УДК 551.240.089

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. Б. МУРАДЯН, В. Г. КОЧАРЯН

К ВОПРОСУ О РАЗМЕРАХ МОДЕЛЕЙ
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАХ В ГЕОЛОГИИ

В современной науке термин модель применяется в двух значениях: первое—модель это объект, которым заменяется оригинал в процессе эксперимента—материальная модель; второе—это схема объекта (явления), отражающая его характерные стороны и возникающая в сознании человека в процессе познания—мысленная модель.

Первоначально схема объекта возникает как совокупность наглядно-физических понятий. Это—физическая мысленная модель. На основе физических представлений строится количественное описание объекта. Оно представляет собой совокупность математических структур: таблиц, графиков, уравнений, схем и т. д. Это описание можно назвать математической моделью или математическим описанием объекта. Все материальные модели, на которых проводятся эксперименты, строятся на основании мысленных моделей. При этом чем глубже и точнее изучены объект, явление, процесс (мысленная модель), тем сложнее их воспроизведение (создание материальной модели). Это противоречие, в известной мере, сглаживается применением некоторых общих принципов моделирования, подробно рассмотренных в литературе [1—5, 7—11]:

1. Принцип подобия материальных и мысленных моделей.
2. Принцип избирательности моделей (селективности), заключающийся в том, что материальная модель для изучения какого-либо процесса может не быть подобна мысленной модели в отношении второстепенных и несущественных для данного процесса явлений.
3. Принцип отдельного изучения (сепарации) на материальных моделях тех существенных явлений и факторов, которые в мысленных моделях действуют совместно. Для определения роли каждого фактора в исследуемом процессе, модели изучаются сериями, в каждой из которых последовательно изменяется только один фактор при постоянном действии остальных.
4. Принцип последовательных приближений (аппроксимации) материальных и мысленных моделей.
5. Принцип статистической обоснованности заключений о результатах испытания моделей.

В данной статье, исходя из поставленной задачи, рассматриваются вопросы подобия материальных и мысленных моделей.

Физические явления и объекты считаются подобными, если они

обладают геометрическим подобием и при этом поля всех одноименных физических переменных соответственно подобны [3].

Подобие полей физических переменных заключается в том, что величина какой-либо переменной в любой точке одного объекта равна величине той же переменной в сходственной точке другого объекта, умноженной на постоянный коэффициент—множитель подобия. Геологические процессы характеризуются большим числом физических величин и при моделировании соответственно для каждой из них должен быть выбран множитель подобия. Многие физические величины имеют взаимосвязанные размерности, поэтому, выбрав определенные множители подобия, например, для расстояний и времени, мы тем самым уже предопределяем величины множителей подобия ускорений и скорости. Таким образом, одним из основных задач при моделировании является определение тех соотношений между множителями подобия различных физических величин, которые обязательны для соблюдения подобия всего процесса в целом. Уравнения, указывающие при каких соотношениях между множителями подобия физические явления подобны, называются условиями подобия. Кажалось бы, ставя эксперимент, параметры можно изменять в любых пределах. Однако, здесь вступает в силу закон о переходе количественных изменений в качественные. Например, если мы желаем изучить наполнение водохранилища через трубы определенного диаметра, то уменьшение размеров водохранилища на модели повлечет за собой уменьшение вязкости жидкости и диаметра труб, и в какой-то момент в трубках модели начнет действовать эффект капиллярных сосудов и условия опыта не будут соответствовать действительности. В общем случае, при неограниченном уменьшении или увеличении размеров объекта, скачкообразно меняются его свойства, чего нельзя не учитывать при моделировании.

