  $\alpha_p$ ,
- 2) переменная  $m(p, q)$  имеет существенную связь с переменной  $m(p)$ .

Из приведенного определения вытекает, что из факта парагенетической связи  $B_{j_g}$  с  $B_{j_p}$  еще не следует факт парагенетической связи  $B_{j_p}$  с  $B_{j_g}$ .

О п р е д е л е н и е 18. В «сверхкрупной» области  $g$ , принадлежащей к классу  $G$ , имеет место парагенезис классов «мелких» областей  $B_{j_p}$  и  $B_{j_g}$  внутри «крупных» областей  $a$ , принадлежащих классу  $A_j$ , если  $B_{j_g}$  парагенетически связан с  $B_{j_p}$  и  $B_{j_p}$  парагенетически связан с  $B_{j_g}$ .

Из определения понятия парагенезиса двух классов  $B_{j_p}$  и  $B_{j_g}$  вытекает, что оно приобретает конкретный смысл тогда и только тогда, когда конкретно установлены:

а) алгоритм обнаружения, выделения и описания областей  $g$ ,  $a$ ,  $b$  и отвечающих им классов  $G$ ,  $A$ ,  $B$ ;

б) классификация-перечисление областей  $A$  и  $B$ , необходимые и достаточные условия принадлежности областей  $b$  к классам  $B_{j_p}$  и  $B_{j_g}$ , а также областей  $a$  к классу  $A_j$ ;

в) алгоритмы получения переменных  $\alpha_g$  и  $\alpha_p$ ,  $m(p, q)$  и  $m(p)$ .

Для того чтобы понятие парагенезиса двух классов  $B_{j_p}$  и  $B_{j_g}$  имело конкретный операционный смысл, необходимо указать конкретный вид критериев обнаружения такой связи между переменными  $\alpha_g$  и  $\alpha_p$ ,  $m(p, q)$  и  $m(p)$ , которую условимся считать *существенной*.

### Задачи парагенетического анализа

Опираясь на введенное нами понятие о парагенезисе двух классов, имеем возможность сформулировать основные задачи парагенетического анализа. Их можно рассматривать в двух аспектах: в общем, без конкретизации смысла парагенезиса двух классов, и в частном — с конкретизацией этого смысла. Соответственно можно говорить об общих и частных задачах

парагенетического анализа. Мы будем формулировать общие задачи.

а) Задача обнаружения существенной связи между двумя арифметическими и двумя логическими переменными.

б) Задача описания формы существенной связи между двумя арифметическими и двумя логическими переменными.

в) Задача описания силы существенной связи между двумя арифметическими и двумя логическими переменными.

Возможные варианты решения этих задач предложены ранее. Эти варианты нельзя считать оптимальными. Например, использование корреляционного отношения для описания силы существенной связи между арифметическими переменными вызывает возражения. Достаточно отметить, что это отношение зависит от формы связи. Кроме того, некоторые вопросы, связанные с этими задачами, нуждаются в дальнейшей разработке.

г) Задача определения относительного количества  $b \in B_{jq}$  через известное относительное количество  $b \in B_{jp}$  и выяснения расположения областей  $B_{jq}$  по известному расположению областей  $B_{jp}$  при условии, что имеет место парагенезис  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$ .

Выше отмечено, что эта задача может быть решена на основе применения алгоритмов распознавания образов. Остается, однако, неясным, какие именно алгоритмы распознавания образов целесообразно в этом случае применять.

Принято считать, что одной из основных задач парагенетического анализа является выделение парагенетических ассоциаций. Возможности решения этой задачи уместно обсудить особо в следующем разделе, после введения определения этой ассоциации. Можно убедиться, что предлагаемое нами понятие о парагенезисе действительно удовлетворяет тем требованиям, о которых говорилось на стр. 68.

### **Порядок действий по установлению парагенетической связи между классами. Пример**

Подводя итоги изложенному, можно сказать, что парагенетическая связь (парагенезис) не может быть установлена между двумя отдельно выбранными геологическими телами, так же как и на множестве тел одного и того же класса. Для таких случаев понятие о парагенезисе не имеет смысла. Оно приобретает смысл тогда, когда множество элементарных тел  $\{b\}$  представлено разными классами  $\{B_j\}$ . Кроме того, тела  $b$  должны наблюдаться в разных, но однотипных «крупных» областях  $a$ .

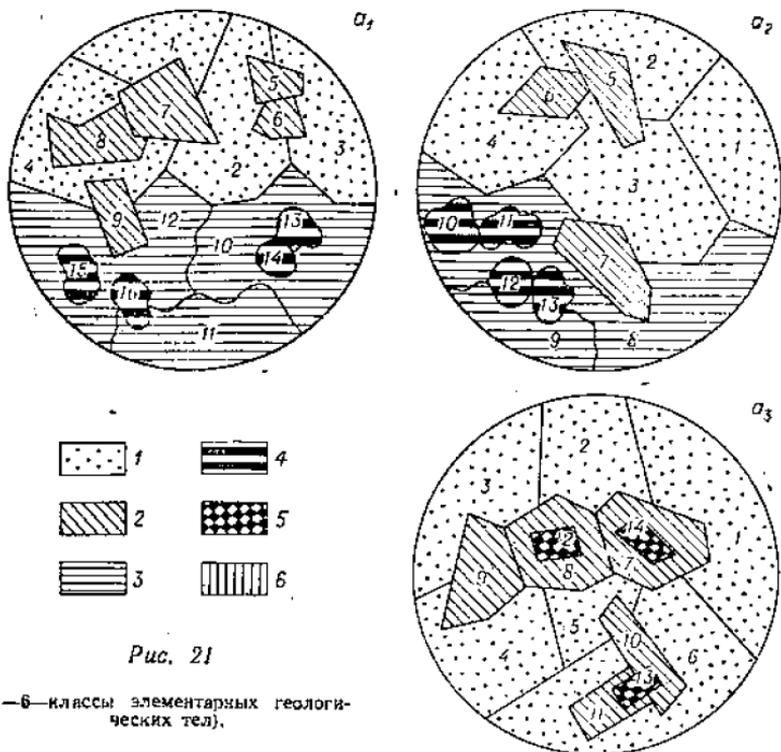


Рис. 21

(1—6—классы элементарных геологических тел).

В качестве таких «крупных» областей  $a$  могут рассматриваться поля шлифов (тогда  $b$  — минералы, а  $g$  — образец горной породы, из которого изготовлены шлифы); колонки осадочных толщ (тогда  $b$  — пласты, а  $g$  — формация, слагаемая этими пластами); формации (тогда  $b$  — пласты, пачки пластов, а  $g$  — геоструктурная область, сложенная этими формациями); месторождения и т. д.

Исходя из изложенного, последовательность действий по определению парагенетической связи между классами  $B_i$  выражается следующей схемой.

1. Задано: «сверхкрупная» область  $g$  класса  $G$  и классификации-перечисления  $[A:U]$  и  $[B:W]$ , на основе которых подразделяем «сверхкрупную» область  $g$  на «крупные» области  $a \in A$ , а последние — на «мелкие» области  $b$ .

2. Определяем количества областей  $b$  по каждому классу  $B_i$  в каждой области  $a_i$ .

3. Определяем базисную совокупность классов  $B$  по всем рассматриваемым областям  $a_i$ .

4. Определяем список совместных и несовместных пар классов  $B_i, B_j$  по всем областям  $a_i$ .

5. Вычисляем коэффициенты количественной связи  $\rho$  для совместных пар  $B_i, B_j$ , основываясь на выбранной градации измерения количества.

6. Задаем нижний предел существенного значения  $\rho$ . Определяем список пар  $B_i, B_j$ , имеющих существенную оценку от  $B_i$  к  $B_j$  и от  $B_j$  к  $B_i$ .

7. Вводим показатели взаимоотношений  $b$  между собой —  $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ .

8. Определяем список пар  $B_i, B_j$ , имеющих существенную пространственную связь, на основании заданной классификации матриц взаимоотношений.

9. Пары классов  $B_i, B_j$ , имеющие существенную количественную, а также существенную пространственную связь, определяются как парагенетически связанные.

Проиллюстрируем приведенную последовательность операций на конкретном примере. Пусть заданы три «крупные» области  $a_1, a_2, a_3$  (которые могут рассматриваться, например, как шлифы), относящиеся к некоторой «сверхкрупной» области (могущей представлять собой образец или массив какой-либо горной породы). Задана классификация-перечисление тел  $b \in B$ , насчитывающая 6 классов:  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$  (рис 21).

1) В каждом  $a_i$  все рассматриваемые элементарные тела  $b \in B$  нумеруются по порядку, для каждого  $a_i$  своя нумерация.

2) Определяется базисная совокупность путем составления таблицы совместности (табл. 5), в которой знаком  $+$  (или  $+1$ , как предлагалось ранее) отмечается наличие хоть одного тела  $b$  класса  $B_i$  в области  $a_i$ , минусом — полное отсутствие. В данном случае базисная совокупность представлена списком  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ .

