Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1988, т. 115

УДК 556.31

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗАДАЧАХ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

В.В.АНТОНОВ

Под геологической средой будем понимать целостную природную систему, охватывающую земную кору и рассматриваемую с точки зрения практической инженерной деятельности. Границы системы условно можно провести по земной поверхности (верхняя граница) и по поверхности Мохоровичича (нижняя граница). Элементами рассматриваемой системы являются отдельные атомы и молекулы, минералы, горные породы, подземные воды и газы и пр. Геологическая среда как система является открытой, связанной с гидросферой и атмосферой, а также с техносферой и мантией.

Элементы, составляющие геологическую среду, имеют различные размеры, они разномасштабны. По своим размерам они образуют как бы некоторые уровни, когда элементы одного уровня в совокупности образуют элементы нового уровня (например, атомы и молекулы образуют минералы, минералы, в свою очередь, образуют горные породы и т.д.). Взаимодействие между отдельными элементами на одном уровне, а тем более на разных носит весьма сложный и до конца не изученный характер. Описание поведения системы „геологическая среда" крайне сложно и может быть выполнено лишь путем построения моделей данной системы.

Первая группа принципов:

1. Любая сколь угодно сложная природная система познаваема (принцип познаваемости).

2. Структурная организация природных систем включает в себя несколько взаимосвязанных уровней (принцип иерархии уровней).

3. Изучение сложных природных систем возможно путем построения упрощенных моделей этих систем (принцип моделирования).

4. Модели сложных систем сами должны представлять собой системы со всеми атрибутами, присущими системам (принцип системности моделей).

5. Модели сложных систем должны строится с учетом обратной связи как с самими решаемыми практическими задачами, так и с методами их решения (принцип обратной связи).

Геологическая среда, исследуемая с позиций решения физико-механических задач (перемещение отдельных элементов, деформации, тепло- и массоперенос в горных породах, фильтрация подземных вод и газов и пр.), может быть представлена моделью геологического пространства. При этом будем полагать, что земная кора, рассматриваемая в реальном физическом простран-

стве и времени, образует реальное геологическое пространство. Геологическое пространство является логической моделью геологической среды, и само образует сложную систему.

Для изучения реального геологического пространства введем понятие масштаба рассмотрения (изучения), под которым будем понимать характерный размер элемента, выделенного в пределах пространства. Масштаб рассмотрения можно связать, например, с размерами земных атомов и молекул. Можно, наоборот, соотносить его с геологическими образованиями много более крупными: минералами, горными породами, геосферами и т.д. Выбор масштаба рассмотрения определяется существом решаемой практической задачи и является отражением уровенной организации системы «геологическая среда".

Взяв конкретный масштаб рассмотрения, выделим в реальном геологическом пространстве некоторый элементарный объем, в пределах которого проведем определение какого-либо свойства (признака) или совокупности свойств (признаков) L (например, плотность, твердость, сжимаемость, проницаемость и т.п.). Значения свойства (совокупности свойств) L отнесем (припишем) к центру выделенного объема. Проводя эту операцию многократно, мы любой точке реального геологического пространства можем придать количественную или качественную характеристику по свойству (совокупности) L. Элементарные объемы реального пространства вместе со значениями свойств образуют «точки" некоторого другого пространства.

Если в точке измерены значения свойств рассматриваемой совокупности, указаны способы измерения этих свойств и точность их измерения, то рассматриваемую точку будем называть формальной точкой реального геологического пространства. Множество формальных точек образует формальное геологическое пространство. В том случае, если построение формального геологического пространства проводится по совокупности свойств, ориентированных на решение прикладной задачи, формальное геологическое пространство может быть названо специализированным.

В отличие от реального пространства, элементы формального (специализированного) геологического пространства не имеют физически осязаемых размеров и представляют собой фиктивные точки.

