УДК 624.131.1

В.Т.ТРОФИМОВ
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

ЭТАПЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ КАК НАУКИ

Развитие инженерной геологии как науки рассматривается на трех этапах: возникновение новой геологической науки для решения задач геологии инженерно-хозяйственного освоения территорий (1923-1945); формирование трех научных разделов инженерной геологии – грунтоведения, инженерной геодинамики и региональной инженерной геологии (1846-1978); инженерная геология земного шара (с 1979 г.). Дальнейшее развитие отдельных научных направлений инженерной геологии рассматривается в связи с новой парадигмой геологии как науки.

The development of engineering geology as a science is considered within the following three stages: the first stage (1923-1945) the origin of a new geological science to solve the problems of engineering – economic development of territories; the second stage (1846-1978) the formation of three scientific branches of engineering geology – soil science, engineering geodynamics and regional engineering geology; the third stage (since 1979) – global engineering geology. Further development of separate scientific directions of engineering geology is considered herein in connection with a new paradigm of geology as a science.

В истории развития инженерной геологии как науки обычно выделяют три этапа [5-9,11]. Она зародилась в первой четверти XX века как «геология строительных площадок». Ее дальнейшее развитие на первом этапе (1923-1945) имело сугубо прикладной характер. Это наглядно выразилось в названии первой из сформировавшихся научных дисциплин – «дорожное грунтоведение» (М.М.Филатов), впоследствии переросшей в «общее грунтоведение» и «грунтоведение». Даже в 1937 г. Ф.П.Саваренский определял содержание инженерной геологии как отрасль геологии, «*трактующей вопросы приложения геологии* (здесь и далее курсив мой – В.Т.) к инженерному строительному делу». Им же в наиболее полном объеме были сформулированы теоретико-методические положения инженерной геологии в целом, исходя из такого, сугубо прикладного, понимания ее содержания.

Необходимо согласиться с выводом, сделанным в работе [6]: «*Главный итог этого этапа – возникновение инженерной геологии как новой геологической науки, объединившей грунтоведение с инженерной геодинамикой* для решения задач, связанных с инженерно-хозяйственным освоением территорий. Инженерная геология сформировалась в тесной взаимосвязи со строительными дисциплинами, почвоведением и мерзлотоведением» [6, с.8].

Второй этап развития инженерной геологии (1946-1978) характеризовался интенсивным проведением как практически ориентированных изысканий под конкретные инженерные сооружения, так и разноплановых и объемных теоретических исследований. *В итоге инженерная геология сформировалась как геологическая наука, включающая три ее научных направления – грунтоведение, инженерную геодинамику и региональную инженерную геологию.* В разработку теоретико-методологических положений грунтоведения в этот период выдающийся вклад внесли И.В.Попов, В.А.Приклонский, Е.МСергеев, В.Д.Ломтадзе, А.К.Ларионов, инженерной геодинамики – И.В.Попов Г.С.Золотарев, В.В.Кюнцель, И.А.Печеркин, В.П.Солоненко. Основы региональной инженерной геологии были сформулированы И.В.Поповым и Н.И.Николаевым, ведущее

значение для развития этого научного направления, как и всей инженерной геологии того периода, имели труды И.В.Попова. Им же в 1951 г. дано принципиально новое по содержанию определение инженерной геологии: «*Инженерная геология как наука является отраслью геологии, изучающей динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека*».

Это было наиболее полное по содержанию и краткости определение инженерной геологии. Замена Е.М.Сергеевым и другими исследователями в этом определении словосочетания «в связи» на словосочетание «под влиянием» резко сужала содержание инженерной геологии как науки (оно сводилось при этом к изучению лишь одного типа систем – природно-технических литосистем реальных, все же другие системы при этом остаются вне поля исследований инженерной геологии).

Однако такая краткая форма определения И.В.Попова не позволяет раскрыть все научные аспекты содержания инженерной геологии, что чрезвычайно важно для широкого круга геологов, других специалистов, а также студентов, начинающих изучение инженерной геологии. В связи с этим Г.К.Бондарик писал: «*Инженерная (физическая) геология – наука о свойствах геологической среды, определяющих ее взаимодействие с другими средами, об ее движении, процессах, протекающих в ходе этих взаимодействий на границе геологической среды с внешними средами (об экзогенных геологических процессах)*» [1, с.38].

По существу и это определение не полностью отражает содержание инженерной геологии как науки. В связи с этим В.Т.Трофимовым [7] было предложено определять инженерную геологию в следующей редакции: *инженерная геология – наука геологического цикла, исследующая инженерно-геологические условия верхних горизонтов земной коры (литосферы), закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием современных и прогнозируемых природных и антропогенных геологических процессов.* Подчеркнуто, что эти процессы формируются в ходе развития земной коры под влиянием всей совокупности природных факторов и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной деятельностью человечества.