В геологии модель имеет особо важное значение. Это обуславливается слишком большой величиной объектов исследования и большой продолжительностью протекающих процессов, несоизмеримых с жизнью человека. Если во многих областях науки и техники в случае крайней необходимости можно провести прямой эксперимент, то в геологии проведение прямых экспериментов даже с кратковременными процессами, такими как землетрясение и извержение вулканов, естественно, невозможно. Невозможность прямого воспроизведения геологических процессов вызывает необходимость особенно тщательно и скрупулезно следить за чистотой экспериментов, использовать любые возможности для максимального приближения к природным условиям. Одной из таких реальных возможностей является увеличение размеров физических моделей. Если при моделировании тектонических разрывов потребуются одновременно моделировать связанные с ними сейсмические явления, то в этом процессе существенную роль будут играть не только упругость, вязкость и прочность материала, но также его вес и силы инерционного характера. В этом случае условия подобия будут следующими:

$$C_G = C_p C_q C_l \quad (1)$$

$$C_\eta = C_G C_t \quad (2)$$

$$C_u = C_G C_l^3 \quad (3)$$

$$C_t = \sqrt{\frac{C_l}{C_q}}, \quad (4)$$

где $C_G = \frac{\text{модуль упругости модели}}{\text{модуль упругости объекта}},$

$$C_p = \frac{\text{плотность модели}}{\text{плотность объекта}},$$

$$C_q = \frac{\text{ускорение на модели}}{\text{ускорение на объекте}},$$

$$C_l = \frac{\text{расстояние на модели}}{\text{расстояние на объекте}},$$

$$C_\eta = \frac{\text{коэффициент вязкости модели}}{\text{коэффициент вязкости объекта}},$$

$$C_t = \frac{\text{время на модели}}{\text{время на объекте}},$$

$$C_u = \frac{\text{энергия модели}}{\text{энергия объекта}}.$$

Множитель подобия ускорений в данном случае равен 1. Преобразуя уравнения (1—4), получаем:

$C_l = C_t^2; C_G = C_p C_t^2; C_\eta = C_p C_t^3$ (5) откуда, подставляя вместо C_t^2 C_l , получим: $C_G = C_p C_l$ и $C_\eta = C_p C_l^{3/2}$ (6).

Из условий подобия (6) видно, что увеличивая размер модели (1), тем самым мы увеличиваем его упругость (G) и коэффициент вязкости (η), т. е., в общем случае, вместо обычно применяемых на небольших моделях 25% желатинового студня или 30% раствора этилцеллюлозы в бензиловом спирте (фактически жидкости), можно использовать глину, различные смолы и т. д., что не требует для изучения предварительного замораживания, постоянного хранения в холодильнике и др.

Согласно (4), чем больше геометрический масштаб модели, тем меньшие промежутки времени можно моделировать, что в какой-то мере является отрицательным фактором увеличения размеров моделей. Однако, в случае моделирования сейсмических кратковременных процессов условия опыта вполне корректны. Например, если множитель подобия расстояний мы примем равным $C_l = 10^{-6}$ (1 м соответствует 1000 км, т. е. можно изучать сейсмичность крупнейших разломов протяженностью в несколько тысяч км), то $C = 10^{-3}$, т. е. одни

сутки опыта будут соответствовать примерно трем годам природного процесса.

При изучении кратковременно развивающихся процессов ($C_t = 1$), когда связанные с ними инерционные явления считаются несущественными и не регистрируются, достаточно выдержать подобие лишь силы тяжести, определяющей величину напряжений гравитационного происхождения. Такое положение имеет место, например, при исследовании влияния разрывов на тектоническое поле напряжений. В этом случае вместо $C_p C_q$ вводится равный этому произведению множитель подобия объемных весов C_d , который считается независимым от множителей подобия времени и геометрических размеров. В результате условия подобия принимают вид:

$$C_G = C_d C_I,$$

$$C_\eta = C_G C_t.$$

Учитывая, что $C_t = 1$, условия подобия будут: $C_G = C_\eta = C_d C_I$.

Таким образом, и в этом случае, имея возможность изменять в широких пределах геометрические размеры модели, можно подбирать желаемые и возможные материалы для моделирования.

