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

УДК 624.131.1

ОБ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЯХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

М.С.ЗАХАРОВ

В связи со все более расширяющимися попытками использования системного подхода в инженерно-геологических исследованиях вырисовывается важная задача анализа и определения соответствующего круга понятий и терминов, на основе которых стали бы возможны постановка новых задач и поиски новых решений.

Особенно много определений системологического типа дается обычно на уровне обыденного осознания нерасторжимой и очевидной связи любых сооружений и инженерных работ с геологической средой. Это так называемый феноменологический уровень определений. Наиболее типичное из них следующее: «Инженерно-геологическая система (ИГС) - часть литосферы, находящаяся в среде влияния объекта, обусловленного или связанного с инженерной или хозяйственной деятельностью человека" [4, с.7].

В более абстрактном виде «инженерно-геологическая система - это система данных о структуре, свойствах и движении геологической среды" [I, с.34]. Относится же ИГС к разряду геосистем, «элементы которых полностью или в основном представлены твердыми, жидкими или газообразными компонентами геологической среды" [I, с.I9].

Любые попытки ввести новые понятия взамен традиционных, обозначающих сферу взаимодействия инженерного сооружения с горными породами (земной корой, литосферой и т.п.), не могут вызывать возражения при условии, что они логически обоснованы последовательным рядом определений по линии восхождения от абстрактного к конкретному. В противном случае происходит лишь удвоение терминологии и неизбежны терминологические споры. Кроме того, возникают обоснованные сомнения в конструктивной роли системного подхода вообще.

В ходе развертывания последовательных системных определений важно «нащупать" такую отправную характеристику изучаемого объекта, которая в ходе последовательных логических операций «наращивается" новыми дополнительными характеристиками, и на каждой ступени познания мы получаем нерасторжимое единство, причем каждая последующая характеристика выступает как абстрактное отображение объекта относительно всех последующих и как вполне конкретное относительно всех предыдущих. Последнее построение в ряду должно базироваться на достаточно простых эмпирических данных и процедурах, что и будет служить оправданием для всех предыдущих абстракций и доказательством их объективной истинности [9, с.I6I-I69]. Вся процедура развертывания предполагает высокий уровень методологического планирования конечного и промежуточного результатов.

Исходным понятием всей совокупности понятий, связанных с процедурой системного подхода, служит понятие системы. Среди обязательных атрибутов этого понятия есть два определяющих аспекта: целевая установка выделения системы и определение ее структуры. Исходя из целевой установки, можно сказать, что инженерно-геологическая система (ИГС) - это теоретический каркас, создаваемый на некотором базовом множестве элементов и на их отношениях в специализированном геологическом пространстве для исследования различных аспектов его целостности и расчлененности. Специализированное геологическое пространство является признаковым пространством, в котором признаки рассматриваются обычно на основе евклидовой метрики. Специализация пространства усматривается прежде всего в том, что инженерно-геологические задачи в нем не могут быть решены на основе только физических или только геологических методов, а требуют определенного комплексирования.

В более формализированном виде система может быть определена как теоретический каркас, который включает в себя некоторое базовое множество элементов M, множество отношений $M\{r_i\}$, множество имен (типов) отношений $\{P_j\}$, совокупность правил построения системы, в которых участвуют как символы отношений R_i, так и некоторые типы отношений P_j [8].

Итак, прежде всего ИГС - это некоторая теоретическая конструкция, основанная на понятии целостной группы, т.е. достаточно абстрактное понятие, жизненность и конструктивность которого зависят от того, как будет построена вся дальнейшая цепь определений и процедур, прежде всего структурного аспекта. Очевидно, элементы и структура, определяемая ими, нам не заданы, а зависят от выбранного способа представления (формализации) системы. Сам же способ формализации теснейшим образом связан с конкретной задачей. Следовательно, далее понятие ИГС необходимо „расслаивать" применительно к определенным аспектам целостности, возникающим в инженерно-геологических задачах. Если эту задачу поставить для пространственного аспекта целостности (например, при районировании территории), то методологическое планирование подсказывает путь рассуждений, основанный на понятиях, которые позволили бы расчленять это пространство различным образом и производить группировку его частей.