3) По таблице совместности строится таблица для пар  $B_i, B_j$  (табл. 6), в клетках которой ставится единица, если пара  $B_i, B_j$  во всех телах  $a_i$  встретится хоть раз, и нуль, если пара  $B_i, B_j$  ни разу ни в одном  $a_i$  не встретились или элементы данных классов вообще отсутствуют.

4) Затем вычисляется таблица (табл. 7) количественных содержаний (например, в процентах) элементарных тел каждого класса  $B_i$  базисной совокупности  $\{B_i\}$  в телах  $a_i$ .

5) На основании табл. 7 вычисляются коэффициенты связи по количеству (это  $\rho$ ) для каждой пары базисной сово-

Таблица 5

|       | $B_1$ | $B_2$ | $B_3$ | $B_4$ | $B_5$ | $B_6$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $a_1$ | +     | +     | +     | +     | -     | -     |
| $a_2$ | +     | +     | +     | +     | -     | -     |
| $a_3$ | +     | +     | -     | -     | +     | -     |

Таблица 6

|               |               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $B_1B_2$<br>1 | $B_1B_3$<br>1 | $B_1B_4$<br>1 | $B_1B_5$<br>1 | $B_1B_6$<br>0 |
| $B_2B_3$<br>1 | $B_2B_4$<br>1 | $B_2B_5$<br>1 | $B_2B_6$<br>0 |               |
| $B_3B_4$<br>1 | $B_3B_5$<br>0 | $B_3B_6$<br>0 |               |               |
| $B_4B_5$<br>0 | $B_4B_6$<br>0 |               |               |               |
| $B_5B_6$<br>0 |               |               |               |               |

Таблица 7

|       | % $B_1$ | % $B_2$ | % $B_3$ | % $B_4$ | % $B_5$ |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $a_1$ | 30      | 20      | 40      | 10      | 0       |
| $a_2$ | 40      | 20      | 30      | 10      | 0       |
| $a_3$ | 60      | 35      | 0       | 0       | 5       |

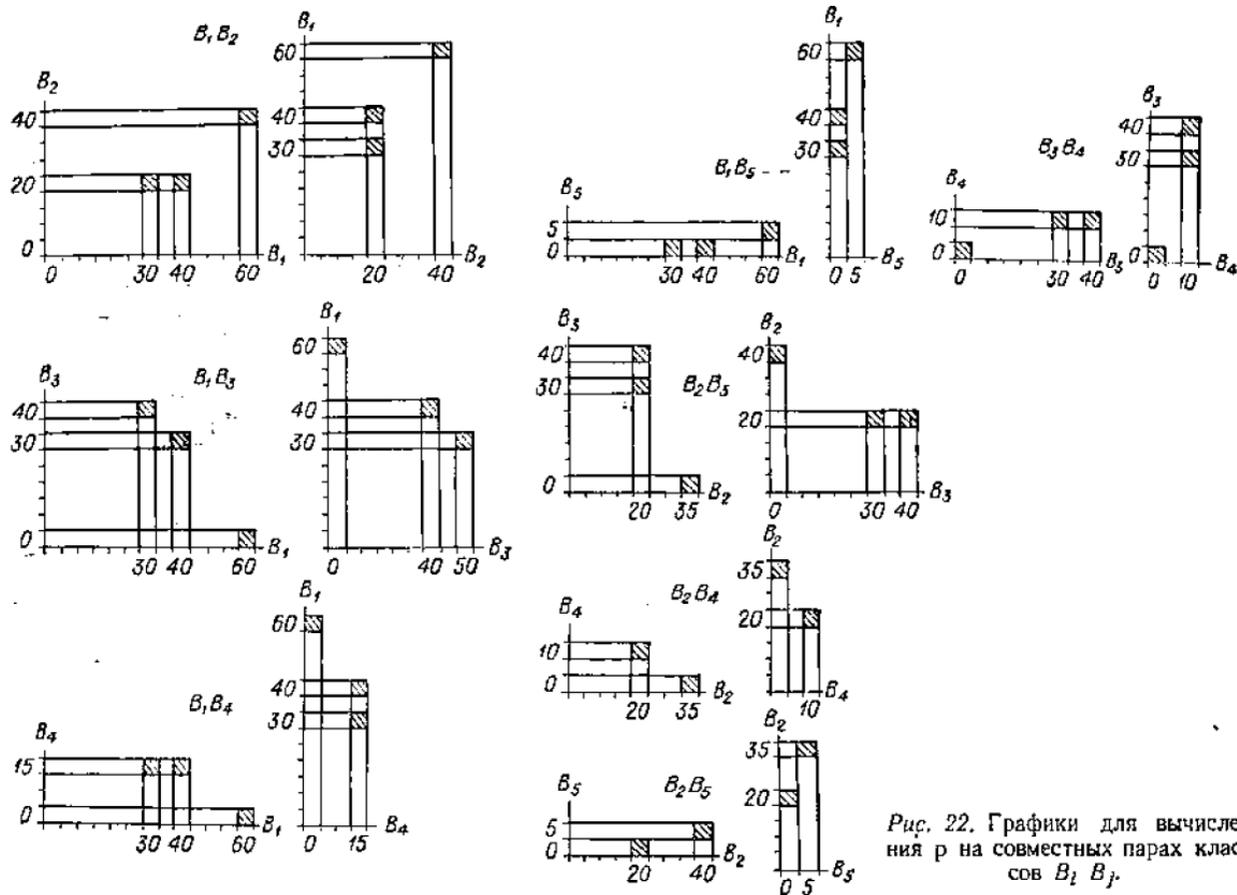


Рис. 22. Графики для вычисления  $p$  на совместных парах классов  $V_i V_j$ .

Таблица 8

| Пары                 | $m$      | $n$    | $N$    | $\rho$    | Пары                 | $m$      | $n$    | $N$    | $\rho$    |
|----------------------|----------|--------|--------|-----------|----------------------|----------|--------|--------|-----------|
| $B_1B_2$<br>$B_2B_1$ | 42<br>31 | 3<br>2 | 3<br>3 | 1<br>0,95 | $B_2B_3$<br>$B_2B_2$ | 31<br>49 | 2<br>3 | 3<br>3 | 1<br>1    |
| $B_1B_3$<br>$B_3B_1$ | 37<br>37 | 3<br>3 | 3<br>3 | 1<br>1    | $B_2B_4$<br>$B_4B_2$ | 36<br>59 | 2<br>2 | 2<br>2 | 1<br>1    |
| $B_1B_4$<br>$B_4B_1$ | 37<br>40 | 3<br>2 | 3<br>3 | 1<br>0,98 | $B_2B_5$<br>$B_5B_2$ | 31<br>41 | 2<br>2 | 2<br>2 | 1<br>1    |
| $B_1B_5$<br>$B_5B_1$ | 37<br>41 | 3<br>2 | 3<br>3 | 1<br>0,98 | $B_3B_4$<br>$B_4B_3$ | 49<br>39 | 3<br>2 | 3<br>3 | 1<br>0,98 |

Таблица 9

| Количество элементов класса $B_i$ (%) | Количество возможных градаций для $B_j$ ( $m_j$ ) | Количество элементов класса $B_i$ (%) | Количество возможных градаций для $B_j$ ( $m_j$ ) |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0                                     | 21                                                | 90—95                                 | 3                                                 |
| до 5                                  | 20                                                | 95—до 100                             | 2                                                 |
| 5—10                                  | 19                                                | 100                                   | 1 (0%)                                            |
| ...                                   | ...                                               |                                       |                                                   |

купности  $B_iB_j$  вначале по соотношению  $B_i/B_j$ , а затем по соотношению  $B_j/B_i$ . Графическое основание для подсчета дано на рис. 22, соответствующие коэффициенты — в табл. 8.

Для данного примера нами выбрана градация измерения содержания тел класса  $B_i$  в 5%. На графиках зависимости содержания тел класса  $B_j$  (откладывается на оси ординат) от содержания  $B_i$  (откладывается по оси абсцисс) изображается характером расположения квадратиков, сторона которых отвечает размеру градации измерения (5%). В зависимости от содержания тел класса  $B_i$  определяется число — логически

возможное количество градаций, которое может характеризовать содержание тел класса  $B_j$  при данном содержании  $B_i$ . Так, если количество  $B_i$  составляет 30%, то  $B_j$  может встретиться в количестве от 0 до 70%, т. е. в его распоряжении имеется 0 до 5, 5—10, 10—15, ..., 65—70% — всего 15 градаций. Для пятипроцентной градации можно составить таблицу чисел  $m$  (табл. 9).  $m_i$  определяется для каждой градации  $B_i$ ,  $m = \sum m_i$ . Напомним, что  $n$  есть число градаций  $B_i$ , а  $N$  — число реализованных классов (число заштрихованных на графике квадратов);  $\rho$  определяется по формуле

$$\rho = \frac{nm - N}{nm - n}.$$

Определив коэффициент количественной связи  $\rho$  на каждой паре в двух вариантах (см. табл. 8), выбираем пары, связанные существенной связью, считая ее таковой при  $\rho = 1$  в обоих вариантах. Тогда оказывается, что существенная количественная связь наблюдается только на трех парах:  $B_1B_3$ ,  $B_2B_4$ ,  $B_2B_5$ .