Главное отличие второго этапа развития инженерной геологии заключалось в изучении наряду с конкретными районами предполагаемого или осуществляемого строительства *всех регионов СССР.* Это были принципиально новые по содержанию исследования – региональные инженерно-геологические. Они развили и трансформировали в новом направлении теоретические основы инженерной геологии, позволили создать уникальное произведение – монографию «Инженерная геология СССР» в восьми томах.

В течение второго этапа произошло становление и многих новых прикладных разделов инженерной геологии. К их числу относятся: инженерная геология месторождений полезных ископаемых, инженерная геология шельфов, инженерная геология городов, мелиоративная инженерная геология и др.

Содержание третьего этапа развития инженерной геологии как науки оценивается разными исследователями явно неодинаково. Е.М.Сергеев с соавторами [6], предложившими исчислять этот период с 1979 г., связывали его с формированием в дополнение к трем традиционным научным направлениям инженерной геологии (грунтоведению, инженерной геодинамике и региональной инженерной геологии) и четвертому, которому дали название «рациональное использование и охрана геологической среды». В частности, они писали: «И в настоящее время можно сказать, что в инженерной геологии зародилось ее четвертое направление – рациональное использование и охрана геологической среды. Это самое главное, что приобрела инженерная геология на третьем этапе своего развития в нашей стране, во время построения развитого социализма» [6, с.11].

Эта позиция уже оценивалась мной, и было показано, что выделение такого научного направления не правомерно. Здесь

лишь отмечу, что проблемы и задачи (проблемные задачи) рационального использования верхних горизонтов земной коры как *прикладные* задачи, требующие глубокого теоретического обоснования, стояли, стоят и будут стоять практически всегда при планировании и реализации всех видов инженерно-хозяйственной деятельности человека. И не только перед инженерной геологией!!!

Иначе подошел к этому вопросу Г.К.Бондарик, который показал, что этап непрерывного эволюционного развития инженерной геологии, продолжавшийся до конца 70-х годов, завершился, и она оказалась на пороге революционного скачка, означающего переход на качественно новый уровень. Он писал: «...смена эмпирического этапа в развитии науки на теоретический должна характеризоваться достаточно четким разделением теоретического знания и знания, основанного на эксперименте, а в организационном плане – появлением теоретиков и экспериментаторов (и в инженерной геологии тоже) [2, с.115]. И далее: «... прикладную задачу современной инженерной геологии следует формулировать так: *инженерно-геологический прогноз и соуправление оптимальными планированием, проектированием, развитием и функционированием ПТЛ различных категорий, вплоть до глобальной*» [2, с.118]. Исходя из этого, инженерная геология рассматривается как «*наука о структурах, свойствах и процессах движения литосферы, используемых при оптимизации ПТЛ разных уровней, на различных этапах их существования, включая этапы модельных представлений*» [2, с.119]. Сведение структуры инженерной геологии к оптимизации ПТЛ сузило содержание ее как науки по сравнению с идеей, выдвинутой И.В.Поповым.

В.Т.Трофимов [8, 9] обосновывает выделение третьего этапа развития инженерной геологии как науки с иных позиций. Оно связывается им с необходимостью изучения *инженерно-геологических условий Земли в целом*, т.е. с изменением масштаба (а, следовательно, и появлением новых теоретических проблем и вопросов науки) исследуемого объекта (как и при переходе от первого этапа развития инженерной геологии ко второму). Необходимость этого была понята в ходе исследований второго этапа (работы Е.М.Сергеева, В.Т.Трофимова, С.Б.Ершовой). Начало третьего этапа логично исчислять, как это предложено Е.М.Сергеевым и др. [6], с 1979 г, но по другой причине. Именно в этом году была опубликована статья С.Б.Ершовой [3]. Позже, в 1989 г. вышла в свет монография [12], в которой уже в более конкретной форме была высказана идея необходимости изучения инженерно-геологических условий Земли в целом.

Многообразие теоретико-методических задач инженерной геологии может быть сведено к следующим позициям [7, 9]:

- изучение состава, состояния, строения и свойств грунтов и слагаемых ими толщ, массивов, инженерно-геологических структур верхних горизонтов земной коры, закономерностей их формирования, современной и прогнозируемой динамики их развития под влиянием эволюции природы и в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека;
- разработка общей и частных инженерно-геологически ориентированных теорий развития современных природных и антропогенных геологических процессов, возникающих в пределах различных инженерно-геологических структур Земли, характеризующихся разным типом современного тектонического режима и неодинаковой экзогенной тепло- и влагообеспеченностью;
- разработка теории и методов оценки устойчивости массивов горных пород различных инженерно-геологических структур к природным и техногенным воздействиям с точки зрения обеспечения устойчивого функционирования инженерных сооружений и их комплексов;
- разработка теории и методики оценки измененности верхних горизонтов земной коры под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека и ее инженерно-геологического значения;
- разработка теории, методов и геологически обоснованных методик (технологий) управления состоянием и свойствами

массивов горных пород с целью сохранения ими устойчивости в ходе природной эволюции и взаимодействия с инженерными сооружениями;

• разработка принципов поиска и методики изучения, оптимальных по инженерно-геологическим условиям массивов горных пород для размещения экологически небезопасных инженерных объектов и литотехнических систем – захоронений промышленных отходов с целью их проектного функционирования;

• разработка теории и методики инженерно-геологического обоснования схем инженерной защиты территорий и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов для обеспечения нормального функционирования инженерных объектов и комплексов.