Инженерно-геологические исследования развертываются на множество пространственных точек, для которых определены геометрические, кинематические и основные механические свойства, контролируемые вещественными характеристиками. Все это в совокупности можно рассматривать как вещественно-морфологические свойства задаваемых точек. Отсюда вытекает необходимость морфологической классификации, которая определяет классы точек, обладающих хотя бы одним общим морфологическим свойством. Это свойство является функцией одних и тех же геометрических, кинематических и основных механических свойств.

Затем можно определить инженерно-геологический элемент как множество из двух и более вещественно-морфологических точек, занимающих определенный объем в пространстве в определенный промежуток (или момент) времени. Инженерно-геологическому элементу присущи определенные физические свойства

или в более широком аспекте морфологические свойства определенного класса. Практически все инженерно-геологические классификации в той или иной степени учитывают эти свойства. В сложном теле все его точки обладают каким-либо признаком некоторого морфологического класса заданной классификации, не обязательно одним и тем же [7]. При этом важно отметить, что два инженерно-геологических элемента с одинаковыми физическими свойствами обязательно должны иметь одинаковое морфологическое свойство, но два элемента с одинаковыми морфологическими свойствами могут и не иметь общей вещественной основы.

Рассмотренные выше свойства определяют структуру ИГС. Это означает, что структурным элементом ИГС следует называть элемент с одним (или более) конкретным морфологическим свойством, а структура ИГС является тем общим понятием, которое приложимо к геометрическим, кинематическим, механическим и вещественным, а также ко всем другим свойствам, которые можно представить в виде их функций. Следуя дальше, можно переопределить понятие ИГС как множества взаимосвязанных элементов, каждый из которых прямо или косвенно связан с каждым другим элементом, а два любых подмножества системы не могут быть независимыми, т.е. ИГС образует некоторую связную область пространства, которой мы приписываем определенное морфологическое свойство. Очевидно, это определение не противоречит никаким общенаучным определениям системы и демонстрирует реальную связь конкретного и абстрактного, когда после получения нового знания об объекте на структурном уровне мы вновь возвращаемся к исходной позиции (системе), но она уже не равнозначна первоначальным представлениям. Таким образом, выбранный путь формализации обеспечивает не только прямую зависимость последующих процедур от исходной, но и обратную зависимость первой процедуры и исходного понятия от последующих [9, с.161-169].

Весьма важным для системного подхода является прослеживание связи структуры и организации, т.е. выделение закона или закономерности, благодаря которой некоторое множество элементов образует структурно-функциональную целостность, т.е. собственно ИГС. Строение земной коры, т.е. распределение в ней различных классов элементов, подчиняется определенным закономерностям, которые прослеживаются обычно на кристаллохимическом, минеральном или породном уровнях. Эти закономерности позволяют сформулировать понятие о простых и сложных геологических телах.

Простое геологическое тело - это связная область геопространства, все точки которой относятся к определенному морфологическому классу некоторой классификации. Поскольку понятие об этих классах сведено в общую совокупность в специальной инженерно-геологической классификации горных пород, будем в дальнейшем говорить о специализированных геологических телах. Эти тела в различных структурно-формационных зонах по вертикали образуют сложные комплексы, которые будем называть инженерно-геологическими комплексами (ИГК). Таким образом, ИГК - это морфологический класс некоторого множества взаимосвязанных элементов, описывающих структуру определенной области пространства в инженерных задачах. Следовательно, самая простая

ИГС (система первого уровня организации), раскрывающая целостность пространства на уровне взаимоотношений различных классов морфологических точек, обладающих определенным набором свойств, необходимых для решения инженерных задач, представлена инженерно-геологическим комплексом, который заменяет обычный геологический разрез классами пород заданной инженерно-геологической классификации. ИГК могут рассматриваться в качестве подсистем (элементов) более обширных (сложных) пространственных систем. Закономерности формирования таких систем связаны прежде всего с особенностями морфогенеза земной поверхности (в частности, с планетарной ступенчатостью рельефа) и характером распределения различных геологических процессов по разным уровням рельефа [I, 6]. В различных задачах по планированию рационального использования и охраны геологической среды выделение подобных систем на основе группирования различных ИГК имеет решающее значение.

По отношению к ИГС различного уровня организации можно рассматривать множество других элементов (или систем) и их существенных свойств, которые не являются частями ИГС, а составляют ее окружение или среду. Изменения в любом из этих элементов могут стать причиной изменений в состоянии ИГС.