6) Переходим к определению пространственной связи на парах, обладающих существенной количественной связью. Строим матрицы взаимоотношений тел  $b_i$  на телах  $a_j$ , пользуясь классификацией взаимоотношений  $R$  (рис. 23). Будем считать, что пространственная связь имеет место, если матрицы на разных  $a_j$  получаются одинаковыми с точки зрения некоторого критерия, например, если матрицы получаются одинаковыми поперечию видов  $R$ .

Получившиеся для взятого примера матрицы изображены на рис. 24. Можно заключить, что пара  $B_1B_3$  связана пространственной связью, ибо матрицы одинаковы. Пара  $B_2B_4$  тоже имеет пространственную связь. О паре  $B_2B_5$  нельзя ничего в этом отношении сказать, так как она встречена только в одном теле  $a_3$ .

7) Таким образом, на телах  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  парагенетически связаны пары классов  $B_1B_3$  и  $B_2B_4$ , если исходить из принятых положений.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ

### Задача выделения парагенетических ассоциаций — задача группирования

Как уже отмечалось, принято считать, что одной из основных задач парагенетического анализа является выделение парагенетических ассоциаций, которые в дальнейшем изложении для краткости будут обозначаться как ПА.

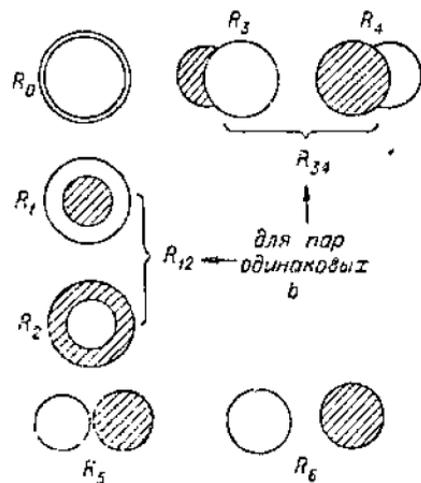
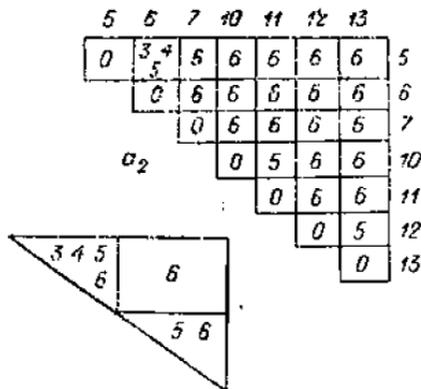
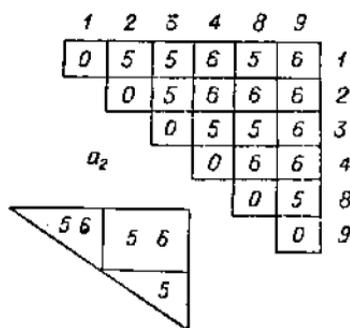
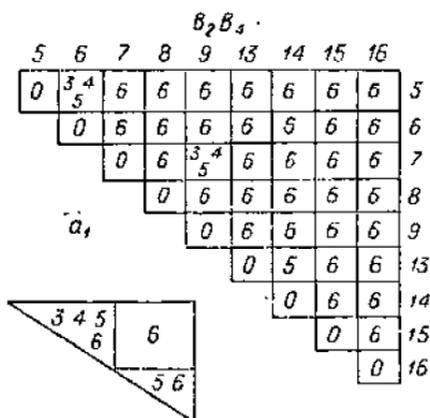
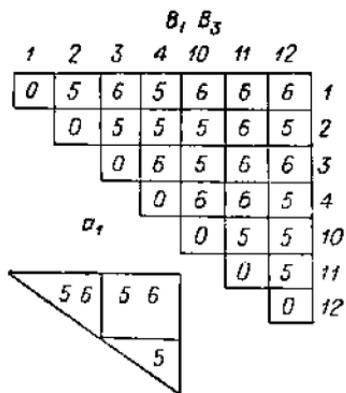


Рис. 23. Показатели взаимоотношений тел  $b$ .

Рис. 24.

В настоящем разделе делается попытка выяснить реальные возможности объективного решения такой задачи. Заметим, что сейчас уже известны попытки выделения таких ассоциаций с помощью математических методов [11, 66].

Рассмотрим существующие представления о том, что же такое ПА, с целью выделить общее логическое существо задач по их обособлению. Обзор геологической литературы позволяет сказать лишь следующее: ПА — это группа объектов, связанных такими отношениями, которые удовлетворяют нашим представлениям о парагенезисе, при условии, что эти представления расширены на тот случай, когда имеют уже не пару, а  $n$  объектов.

Нами было показано, что даже в том случае, когда имеют дело с парой объектов, определение понятия «парагенезис» страдает неопределенностью. Естественно считать, что степень неопределенности представлений о парагенезисе при переходе от пары объектов к множеству возрастает. Возникает возможность самых различных трактовок понятия о ПА. Эти трактовки, как правило, получают путем наложения на общее понятие о ПА различных требований, которым должны удовлетворять объекты такой ассоциации.

Например, иногда о парагенезисе считают возможным говорить уже тогда, когда каким-либо образом удалось упорядочить рассматриваемые объекты. Скажем, рассматривая множество штурфов некоторой горной породы, содержащей вкрапленность рудных минералов, мы упорядочили список этих минералов по очередности их возникновения на основе классификации взаимоотношений; получилась последовательность: плагиоклаз, кварц, амфибол, биотит, пирит, халькопирит, молибденит, пирит, флюорит, малахит, лимониты. В принципе можно считать, что этот ряд в целом образует ПА «оруденелый гранит». Задавшись количественными соотношениями минералов, здесь можно увидеть уже две ПА — «породообразующую» и «рудную». Наконец, предъявляя членам ПА требование, чтобы они возникали одновременно, вследствие «одного процесса» или в единообразных условиях, и задавшись классификацией этих условий, процессов, а также сформулировав требование одновременности, мы разделим ПА «оруденелый гранит» на три ПА: породообразующие минералы, рудные первичные, рудные вторичные и т. д.

Из сказанного затруднительно сделать какие-либо определенные и универсально применимые выводы о том, что же все-таки представляет собой ПА.

Отметим, что в геологической литературе при попытках уточнить понятие ПА на случай  $n$  объектов, как правило, опе-

рируют представлениями о процессах, времени образования и т. д., т. е. вводят всевозможные гипотетические посредники связи, но не обращаются к формальному определению ПА на случай пары объектов. По-видимому, это существенная методическая ошибка.

Было бы естественно сначала вывести понятие о парагенетической ассоциации, состоящей из  $n$  геологических тел, через понятие ПА, состоящей из одной пары. В дальнейшем мы так и поступим. Сейчас же нам важно отметить, что в общем плане ПА представляет собой собрание, группу объектов, удовлетворяющую некоторым условиям. Эти условия, помимо всего прочего, всегда сводятся к тому, что объединенные в группу объекты «находятся в парагенезисе». Такие группы отделяются от тех групп, собраний объектов, которые этим условиям не удовлетворяют. Таким образом, можно утверждать, что задача выделения ПА является специфической задачей группирования [21]. Специфика ее определяется спецификой критериев выбора из всевозможных вариантов представления множества объектов группами одного варианта такого представления. Возможно также, что эта специфика выражается и в некоторых своеобразных чертах исходного множества объектов, и в особенностях алгоритмов, позволяющих получать нужные группы.

Прежде чем пытаться конструировать определения для ПА, уместно разобраться в характере задач группирования.

### **Общие представления о задачах группирования**

Задачи группирования, по-видимому, являются центральными в классификационных проблемах и тесно связаны с вопросами выработки понятий [21, 71, 88]. Несмотря на то, что они имеют огромное теоретическое и практическое значение во всех областях естествознания, в том числе в геологии, долгое время они фактически не разрабатывались. Лишь сравнительно недавно, лет десять назад, на эти вопросы обратили внимание специалисты, занимающиеся задачами распознавания образов [8, 13, 29, 71]. Сейчас в литературе эти задачи фигурируют под различными названиями: построение видовых классификаций [30], обобщение классификации-перечисления [21, 29], группирование [8, 22, 58, 71], таксономия [36, 72], разграничение [66], обучение без учителя [13, 34], самообучение [85], кластер-анализ [97] и пр. Этот разнобой в названиях свидетельствует

отом, что в задачах группирования пока еще не удалось достичь должной ясности.