Вторая группа принципов:

1. Реальное геологическое пространство непрерывно и не имеет внутри себя «пустот", не принадлежащих этому пространству (принцип континуума).

2. В любой точке реального геологического пространства возможно измерение любых свойств (признаков) этого пространства (принцип измеримости).

3. Абстрактной, логической моделью реального геологического пространства выступает формальное геологическое пространство, которое несет в себе черты объективной реальности и субъективной процедуры измерения (принцип двойственности формального и геологического пространства).

4. Элементы формального геологического пространства представляют собой некоторые идеализированные «точки", не обладающие физическими размерами, при этом любое геологическое тело может быть представлено бесконечной

совокупностью этих точек (принцип геометрической – топологической – идеализации).

5. Представление о пространстве и времени в формальном геологическом пространстве является атрибутом самой этой модели (принцип модельного представления пространства и времени).

Вопрос о соотношении реального пространства – времени и его модельного представления выходит за рамки проблемы описания геологического пространства и здесь не рассматривается. Отметим только, что формальное геологическое пространство имеет заранее выбранную геометрию и оно не может быть сложнее тех моделей пространства, которые в настоящее время известны науке.

Одной из интереснейших и важных для геологии моделей реального физического времени является так называемое геологическое время, в котором измерение длительности осуществляется по изменению эволюции биологических видов (палеонтологический подход) или интенсивности протекания геологических процессов. Геологическая среда, рассматриваемая в реальном физическом пространстве и геологическом времени, образует геолого-историческое пространство, исследование которого в данной статье не проводится.

При построении формального геологического пространства в настоящее время проявляются следующие достаточно четко выраженные тенденции.

Прежде всего, тенденция сделать модель как можно более сложной и общей, включить в нее по возможности большинство известных факторов, описать процессы с максимальной детальностью и точностью. Вторая тенденция проявляется при решении конкретных инженерных задач, когда ставится цель наилучшего описания отдельного явления или объекта. От модели в этом случае требуется наиболее полный учет закономерностей, свойственных лишь данному явлению или геологическому объекту. Третья тенденция – выбор той или иной модели по аналогии или вследствие традиции, когда модель хорошо изучена и разработана. Во многих случаях такой подход вполне оправдан, так как многие модели разрабатываются для достаточно широкого круга задач с достаточно общими предпосылками (например, модели, использующие уравнения математической физики). Однако, иногда при этом используется весьма формальная аналогия и не учитываются важные особенности геологических процессов.

Очень часто выбор модели диктуется субъективными факторами. При этом выбор модели должен максимально учитывать имеющуюся информацию.

Информация, содержащаяся в модели геологического пространства, может быть подразделена на априорную и апостериорную. Априорная информация связана с характером самой модели. Например, модель геологического пространства, описываемая дифференциальными уравнениями в частных производных, обладает большой априорной информацией, в частности о том, что в рассматриваемых явлениях подразумеваются выполненными законы сохранения массы, энергии и импульса, о том, что характер развития процессов будет носить стационарный или нестационарный характер и пр.

Апостериорная информация в моделях связана с наблюдением за конкретными геологическими явлениями или объектами. Данная информация очень часто выступает в виде параметров, используемых в принятой модели.

Чем более общей выбирается сама модель, тем меньше в ней содержится информации, относящейся к отдельному объекту или явлению, и, следовательно, чем более общей выбирается модель для решения той или иной задачи, тем больший объем информации должен быть получен непосредственно в полевых наблюдениях. С другой стороны, при выборе модели, которая наилучшим образом описывает лишь отдельные явления, теряется априорная информация, полученная при наблюдении и анализе других объектов и явлений.

Во многих случаях достоинство той или иной модели определяется точностью оценки параметров, которые входят в модель. Если исходной информации недостаточно, то усложнение модели и, следовательно, увеличение числа параметров, несмотря на более полное и точное описание процессов, может приводить к худшим результатам, так как параметры будут определяться со значительными ошибками. Поэтому можно говорить о некоторой оптимальной модели, которая в условиях имеющейся информации будет хорошо описывать изучаемые процессы и явления.