Из рассмотрения структуры ИГС вытекает и понятие о ее функциях, которые заключаются во взаимодействиях, обусловливающих изменение и перераспределение минерального вещества, геологические деформации и дислокации [5, 6]. Внешняя функция ИГС выражается в воздействии изменений ее структуры на системы окружения, в первую очередь, на гидросферу, атмосферу, биосферу. Внутренние функции ИГС связаны с изменениями ее структуры и вещества. Здесь следует, очевидно, выделять группу процессов саморегуляции, подобных тем, которые свойственны всем природным системам и которые опираются на определенные физические представления об изменениях минерального вещества, воды, геологических и геоморфологических деформациях и дислокациях [I, 5].

Регуляция ИГС подразумевает «давление", воздействие со стороны внешней природной и техногенной среды, т.е. внешние статические или динамические воздействия, производящие работу над системой без опосредования этой работы внутренней энергией самой системы.

Понятие об инженерно-геологическом континууме [3] показывает, что любое его временное сечение есть пространственная категория, через которую раскрываются в ИГС причинно-следственные отношения: одно временное сечение является причиной другого временного сечения, если они принадлежат к одной и той же ИГС. Любой геологический процесс, изменяющий структуру ИГС, как показал Г.К.Бондарик, есть последовательная смена состояний ИГС [I]. Таким образом, время для ИГС есть свойство событий, достаточное для того, чтобы различать любые два изменения в одном и том же ИГЭ, т.е. различать их либо функционально, либо структурно, либо и функционально, и структурно. Следовательно, ИГС по отношению к своему окружению предстает как система динамическая, хотя в каждый отдельно взятый момент времени состояние ИГЭ или ИГС в целом определяется статическим сечением.

В этом сечении все процессы воздействуют на ИГС одновременно, т.е. статический срез временной оси обладает свойством моментальности, а совокупность временных срезов обладает направленностью, определяющей сущность инженерно-геологического прогноза.

В региональных инженерно-геологических исследованиях имеет смысл говорить не о прогнозах в полном смысле этого слова, а о предсказаниях, т.е. о предвидении событий на основе качественных и частично количественных характеристик [2]. ИГС в нашем случае идентифицируется через множество элементов, представляющих внутренние функции системы (инженерно-геологические комплексы и связанные с ними процессы), т.е. $A=\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$. В их число необходимо включить дополнительный элемент a_0, характеризующий внешнюю среду (техническое или природное воздействие), и затем ввести новое множество $A = \{a_0, a_1, a_2, \ldots, a_n\}$, которое содержит все элементы, принадлежащие системе, с учетом влияния внешней среды. Далее исследуются связи и взаимодействие системы A, которые выражаются через множество $R = \{r_{ij}\}$, где r_{ij} отношение между любыми элементами a_i и a_j (при $r_{ij} = 0$ a_i не влияет на a_j). На синтетическом этапе возникает представление о системе $S = \{A, R\}$, на основе которой и строится предсказание.

Вся совокупность рассмотренных определений (инженерно-геологическая система - морфологическая точка - инженерно-геологический элемент - инженерно-геологическая система - структура системы - функция системы) может быть связана на основе процедуры структурно-функционального анализа. Его сущность заключается в последовательном движении логических построений от процессов к структуре, от структуры к организации, от организации к материалу (веществу), от процессов к отображению их механизма, рассматриваемых на основе учета прямых и обратных связей.

Структурно-функциональный анализ является необходимым методическим приемом построения региональных предсказаний. Например, в задачах, связанных с рациональным использованием и охраной геологической среды, будь то месторождение полезных ископаемых или территория национального парка. В случае месторождения, где геологическая среда испытывает наибольшие изменения в ощутимые исторические сроки, структура любой системы может быть выражена природно-техногенными объектами разного назначения: технологические участки (районы); площадки промышленных и гражданских сооружений; участки, занятые отвалами, хвостохранилищами, водонакопителями, складами, дорогами; естественные природные ландшафты, зоны обитания, сельскохозяйственного производства и т.д. Все это элементы внутренней (организменной) системы, ограниченной земельным отводом данного месторождения. От элементов системы можно перейти к ее организации, которая на каждом месторождении выражается пространственным распределением территорий различного назначения: территория горных работ, территория отработанная, территория рекультивированная, территория дополнительных производств, территория жилая и т.д. Можно полагать, что для месторождений с разной сложностью инженерно-геологических условий необходимо учитывать