Приведем некоторые соображения, иллюстрирующие значение процедур группирования. Опираясь, например, на работы [52, 40], можно показать, что система химических элементов Д. И. Менделеева была получена им на основе одного из алгоритмов группирования, использованного для объединения в группы химических элементов, предварительно упорядоченных по атомному весу, в предположении, что множество известных в момент составления таблицы элементов является подмножеством всех химических элементов. С этих позиций легко истолковать короткую и длинную форму таблицы Д. И. Менделеева и наметить существование других форм, удобных для различных целей.

В [22] показано, что формулировка понятия о некотором фиксированном классе объектов при условии, что нам предъявлены некоторые представители этого класса, может быть сведена к процедуре группирования. Выше говорилось, что задача выделения ПА сводится к задаче группирования. К задаче группирования сводятся и задачи районирования, корреляции разрезов, корреляции волн, выделения фаций и формаций.

Грубо говоря, под задачей группирования понимают следующее. Пусть рассматривается некоторое конечное множество объектов. Часто при изучении и сопоставлении этого множества объектов с другими множествами того же типа оказывается невыгодным рассматривать его как единое целое (слишком разнообразные объекты входят в него), а также состоящим из отдельных объектов (слишком много объектов входит в него и от множества к множеству это число сильно варьирует). Возникает идея представить это множество объектов в упомянутых выше целях в виде некоторого (небольшого, заранее фиксированного) числа особых (однородных, простых) групп объектов.

Такое представление множества объектов группами и называют группированием. Подобная задача группирования в терминах таксономии поясняется следующим образом: «Под задачей т а к с о н о м и и обычно понимают задачу поиска наилучшего в некотором смысле разбиения множества объектов на таксоны в заданном пространстве признаков с помощью решающих функций определенного типа» [36].

Желая охватить с единых позиций самые различные подходы к задачам группирования, дадим им следующую формулировку. Пусть заданы множество объектов  $A$ , система признаков  $U$ , определенных на  $A$  и, быть может, система пространственных отношений  $\langle R \rangle$  на  $A^n$ . Положим, что имеются две классифика-

ции-перечисления  $[A' : U]$  с классами неотличимости  $A_{j_1}, A_{j_2}, \dots, A_{j_M}$  и  $[A : U]$  с классами неотличимости  $A_1, A_2, \dots, A_N$ . В предположении, что задано  $\rho(A_i, A_j)$  — «расстояние» между классами неотличимости  $A_i$  и  $A_j$ , а также, может быть, и  $\rho(B_\alpha, B_\beta)$  — «расстояние» между  $B_\alpha$  и  $B_\beta$  — непересекающимися группами классов неотличимости  $A_i$ , требуется построить разбиение множества объектов  $a \in A$ , принадлежащих к классам неотличимости классификации  $[A' : U]$  или  $[A : U]$ , на совокупность непересекающихся групп объектов  $a \in A$ , а именно  $B_1, B_2, \dots, B_r$ . Эти группы должны удовлетворять определенным требованиям, которые не опираются на какую-либо систему признаков  $W \in U$ .

### Классификация-перечисление различных постановок задач группирования

В зависимости от того, что задается на множестве объектов  $A$ : только система признаков  $U$  или же эта система и система пространственных отношений  $\langle R \rangle$ , условимся говорить о двух типах задач группирования. Задачи первого типа назовем задачами группирования на «неупорядоченных» множествах, второго типа — задачами группирования на «упорядоченных» множествах.

Необходимость такого разделения задач группирования связана с тем, что в геологии приходится иметь дело с двумя типами объектов: объектами, которые вполне характеризуются точками в признаковом пространстве [21], и объектами-телами, которые характеризуются точками в признаковом пространстве и определенным расположением в геологическом пространстве [21, 23].

Задачи группирования в геологическом пространстве обладают специфическими чертами, обусловленными тем, что получаемые группы являются геологическими телами. Такие задачи рассматриваются, например, в [21, 66]. Именно эти задачи и представляют основной интерес с точки зрения парагенетического анализа. Однако можно показать, опираясь на [26], что для группирования на «пространственно упорядоченных» множествах могут быть использованы с некоторыми дополнениями любые алгоритмы группирования «пространственно неупорядоченных» множеств. Это позволяет нам рассматривать только задачи первого типа.

В зависимости от того, задается ли только «расстояние» между классами неотличимости  $\rho(A_i, A_j)$  или же задается и это «расстояние», и «расстояние» между непересекающимися группами классов  $\rho(B_\alpha, B_\beta)$ , условимся говорить о двух подтипах задач группирования. Задачи первого подтипа назовем неассоциативными, второго подтипа — ассоциативными.

Смотря по тому, какой объем намерены мы приписать тем группам, которые получим, будем различать два вида задач группирования. Если объем групп таков, что в них входят только те классы неотличимости, которые были представлены в экспериментальном материале, т. е.  $A_{j_1}, A_{j_2}, \dots, A_{j_M}$ , будем говорить о коллекционных задачах группирования. В тех же случаях, когда в группы входят не только те классы неотличимости, которые были представлены в материале обучения, но и те, которые в нем не были представлены, т. е.  $A_1, A_2, \dots, A_N$ , будем говорить о прогнозных задачах группирования.

Необходимость разделения задач группирования на подтипы обсуждается далее. Что же касается разделения этих задач на виды, то коллекционные и прогнозны группы выделяются с различными целями. Подчеркнем разницу между прогнозными задачами группирования [26] и задачами распознавания образов [8, 71]. В соответствии с [26] образом является такое множество объектов  $A' \subset A$ , описанное с точки зрения системы признаков  $U$ , которое является либо классом, либо подклассом неотличимости по системе признаков  $V$ . Для того чтобы проверить принадлежность объекта к образу  $A' \subset A$ , необходимо и достаточно дать его описание по системе признаков  $V$ . В соответствии со сказанным, группа является таким множеством объектов  $A' \subset A$ , описанных с точки зрения системы признаков  $U$ , которое само удовлетворяет определенным требованиям. Для того чтобы проверить, принадлежит ли действительно объект  $a \in A$  к группе  $A' \subset A$ , необходимо и достаточно включить его в эту группу и выяснить, удовлетворяет ли теперь такая группа упомянутым требованиям.

В случае распознавания проверка проводится по свойствам объекта, в случае прогнозного группирования — по свойствам группы объектов. Для задач парагенетического анализа основной интерес представляют алгоритмы прогнозного группирования.

Кроме различных видов постановок задач группирования, можно различать модификации таких задач в зависимости от того, какие требования накладываются на представление группами. Анализ известных работ по группированию показывает, что в общем плане эти требования сводятся к различным «разумным» комбинациям, составленным из таких требований:

1) некоторое, определенное фиксированным способом расстояние между классами неотличимости  $A_i$  и  $A_j$  должно быть меньше заданной константы;

2) некоторое, определенное фиксированным способом расстояние между классами неотличимости  $A_i$  и  $A_j$ , которые принадлежат к одной и той же группе  $B_\gamma$ , должно быть меньше (как можно меньше) определенным способом найденного расстояния между группами  $B_\alpha$  и  $B_\beta$ ;

3) число групп  $B_\alpha$  должно быть равно (меньше, больше) заданной константы;

4) группы  $B_\alpha$  должны быть однородными с точки зрения некоторого критерия, опирающегося только на систему признаков  $U$  и плотность расположения точек, отвечающих  $A_i$ ;

5) группы  $B_\alpha$  должны обладать простой «формой»;

6) группы  $B_\alpha$  должны содержать объектов не меньше (не больше), чем заданная константа.

В качестве примера требований, накладываемых на группы, можно привести требования, использованные в работе [36] для построения функции, описывающей качество группирования: а) элементы группы должны составлять единый кусок последовательности исходного множества точек; б) расстояние между элементами группы должно быть достаточно мало; в) группа должна быть ограничена участками гиперсферы радиуса  $T$ ; г) расстояние между группами должно быть достаточно велико.

Разумеется, к группам могут предъявляться и другие требования. Например, в одной из работ, связанных с задачами направления экспериментов [24], речь идет о разбиении множества на две группы. Одна должна быть минимальной по объему, и мера сходства любого объекта второй группы с каким-либо объектом первой должна быть больше заданной константы.

Естественно, при формулировке требований, предъявляемых к группам, следует исходить не только из тех соображений, которые вытекают из содержательных условий задачи, но и из тех, что связаны с вопросами существования и единственности ее решения. Последнее требует, кроме прочего, формальной записи всех высказываний.