В зависимости от того, как мы представляем изменение свойств L в пределах геологического пространства, получаемые при этом формальные геологические пространства могут быть как с дискретным, так и с непрерывно изменяющимися свойствами.

Для построения модели дискретно изменяющихся свойств (признаков) введем функцию

$$\chi(x, y, z, L) = \begin{cases} 1, & \text{если свойство (признак) } L \text{ отмечается (присутствует) в точке } (x, y, z); \\ 0, & \text{если } L \text{ отсутствует в точке } (x, y, z). \end{cases}$$

Введение функции $\chi(x, y, z, L)$ позволяет разбить формальное геологическое пространство на два множества: в одном будут элементы, обладающие данным свойством (признаком), в другом – им не обладающие.

Рассмотрим набор функций $\chi(x, y, z, L)$ по некоторому набору (списку) свойств $\{L_n\}_{n=1}^{N}$, где N – число свойств в данном наборе. Если теперь будем разбивать геологическое пространство по данному списку свойств, можно построить объекты, которые связаны с множествами, разбиваемыми по каждому из свойств $\chi(x, y, z, L_n)$, правилами операций над множествами (сложение, деление, вычитание и пр.). Например, пусть $A_1, \ldots, A_n$ произвольные подмножества геологического пространства по свойствам $L_1, \ldots, L_n$. Найдем множество всех пересечений $\{A_i \cap A_j\}_{i,j=1}^{N}$. Это множество, по существу, определяет разбиение геологического пространства на отдельные составляющие по выбранному списку свойств. Пространственное расположение элементов полученного множества характеризует структуру формального геологического пространства.

При непрерывном изменении свойств в пределах формального геологического пространства предполагается, что значение какого-либо свойства непрерывно в заданном диапазоне и для каждой точки (x, y, z) можно указать его конкретную величину.

При изучении реального геологического пространства и тех процессов, которые протекают в этом пространстве, превалирующим является феноменологический подход, при котором основные макроскопические теории базируются на добытых из опыта закономерностях и гипотезах. Подобными теориями, например, являются теория распространения тепла в горных породах, теория фильтрации жидкости и газа, явления распространения световых волн в кристаллах и пр. Макроскопические теории выступают как эффективное средство решения практически важных задач; добытые с их помощью сведения согласуются с опытом. Феноменологический подход при изучении формального геологического пространства дополняется принятием гипотезы сплошности. Эта идеализация необходима еще и потому, что мы в большинстве наших исследований опираемся на математический аппарат непрерывных функций, дифференциальное и интегральное исчисление.

Третья группа принципов:

1. Для любого реального геологического пространства может быть построено множество формальных (специализированных) геологических пространств. Рациональный выбор модели реального геологического пространства определяется имеющейся априорной и апостериорной информацией (принцип зависимости модели от количества и качества информации).

2. Для формального геологического пространства принимается справедливой гипотеза сплошности (принцип континуума формального геологического пространства).

3. При изучении объектов и явлений в формальном геологическом пространстве превалирует феноменологический подход, при котором основные закономерности основываются на добытых из опыта фактах (принцип феноменологического подхода).

4. Выбор модели распределения свойств в формальном геологическом пространстве проводится на основании априорной предпосылки о характере изменчивости свойств и может быть дискретным или непрерывным (принцип субъективности выбора модели изменчивости свойств).

В заключение отметим, что здесь мы попытались в явном виде сформулировать основные принципы построения моделей геологического пространства. По существу, большинство из этих принципов в неявном виде находят свое применение в геологии, однако их отчетливое выделение позволяет более объективно оценить достоверность геологических построений и обратить внимание исследователей на важность проблемы тщательного анализа этих принципов, выяснение их взаимных связей и соподчиненности.