вполне определенную организацию геологической среды. Для каждого месторождения можно выделить спектр основных и сопутствующих процессов, воздействующих на сложившуюся организацию системы. Количество показателей, по которым можно оценивать эволюцию элементов системы, достаточно велико, но наиболее существенными будут те, которые достаточно полно охватывают изменения вещества, геологические и геоморфологические дислокации и деформации, важные для оценки состояния геологической среды в целом.

Проведенное различение логических построений позволяет четко выделить специфику регионального инженерно-геологического анализа по сравнению, например, с региональным структурно-тектоническим, к которому часто необоснованно сводится рассмотрение инженерно-геологической обстановки больших территорий.

Региональный инженерно-геологический анализ должен рассматривать региональную обстановку под принципиально иным углом зрения в отношении исходных процессов, что влечет за собой соответствующие расхождения по остальным логическим позициям.

Различия двух указанных видов регионального анализа по основным логическим позициям и связям могут быть сведены в таблицу, которая демонстрирует в целом структуру познавательных операций.

Структура познавательных операций

Логические позиции	Вид анализа	
	Региональный инженерно-геологический	Региональный структурно-тектонический
Процессы	Взаимодействие реальных или предполагаемых сооружений с геологической средой. Формирование и развитие техносферы (ноосферы)	Тектоническое развитие местности: опускание, подъем, горообразование, денудация, складчатость, магматизм, метаморфизм
Структура	Взаимоотношения в пространстве различных механических процессов: сжатия, разуплотнения, фильтрации, обводнения, осушения, разрушения и т.п.	Взаимоотношения в пространстве различных процессов породообразования и рельефообразования
Организация	Соотношения в пространстве „механических" областей - множеств точек различных морфологических классов и их ассоциаций	Соотношения в пространстве различных структурно-формационных зон
Форма	Понятие о специфических территориальных образованиях - города, гидротехнические узлы, горнодобывающие предприятия и т.п.	Понятие о тектонических структурах разного порядка (океаны - континенты, платформы - геосинклинали, щиты - плиты и т.д.)
Механизм	Представление о связях вещественно-генетических обстановок с механическим поведением пород в качестве оснований, среды, стройматериалов	Представление о связи тектонического режима и структурообразования с породообразованием
Конструкция	Различные инженерно-геологические карты, разрезы, колонки - модели, отражающие структуру и ее организацию	Различные тектонические и формационные карты, профили, колонки - модели, отражающие структуру и ее организаци

Выводы

Введение понятия об инженерно-геологической системе (ИГС) представляется полезным с точки зрения логики, которая на первое место ставит анализ взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой. этом случае появляется надежная теоретическая основа построения инженерно-геологических прогнозов различного типа.

Логические абстракции подобного типа представляют собой особые теоретические конструкции, требующие развертывания определенного аппарата формализации вплоть до простых эмпирических операций, подтверждающих жизненность всей логики рассуждений.

Особое место в обосновании ИГС различного масштаба и сложности занимает структурно-функциональный анализ, связывающий воедино рассмотрение процессов, их механизмов, структуры, организации, формы и конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К. *Общая теория инженерной (физической) геологии.* М., Недра, 1981.

2. Гвишиани Д.М., Лисичкин В.А. Прогностика. М., Наука, 1968.

3. Захаров М.С. Теоретические положения региональной инженерной геологии. – Зап. ЛГИ, 1981, т. 88.

4. Каган А.А. Инженерно-геологическое прогнозирование. М., Недра, 1984.

5. Косыгин Ю.А. Основы тектоники. М., Недра, 1974.

6. Михайков Ю.М., Федоров Б.Г. Прогнозирование изменений геоморфологических систем *при техногенном воздействии.* Л., Изд-во ЛГУ, 1984.

7. Салин Ю.С. Стратиграфическая корреляция. М., Недра, 1983.

8. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М., Радио и связь, 1982.

9. Шедровицкий Г.П. Общая идея метода восхождения от абстрактного к конкретному. – В кн.: Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании. М., Стройиздат, 1975.