Во многих случаях представляет интерес рассмотреть и различные варианты постановки задач группирования. Эти варианты целесообразно выделять в зависимости от того, как описываются отдельные классы неотличимости (объекты), объединяемые в группы, и как определяется расстояние между ними и их группами. Следует заметить, что способ описания и способ определения расстояний оказываются зависимыми между собой: задание

способа описания значительно сокращает возможности выбора способов определения расстояний. Чаще всего используются расстояния по Хеммингу [13, 26, 34, 94], Евклиду [10, 30, 36, 71], Минковскому [26], корреляционные расстояния [67].

### Определения понятия о парагенетической ассоциации (ПА)

Вначале напомним определения понятия о компонентах связности, которые нам понадобятся снова (см. определения № 1—4). Рассмотрим множество объектов  $A$ . Пусть  $a_i$  и  $a_j$  — два объекта множества  $A$ ,  $\sigma(i, j)$  — некоторая функция, определенная на объектах. Говорят, что объекты  $a_i$  и  $a_j$  связаны, если  $\sigma(i, j) \geq \sigma_0$ . Совокупность объектов  $A' \subset A$  называется *компонентой связности*, если для любой пары объектов  $a_i$  и  $a_j$  из  $A'$  в  $A'$  найдутся такие объекты  $a_{p1}, a_{p2}, \dots, a_{pi}$ , что пары объектов  $(a_j, a_{p1}), (a_{p1}, a_{p2}), \dots, (a_{pi}, a_i)$  будут связаны. Совокупность объектов  $A'' \subset A$  называется *тесной компонентой связности*, если любая пара объектов  $a_i$  и  $a_j$  из  $A''$  оказывается связанной между собой [21].

Теперь обратимся к вопросу определения ПА. Пусть  $B$  — фиксированное множество геологических тел,  $[B : W]$  — классификация-перечисление этих тел с классами неотличимости  $B_1, B_2, \dots, B_M$ . Рассмотрим два геологических тела  $b_p$  и  $b_q$ , относящихся к классам неотличимости  $B_{jp}$  и  $B_{jq}$ .

**О п р е д е л е н и е 19.** Два тела  $b_p$  и  $b_q$  будут называться парагенетически связанными, если между соответствующими им классами  $B_p$  и  $B_q$  имеет место парагенезис (определенный путем описанной выше процедуры).

Таким образом, парагенетическая связь всегда определяется на классах, т. е. в признаковом пространстве, парагенетические же ассоциации выделяются не только в признаковом, но и в геологическом пространстве, как односвязные области (см. выше). Последнее требует введения понятия о соседстве. Приведем еще раз это понятие, упоминавшееся ранее (см. определение 5).

**О п р е д е л е н и е 20.** Два геологических тела  $b_p$  и  $b_q$  называются ближайшими соседями, если они имеют общую границу или существует такое тело  $b_s$ , которое включает в себя одно из них (скажем,  $b_q$ ), имея общую границу с другим телом ( $b_p$ ).

Говоря о выделении ПА в геологическом пространстве, следует предусмотреть 2 варианта: 1) ПА — тесная компонента связности и 2) ПА — компонента связности. Возникают раз-

| Парагенезис         | Есть | Есть | Нет  | Нет |
|---------------------|------|------|------|-----|
| Ближайшее соседство | Есть | Нет  | Есть | Нет |

личные варианты сочетаний парагенетической связности и распределения тел в пространстве. Это видно из рассмотрения одной пары тел, причем возможно 4 варианта (табл. 10).

Если рассматривать не одну, а множество пар тел, то, исходя из возможных сочетаний парагенезиса и соседства, можно сформулировать следующие определения парагенетических ассоциаций.

**О п р е д е л е н и е 2 1.** Совокупность геологических тел  $\{b\}$  будет называться *парагенетической ассоциацией первого рода*, если она:

а) представляет собой компоненту связности с точки зрения критерия  $\sigma(ij) \geq \sigma_0$ , где  $\sigma(ij) \geq \sigma_0$  тогда, когда геологические тела  $b_i$  и  $b_j$  являются ближайшими соседями, т. е. представляют собой пространственную компоненту связности;

б) представляет собой тесную компоненту связности с точки зрения критерия  $\sigma(ij) \geq \sigma_0$ , где  $\sigma(ij) \geq \sigma_0$  тогда, когда геологические тела  $b_i$  и  $b_j$  парагенетически связаны.

Иначе говоря, в ПА первого рода все пары тел непосредственно связаны парагенетически, а кроме того, все пары либо являются ближайшими соседями, либо соединяются в пространстве через посредников. На рис. 25 показана схема ПА первого рода вместе с матрицей взаимоотношений классов.

**О п р е д е л е н и е 2 2.** Совокупность геологических тел  $\{b\}$  будет называться *парагенетической ассоциацией второго рода*, если она:

а) представляет собой пространственную компоненту связности,

б) представляет собой парагенетическую компоненту связности.

В ПА второго рода все пары тел связаны парагенетически, но часть из них парагенетически связана непосредственно, а часть через посредников. В пространстве либо все пары тел — ближайшие соседи, либо соединяются через посредников. На рис. 26 показана схема двух ПА второго рода.

**О п р е д е л е н и е 2 3.** Совокупность геологических тел будет называться *парагенетической ассоциацией третьего рода*,

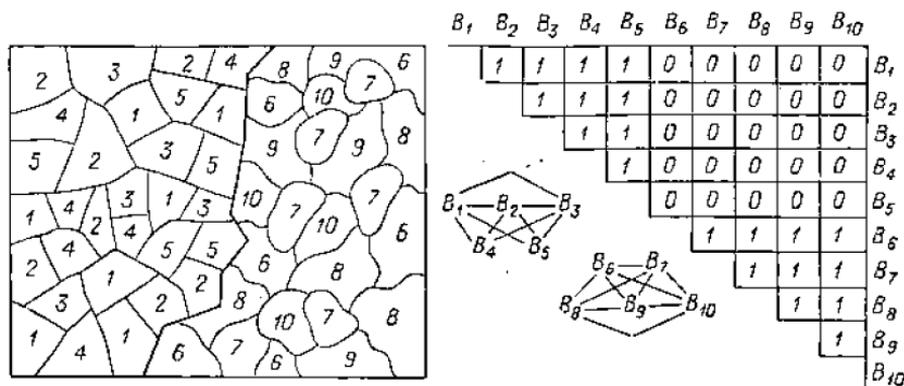


Рис. 25. Совокупность двух парагенетических ассоциаций первого рода.

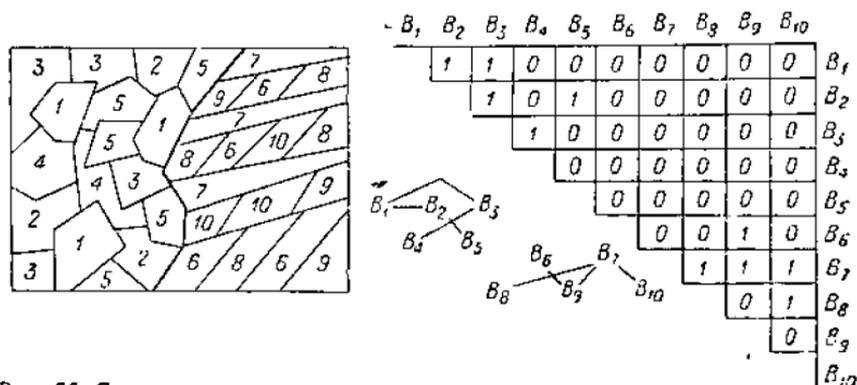


Рис. 26. Совокупность двух парагенетических ассоциаций второго рода.

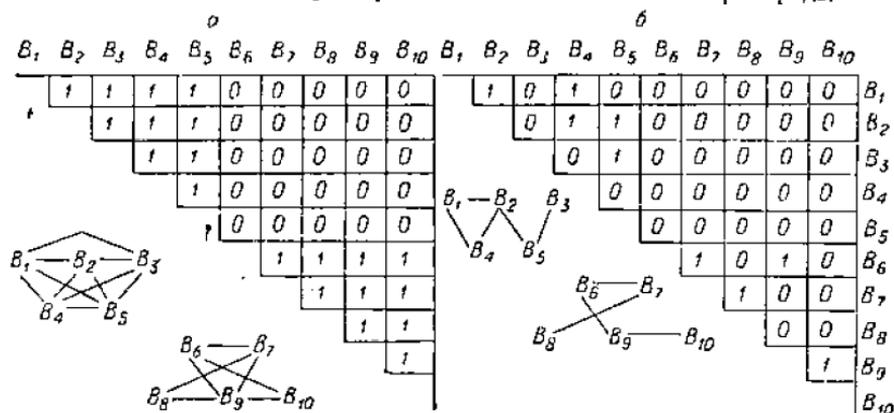


Рис. 27. Пример парагенетической ассоциации третьего рода (матрица а) и четвертого рода (матрица б)

если она представляет собой тесную парагенетическую компоненту связности.

В ПА третьего рода все пары тел непосредственно связаны парагенетически, но все тела могут и не являться соседями, т. е. эта ПА выделена только в признаковом пространстве и ее можно пояснять конкретно только с помощью матриц взаимоотношений классов (рис. 27, а).