При изучении внутренней структуры и трещиноватости монцонитовой интрузии Мегринского плутона [6] был проведен анализ общих и местных полей напряжений в различные периоды становления интрузии. Оказалось, что местные поля напряжений различных участков интрузии в один и тот же период очень сильно отличаются друг от друга. На распределение местных полей напряжений большое влияние оказывают дайки и штоки, форма контактов и даже ориентировка минералов в породе.

При моделировании подобных процессов (влияние инородных тел на распределение поля напряжения), принимая множитель подобия расстояний C_r , как обычно принято, равным, $10^{-5} - 10^{-6}$, даже наиболее мощные дайки (до 50 метров и более) в модели должны будут иметь толщину 0,05—0,5 мм, что практически не поддается воспроизведению. Увеличение размеров позволяет довести толщину даек на модели от 1,5 до 15 мм и дает практическую возможность моделировать процесс. Эти же соображения относятся ко всем случаям моделирования процессов, происходящих на крупных участках земной коры, имеющей гетерогенное строение.

Указанные доводы найдут свое подтверждение после определенных экспериментальных исследований.

Эксперимент—важнейшее связующее звено в цепи познания объективной реальности: опыт—гипотеза—эксперимент—теория—практика. Как отмечается в работе [12], «эксперимент дает, как правило, достаточно объективные количественные результаты, так как условия его проведения точно фиксируются и контролируются». В геологии все еще значителен разрыв между гипотезой и теорией.

Эксперимент призван превратить гипотезу в теорию, которая обогатит геологическую науку и наши представления о геологических процессах.

Эксперимент и моделирование должны применяться не для иллюстрации отдельных явлений и объектов, обнаруженных при полевых геологических наблюдениях, а в качестве системных исследований, позволяющих проверить физическую возможность открытия пока еще неизвестных условий протекания тех или иных геологических процессов.

Для этого совершенно необходима разработка методологии моделирования отдельных геологических процессов, основанных на точных методах и средствах измерений различных явлений. В этой связи большое значение приобретает точность размеров моделей при экспериментах.

Этот вопрос разработан, на наш взгляд, недостаточно и необходимость проведения исследований по геологической метрологии в больших масштабах очевидна. Сотрудниками лаборатории экспериментальной геологии ИГН АН Арм. ССР разработан проект установки «Гарни-78», предназначенной для проведения экспериментальных исследований. Она обеспечит создание моделей оптимальных размеров и сравнительно полный учет факторов, влияющих на протекание отдельных геологических процессов. «Гарни-78» будет установлена в лаборатории экспериментальной геологии ИГН АН Армянской ССР.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 9.VI.1977.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Белоусов В. В., Гзовский М. В. Экспериментальная тектоника. «Недра», М., 1964.
2. Гзовский М. В. Моделирование тектонических процессов. В сб.: «Проблемы тектонофизики». Госгеолтехиздат, 1960.
3. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. «Наука», М., 1975.
4. Зегжда А. П. Теория подобия и методики расчета гидротехнических моделей. Госстройиздат, 1938.
5. Кирпичев М. В. Теория подобия. Изд-во АН СССР, 1953.
6. Кочарян В. Г. Генетическая классификация трещиноватости Мегринского плутона. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 2, 1969.
7. Люстих Е. Н. Условия подобия при моделировании тектонических процессов. ДАН СССР, т. XIV, № 5, 1949.
8. Рамберг Х. Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. «Мир», М., 1970.
9. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. Издание 3, Гостехиздат, М., 1954.
10. Шнеерсон Б. Л. О применении теории подобия при тектоническом моделировании. Тр. Ин-та теоретической геофизики АН СССР, № 3, 1947.
11. Эйгенсон Л. С. Моделирование. М., 1959.
12. Юшкин Н. Эксперимент в геологии, Сб. № 4, Сыктывкар, 1977.