**О п р е д е л е н и е 24.** Совокупность геологических тел будет называться *парагенетической ассоциацией четвертого рода*, если она представляет собой парагенетическую компоненту связности.

В ПА четвертого рода часть пар связана парагенетически непосредственно, часть же — через посредников; все тела могут не являться соседями (см. рис. 27, б).

Заметим, что всегда, когда имеется возможность в пределах конкретной области выделить ПА первого и второго рода, имеется возможность выделить и ПА третьего и четвертого рода. Однако могут быть случаи, когда можно выделить ПА третьего и четвертого рода, но нельзя выделить ПА первого и второго рода.

Из приведенных определений вытекают следующие следствия.

1. Выделение ПА можно проводить двумя способами: по определению и за счет косвенных процедур. Выделяя ПА по определению, мы должны считать известным или установить факт наличия связи, силу и форму ее между парами классов элементарных объектов. Опираясь на эти данные, мы должны выделить соответствующие компоненты, которые образуют парагенетические ассоциации. Только уже имея в своем распоряжении некоторое количество ПА, выделенных таким способом, можно поставить вопрос о выделении этих объектов с помощью косвенной процедуры, о чем будет сказано в следующем разделе.

2. Результат выделения ПА путем применения алгоритмов группирования не должен зависеть от порядка группирования тел  $b \in B$ .

3. Если  $G'$  — некоторая область геологического пространства, представленная в виде ПА, то совокупность внутренних (т. е. не имеющих общих границ с областью  $G'$ ) ПА области  $G'$  должна оставаться одной и той же, независимо от возможности изменить положение границ  $G'$ , т. е. независимо от того, какую область  $G \supset G'$  мы представляем в виде ПА.

**Вопросы существования  
и единственности решения задачи  
о выделении парагенетических ассоциаций**

Итак, ПА могут выделяться двумя способами: по определению и за счет косвенных процедур. Когда ПА выделяются по определению, дело сводится к выделению тесных компонент связности и компонент связности. Как следует из [26], задачи выделения таких компонент имеют решение, и притом единственное. Когда речь идет о выделении ПА вторым способом, рассматривается область  $g \in G$ , которая представлена совокупностью геологических тел  $b \in B$ . Выбирается подобласть  $g' \subset g$ , которая представляется в виде совокупности ПА  $a \in A$  при условии, что эти ассоциации выделяются первым способом. Строится некоторый алгоритм группирования геологических тел  $b \in B$ . Этот алгоритм, во-первых, должен удовлетворять требованиям, которые вытекают из ранее полученных определений ПА; во-вторых, для подобласти  $g' \subset g$  дается такое представление, которое с точки зрения некоторого критерия оказывается близким к представлению  $g' \subset g$ , получаемому при использовании первого способа выделения ПА. Затем построенный алгоритм группирования геологических тел  $b \in B$  применяется для всей области  $g \in G$ .

Как можно убедиться, для такого выделения ПА нельзя использовать а с с о ц и а т и в н ы е алгоритмы группирования — использующие расстояния не только между парами объектов, но и между группами, так как результат их действия зависит от размеров рассматриваемой области  $g \in G$ . Именно по этой причине нельзя для выделения ПА использовать алгоритм, предложенный в [66], когда ПА выделяется в качестве целостного объекта, например в качестве «парагенерации» В. И. Драгунова [35]. Результаты применения алгоритма Д. А. Родионова [66], например при разбиении колонки, существенно зависят от размеров колонки. При изменении этих размеров меняется и положение границ, разделяющих ассоциации.

Естественно, при рассмотрении задач о выделении ПА только косвенным способом никаких общих суждений о существовании и единственности решения этих задач сделать нельзя [25].

Построение алгоритмов косвенного выделения ПА связано с трудностями, общий характер которых можно пояснить следующим образным примером. Пусть нам задана слитная последовательность знаков (например, букв). Требуется разделить ее так, чтобы каждая группа знаков, за исключением, быть может, начальной и конечной, имела бы такую меру сходства с какой-либо одной группой знаков из заранее установленной совокуп-



ситуации мы и находимся при изучении геологических тел), то возможности разнообразить группирование многократно расширяются.

Рассматривая несколько таких последовательностей, мы будем объявлять «закономерно построенными» те сочетания «букв», которые повторяются «наиболее часто». Но совершенно очевидно, что эта частота существенно зависит от объема выборок. При использовании критерия частотной интерпретации интересующие нас «слова» могут оказаться разбитыми на «слоги», которые будут встречаться чаще, чем само «слово», частью которого они являются. Так, в данном примере уже в одной этой последовательности сочетание НИК (вариант 4) встречается два раза: оба раза сочетания НИК окружены словами, имеющими смысл в русском языке; все это толкает к принятию четвертого варианта разбиения заданной совокупности, содержащего «часто повторяющееся» (и, очевидно, «закономерное»!) сочетание НИК, которое, как мы, однако, знаем, смысла в русском языке не имеет.

Поэтому надо считать, что критерий частоты встречаемости вообще-то можно использовать, но лишь как косвенный метод выделения ПА и, кроме того, по-видимому, в крайне редких случаях. При этом опять-таки необходимо иметь определение ПА, дающее способ их непосредственного выделения, и показать на достаточно большом материале, что критерий частоты встречаемости сочетаний элементов дает такой же результат, что и определение.

Можно убедиться, что в установившейся практике геологи поступают как раз так, как у нас получился вариант с повторяющимся НИК. Они выбирают из природных последовательностей некоторых элементов какие-то повторяющиеся (и обычно наглядно, чувственно воспринимающиеся) сочетания элементов, объявляя их «закономерными», «естественными». Однако заглянуть в природный «словарь» и проверить «смысл» построения нет возможности. Тогда данную «закономерность» начинают обосновывать генетически, что совершенно недопустимо.

Таким образом, критерий частоты встречаемости обязательно должен дополняться некоторым другим. Например, если мы имеем множество колонок, в которых чередуются, скажем, три породы (рис. 28), то, не задаваясь дополнительными требованиями («чтобы число однородных сочетаний слоев было максимальным», или «минимальным, но обязательно с песчаником в основании», или «чтобы

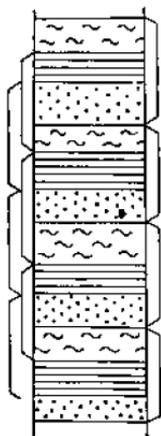


Рис. 28.

в сочетании наблюдалось уменьшение размеров частиц снизу вверх и чтобы сочетание состояло из всех видов элементов»... и т. п.), получим три варианта группирования. И на  $n$  аналогичных колонок все три варианта встретятся с одинаковой частотой, а если и не с одинаковой, то это еще не значит, что более распространенный вариант имеет большее право называться парагенетическим.

Тот же факт, что критерий частоты встречаемости ко всему еще и неустойчив (зависит от выборки), делает его использование невыгодным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложены новые схемы фациального, формационного и парагенетического анализов, которые получены на основе известных геологических приемов исследования с привлечением современных теоретико-множественных представлений, а также частных результатов корреляционно-регрессионного анализа, группирования и распознавания.

Показано, что трудности практического применения плодотворных самих по себе идей фациального, формационного и парагенетического анализов обусловлены не сложностью самих геологических объектов, а ошибочностью основных методологических посылок и гипотез, на которых строились эти приемы, в частности гипотез о существовании «естественного» и «универсального» представления изучаемых объектов.

В основу работы были положены следующие методологические предпосылки: 1) уточнение и развитие геологических понятий может быть успешным, если предварительно выяснить их целевое назначение; 2) формулировки геологических понятий должны удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к научным понятиям, подробно разработанным в теории познания; 3) геологические понятия могут быть рекомендованы в качестве инструмента научных исследований только тогда, когда на их основе можно построить алгоритмические схемы для достижения тех целей, во имя которых и введены эти понятия. Последнее обязательно должно быть продемонстрировано на специально построенных модельных примерах.

Установлено, что цель фациального анализа заключается в определении условий и обстановок образования сложных геологических тел по свойствам слагающих их элементарных тел. Целью формационного анализа является определение свойств сложных геологических тел по свойствам и взаимоотношениям элементарных тел. Парагенетический же анализ преследует цель определения наличия, количества и расположения одних элементарных тел по присутствию, количеству и расположению других элементарных тел.

По своему логическому существу задачи фациального анализа сводятся к задачам группирования и распознавания геологических тел. К таким же задачам сводятся и задачи формационного анализа. В этом заключено основное сходство рассматриваемых методов исследования. Различие между ними в том, что при формационном анализе мы имеем дело со сложным диагнозом, при фациальном же анализе сложный диагноз дополняется ретроспективным прогнозом. Поэтому результаты формационного анализа в принципе могут быть проверены экспериментально. Результаты же фациальных построений так проверить нельзя.

При парагенетическом анализе рассматриваются две задачи. Первая связана с установлением парагенетических связей между классами геологических тел, вторая — с выделением парагенетических ассоциаций (геологических тел и классов тел). По своему логическому существу первая задача близка к задачам корреляционно-регрессионного анализа, вторая сводится к задачам группирования.

Следует подчеркнуть, что общей задачей для всех трех методов является задача группирования.

Построенные в данной работе определения фации, формации и парагенезиса позволили получить алгоритмические схемы интересующих нас анализов, рассмотреть вопросы о том, существуют ли решения задач этих анализов и решаются ли эти задачи однозначно. Кроме того, из известных алгоритмов определения связи, ее формы и силы, из известных алгоритмов группирования и распознавания выбраны те, которые отвечают геологической специфике рассматриваемых задач.

Из этих алгоритмических схем вытекает важный вывод о том, что в общем случае выделение фаций и формаций нельзя сводить к выделению парагенетических ассоциаций. Поэтому нельзя пытаться строить определение понятия о формациях, опираясь на понятие о парагенезисе, как это нередко еще принято делать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С. А. 1968. Статистическое исследование зависимостей. М., «Металлургия».
2. Алешин С. М. 1967. К вопросу о ложной корреляции. — Геохимия, № 4.
3. Амстердамский С. 1967. Об объективных интерпретациях понятия вероятности. — В кн. «Закон, необходимость, вероятность». М., «Прогресс».
4. Бакушинский А. Б., Власов В. К. 1968. Элементы высшей математики и численных методов. М., «Просвещение».
5. Бергер М. Г. 1968. Принципы выделения и классификации геологических формаций и соотношение их с фациями. — В сб. «Геологические формации» (материалы к совещанию). Л., ВСЕГЕИ.
6. Бетехин А. Г. 1949. Понятие о парагенезисе минералов. — Изв. АН СССР, сер. геол., № 2.
7. Бетехин А. Г. 1961. Курс минералогии. Изд. 3-е. М., Госгеолтехиздат.
8. Бонгард М. М. 1967. Проблема узнавания. М., «Наука».
9. Бондаренко В. Н. 1967. Статистические методы изучения вулканических комплексов. М., «Недра».
10. Браверман Э. М. 1966. Метод потенциальных функций в задаче обучения машины распознавания образов без учителя. — Автоматика и телемеханика, № 11.
11. Бурков Ю. К., Певзнер В. С. 1963. Корреляционный анализ поведения химических компонентов при корообразовании. — В сб. «Материалы семинара по геохимии гипергенеза и коры выветривания». Минск.
12. Ван дер Варден Б. Л. 1960. Математическая статистика. М., ИЛ.
13. Васильев В. И. 1969. Распознающие системы (справочник). Киев, «Наукова думка».
14. Вассоевич Н. Б. 1948. Эволюция представлений о геологических фациях. — Литологический сборник, № 1. М., Гостоптехиздат.
15. Вассоевич Н. Б. 1966. История представлений о геологических формациях (геогенерациях). — В сб. «Осадочные и вулканогенные формации». Л., «Недра».
16. Вентцель Е. С. 1964. Теория вероятностей. М., «Наука».
17. Вернадский В. И. 1923. История минералов земной коры, т. I, вып. I. Петроград.
- 18 а. Вистелиус А. Б. 1948. Мера связи между членами парагенезиса и методы ее изучения. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, ч. 77, № 2.
18. Вистелиус А. Б. 1956. Проблема изучения связи в минералогии и петрографии. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, ч. 85, вып. I.
19. Вистелиус А. Б. 1963. Проблемы математической геологии. Модели процессов и парагенетический анализ. — Геол. и геофиз., № 7.
20. Вистелиус А. Б. 1969. Математическая геология (состояние, пер-

- спективы). — В сб. «Математическая геология». Реферативный систематический указатель. Л., БАН СССР.
21. Воронин Ю. А. и др. 1967. Геология и математика. Новосибирск.
  22. Воронин Ю. А., Каратаева Г. Н. 1967. Об одном возможном формальном способе определения голотипа и его использование для диагноза (распознавания). — Геол. и геофиз., № 5.
  23. Воронин Ю. А., Еганов Э. А. 1968. 1) Универсальная схема аналитического описания сложных геологических тел. 2) О процедурах сопоставления сложных геологических тел на основе их аналитического описания. — В сб. «Математические методы в геологии и геофизике». Тр. СНИИГГиМС, вып. 79.
  24. Воронин Ю. А., Эпштейн Е. Н. 1968. Алгоритм квазиэффективной экспериментальной проверки однородной элементарной компоненты. — В сб. «Математические методы в геологии и геофизике». Тр. СНИИГГиМС, вып. 79. Новосибирск.
  25. Воронин Ю. А., Еганов Э. А. 1969. Вопросы теории формационного анализа. — В сб. «Сравнительный анализ осадочных формаций». Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР, вып. 83. М., «Наука».
  26. Воронин Ю. А., Каратаева Г. Н., Сигал Л. А., Эпштейн Е. Н. 1968. Программы «голотип» для решения задач распознавания образов. Алма-Ата, изд. Южно-Казахстанского геол. упр.
  27. Воронин Ю. А., Нурпенсов М. Д. 1968. Об одном новом способе описания и классифицирования плоских геологических тел по ориентации, форме и составу. — В сб. «Математические методы в геологии и геофизике». Тр. СНИИГГиМС, вып. 79. Новосибирск.
  28. Воронин Ю. А. 1969. Теоретические основы описания и классифицирования геологических тел. Автореф. дисс. Новосибирск.
  29. Воронин Ю. А. и др. 1970. Геология и математика. Задачи диагноза и распознавания в геологии, геохимии и математике. Новосибирск.
  30. Гольдий С. В. 1964. Видовые классификации в метрических признаковых пространствах. — В сб. «Опыт анализа и построения геологических классификаций на основе представлений конечной математики». Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР. Новосибирск.
  31. Горский Д. П. 1966. Проблемы общей методологии наук и диалектической логики. М., «Мысль».
  32. Груза В. В. 1969. Ложная корреляция и процентные пересчеты в геохимии. — Сов. геол., № 11.
  33. Добрецов Н. Л., Маковская Н. С. 1967. Применение вероятностных статистических методов в геологии. Новосибирск, изд. Новосибир. гос. ун-та.
  34. Дорофеев А. А. 1966. Алгоритмы обучения машин распознаванию образов без учителя, основанные на методе потенциальных функций. — Автоматика и телемеханика, № 10.
  35. Драгунов В. И. 1966. К терминологии формационных подразделений. — В сб. «Осадочные и вулканогенные формации». Л., «Недра».
  36. Елкина В. Н., Загоруйко Н. Г. 1969. Количественные критерии качества таксономии и их использование в процессе принятия решений. — В сб. «Вычислительные системы». Тр. ИМ СО АН СССР, вып. 36. Новосибирск, «Наука».
  37. Жариков В. А. 1968. Парагенезис минералов, фации и формации. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, II сер., № 97, вып. IV.
  38. Жемчужников Ю. А. 1948. Что такое фация? — Литологический сборник, № 1. М., Гостоптехиздат.
  39. Карнап Р. 1953. Значение и необходимость. М., ИЛ.

- Кедров Б. М., Трифонов Д. Н. 1969. Закон периодичности и химические элементы. М., «Наука».
11. Клаус Г. 1960. Введение в формальную логику. М., ИЛ.
  12. Коржинский Д. С. 1957. Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов. М., Изд-во АН СССР.
  13. Крамбейн У., Грейбилл Ф. 1969. Статистические модели в геологии. М., «Мир».
  14. Крашенинников Г. Ф. 1962. Фации, генетические типы и формации. — Изв. АН СССР, сер. геол., № 8.
  15. Крашенинников Г. Ф. 1968. О понимании термина «фация» и его генетическом содержании. — Бюлл. МОИП, т. XIII, сер. геол., № 2.
  16. Крашенинников Г. Ф. 1968. Еще раз о понятии «фация». — Вестн. МГУ, № 3.
  17. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. 1939. Проблемы магмы. Статья 2-я. — Изв. АН СССР, сер. геол., № 1.
  18. Леонов Г. П. 1956. Историческая геология. М., изд. МГУ.
  19. Ляник Ю. В. 1962. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М.
  20. Лукомский Я. И. 1958. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. М., Госстатиздат.
  21. Маркевич В. П. 1957. Понятие «фация». М., Изд-во АН СССР.
  22. Менделеев Д. И. 1946. Периодическая законность для химических элементов. — Научный архив, т. I. М., Изд-во АН СССР.
  23. Миллер Р. Л., Кандж. С. 1965. Статистический анализ в геологических науках. М., «Мир».
  24. Морозов К. Б. 1969. Математическое моделирование в научном познании. М., «Мысль».
  25. Мур Р. 1953. Значение фации. — В сб. «Осадочные фации в геологической истории». М., ИЛ.
  26. Наливкин Д. В. 1933. Учение о фациях. Изд. 2-е. Л. — М.
  27. Наливкин Д. В. 1955. Учение о фациях. Т. I, II. М.
  28. Наливкин Д. В. 1956. То же, т. II.
  29. Носков В. Н. 1966. Некоторые математические задачи оптимального разбиения деталей на группы. — В сб. «Дискретный анализ». Тр. ИМ СО АН СССР, вып. 6. Новосибирск, «Наука».
  30. О международном коллоквиуме по проблеме минеральных парагенезисов. 1967. — Геол. рудных месторождений, № 1.
  31. Парк И. Ф., Мак-Дормид Р. А. 1966. Рудная минералогия. М., «Мир».
  32. Петровская Н. В. 1967. О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация». — Геол. рудных месторождений, № 2.
  33. Попов В. И. 1959. Формации — естественно-исторические сообщества генетически связанных сопряженных горных пород. Вып. 1 и 2. Самарканд.
  34. Пустыльник Е. И. 1968. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., «Наука».
  35. Раузер-Черноусова Д. М. 1950. Фации верхнекаменноугольных и артинских отложений Стерлитамакско-Ишимбайского Приуралья. Тр. ГИН, вып. 119, геол. сер. (43). М., Изд-во АН СССР.
  36. Ревизин И. И. 1960. О логической форме лингвистических определений. — В сб. «Применение логики в науке и технике». М., Изд-во АН СССР.
  37. Родионов Д. А. 1968. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., «Недра».
  38. Розовский Л. Б. 1969. Введение в теорию геологического подобию и моделирования. М., «Недра».

68. Рухия Л. Б. 1953. Основы литологии. М., Гостоптехиздат.
69. Сарманов О. В., Вистеллиус А. Б. 1959. О корреляции между процентными величинами. — Докл. АН СССР, т. 126, № 1.
70. Сарманов О. В. 1961. О ложной корреляции между случайными величинами. — Тр. МИ АН СССР, 64. М., Изд-во АН СССР.
71. Себастиан Г. 1965. Процессы принятия решений при распознавании образов. Киев, «Техника».
72. Сокэл Р. 1968. Нумерическая таксономия: методы и современное развитие. — Общая биология, № 3.
73. Страхов Н. М. 1956. Типы осадочного процесса и формации осадочных пород. Статьи 1-я и 2-я. — Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 и 8.
74. Супнес П., Зинес Дж. 1967. Основы теории изменений. — В сб. «Психологические измерения». М., «Мир».
75. Уилкс С. 1967. Математическая статистика. М., «Наука».
76. Урбах В. Ю. 1963. Математическая статистика для медиков и биологов. М., Изд-во АН СССР.
77. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М., «Мир».
78. Ферсман А. Е. 1922. Геохимия России. М., Науч. хим.-техн. изд-во.
79. Ферсман А. Е. 1937. Геохимия, т. 3. М., Изд-во АН СССР.
80. Фролов В. Т. 1966. К вопросу о понятиях «фация» и «фациальный анализ». — Вестн. МГУ, сер. IV, № 3.
81. Хаин В. Е. 1954. Геотектонические основы поисков нефти. Баку, Азнефтеиздат.
82. Хан Г., Шапиро С. 1969. Статистические модели в инженерных задачах. М., «Мир».
83. Хемминг Р. В. 1968. Численные методы. М., «Наука».
84. Херасков Н. П. 1952. Геологические формации (опыт определения). — Бюлл. МОИП, отд. геол., т. XXVII (5).
85. Цыпкин Я. З. 1966. Адаптация, обучение и самообучение в автоматических системах. — Автоматика и телемеханика, № 1.
86. Чупров А. А. 1960. Основные проблемы теории корреляции. М., Госстатиздат ЦСУ СССР.
87. Шанцер Е. В. 1966. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. — Тр. ГИН, вып. 161. М., «Наука».
88. Шараров И. П. 1965. Применение математической статистики в геологии. М., «Недра».
89. Шатский Н. С. 1955. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей. — В сб. «Совещание по осадочным породам», вып. 2. М., Изд-во АН СССР.
90. Шатский Н. С. 1960. Парагенезы осадочных и вулканогенных пород и формаций. — Изв. АН СССР, сер. геол., № 5.
91. Шаумян С. К. 1960. Операциональные определения и их применение в фонологии. — В сб. «Применение логики в науке и технике». М.
92. Юл Дж. Э., Кендэл М. Дж. 1960. Теория статистики. М.
93. Angel F. 1969. Ziele und Aufgaben der Parageneseforschung. Freiburger Forschungshefte, v. 1, S 266.
94. Kendall M. G. 1948. The advanced Theory of Statistics. London.
95. Rösler J., Wolf M. 1969. Paragenesebegriff — Diskussion um seine Definition in der Gegenwart. Freiburger Forschungshefte, v. 1, S 266.
96. Василев Л. 1969. Върху понятието «парагенезис» и критериите за парагенност. «Списание Българ. геол. дружество», 30, № 1.
97. Wishart D. 1969. Fortran II. Programs for 8 methods of cluster analysis. Computer contribution. State Geological Survey, The University of Kansas, Lawrence.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Введение</i> . . . . .                                                                               | 5   |
| <b>Фаши и формации</b> . . . . .                                                                        | 8   |
| Современное понимание терминов «фациальный анализ» и «фация» . . . . .                                  | —   |
| Характер попыток их уточнения . . . . .                                                                 | —   |
| О необходимости формальных построений при уточнении понятий о фациях и фациальном анализе . . . . .     | 14  |
| Уточнение целей и задач фациального анализа . . . . .                                                   | 24  |
| Схема фациального анализа . . . . .                                                                     | 31  |
| Определение понятия «фация» . . . . .                                                                   | 45  |
| Фаши и формации (сравнение понятий) . . . . .                                                           | 49  |
| Замечание об обращенных видах фациального и формационного анализа . . . . .                             | 57  |
| <b>Парагенезис</b> . . . . .                                                                            | 58  |
| Общие методологические разработки, необходимые для совершенствования понятия о парагенезисе . . . . .   | —   |
| О значении для теоретической геологии понятия «парагенезис» . . . . .                                   | —   |
| Краткие данные о развитии представлений о парагенезисе . . . . .                                        | 59  |
| Особенности истолкований понятия «парагенезис» . . . . .                                                | 62  |
| Исходные методологические предпосылки для дальнейшей разработки понятия «парагенезис» . . . . .         | 64  |
| Общая схема процедуры уточнения понятия о парагенезисе . . . . .                                        | 68  |
| Обсуждение цели введения понятия о парагенезисе . . . . .                                               | 68  |
| Принятие способа введения понятия о парагенезисе . . . . .                                              | 70  |
| Вспомогательные понятия, необходимые для рассмотрения взаимосвязи между объектами . . . . .             | —   |
| Общие замечания . . . . .                                                                               | —   |
| Классификация-перечисление свойств и пар свойств . . . . .                                              | 71  |
| О построении теоретико-вероятностной интерпретации для переменной . . . . .                             | 74  |
| Зависимость и независимость свойств . . . . .                                                           | 76  |
| Практические критерии оценки связи между свойствами . . . . .                                           | 79  |
| Критерий наличия связи между двумя переменными . . . . .                                                | 81  |
| Описание формы связи между двумя переменными . . . . .                                                  | 82  |
| Описание силы связи между двумя переменными . . . . .                                                   | 83  |
| Об использовании результатов исследования связи между двумя переменными . . . . .                       | 84  |
| <b>Определение понятия о парагенезисе</b> . . . . .                                                     | 85  |
| Определение понятия базисной совокупности . . . . .                                                     | —   |
| Понятие несовместности и совместности классов . . . . .                                                 | 87  |
| Связь относительных количеств классов . . . . .                                                         | 88  |
| Пространственная связь классов . . . . .                                                                | 89  |
| Понятие о парагенетической связи одного класса с другим . . . . .                                       | 90  |
| Задачи парагенетического анализа . . . . .                                                              | 91  |
| Порядок действий по установлению парагенетической связи между классами. Пример . . . . .                | 92  |
| <b>Выделение парагенетических ассоциаций</b> . . . . .                                                  | 98  |
| Задача выделения парагенетических ассоциаций — задача группирования . . . . .                           | —   |
| Общие представления о задачах группирования . . . . .                                                   | 101 |
| Классификация-перечисление постановок задач группирования . . . . .                                     | 103 |
| Определение понятия о парагенетической ассоциации (ПА) . . . . .                                        | 106 |
| Вопросы существования и единственности решения задачи о выделении парагенетических ассоциаций . . . . . | 110 |
| <i>Заключение</i> . . . . .                                                                             | 114 |
| <i>Литература</i> . . . . .                                                                             | 116 |