При решении этих типологически названных теоретических задач могут быть использованы разные пути: а) математизации исследований; б) экологизации исследований; в) «экономизации» исследований; г) информатизации исследований; д) «глобализации» исследований; е) «ноосферализации» инженерной геологии. Многие из них уже давно использованы в инженерной геологии и принесли достаточно известные результаты в решении частных вопросов теории и методики инженерно-геологических работ. Это касается позиций *а, б, в,* отчасти *г* и *е*. Все эти позиции широко известны и подробно обсуждались в 1996 г. [4]. Но пока все это обеспечило решение частных теоретико-методических задач, но не смогло кардинально изменить и определить направление развития инженерной геологии на новом этапе, т.е. не они коренным образом определяют перспективы развития инженерной геологии как науки. Кроме того, укажем, что теоретический базис целого ряда ранее названных типов задач инженерной геологии просто не может быть далее развит за счет использования этих путей. Дальнейшее развитие теории инженерной геологии связывается мной с «глобализацией» объекта ее исследования.

Перспективы развития инженерной геологии как науки наиболее полно обсуждались на совещании в МГУ им. М.В.Ломоносова в 1996 г. [4]. Но в ходе дискуссии, с моей точки зрения, не прозвучало главное: *необходимость изменения масштаба и содержания исследуемого объекта – перехода от инженерно-геологического изучения всех регионов Северной Евразии к изучению инженерно-геологических условий Земли в целом.* Со всей очевидностью она (необходимость) проявилась после окончательного *становления в геологии новой парадигмы – тектоники плит.* В связи с этим В.Т.Трофимовым и Т.И.Аверкиной [10] было показано, что *перед инженерной геологией встают в связи с современной геологической парадигмой новые задачи, решение которых в значительной мере предопределит дальнейшее развитие теоретического базиса инженерной геологии как науки.* Инженеры-геологи подошли (многие годы тому назад в этой позиции оказались геологи, в первую очередь тектонисты) к необходимости изучения глобального многообразия инженерно-геологических объектов. При этом каждое научное направление инженерной геологии призвано решать свои новые теоретические проблемы.

В *грунтоведении* в связи с выделением новых и различных геодинамических обстановок образования многих магматических (гранитов, базальтов и др.), вулканогенно-осадочных пород и толщ (офиолитов, аккреционных призм, турбидитов и др.) необходимо исследовать закономерности формирования и изменчивости их инженерно-геологических особенностей в зависимости от генезиса. В частности, необходимо исследовать сходство и различие инженерно-геологических особенностей мантийных, мантийно-коровых и коровых гранитоидов и их видов (плагиогранитов осей спрединга, щелочных гранитоидов океанских островов, гранитоидов энсиматических островных дуг, гранитоидов рифтовых зон, горячих точек и внутриплитных и др.). То же самое относится и к изучению инженерно-геологической специфики базальтов, сформированных в различных геодинамических условиях: на коллизионных границах, в пре-

делах зон спрединга, островных дуг разных типов, глубоководных желобов, во внутриплитных обстановках. Совершенно не изучены инженерно-геологически толщи аккреционных призм, которые образуются при пододвигании осадков субдуцирующей плиты под континентальную окраину или островную дугу. Клинья осадочного материала подпирают и приподнимают аккреционный комплекс, создавая сложную изоклинально-чешуйчатую структуру. В разрезе чередуются отложения чехла океанической плиты (преимущественно пелагические илы) и осадки глубоководного желоба (главным образом, турбидиты). Иногда среди осадочного материала встречаются линзы офиолитов – фрагменты океанской литосферы, срезанные надвигающейся плитой.

Весьма интересным объектом представляются офиолитовые комплексы – парагенезис гипербазитов, габбро, базальтов и радиоляритов. В старой концепции их формирование ошибочно связывалось с началом геосинклинального магматизма. Когда были получены первые достоверные данные о составе океанической коры, стало очевидным, что офиолиты – это ее древние фрагменты. Их размеры иногда достигают огромных величин: протяженность – несколько десятков километров, мощность – до 10-12 км. Такие покровы – следствие обдукции или срыва и надвига океанических пластин на континент, а формирование офиолитовых швов связано со своеобразным диапировым внедрением или выдавливанием океанической коры.

В *инженерной геодинамике* предстоит изучить, описать и систематизировать геодинамические особенности различных типов современных тектонических обстановок; исследовать и определить инженерно-геологическую значимость внутриплитных дислокаций, возможность их учета при ретроспективных и прогнозных инженерно-геологических оценках. В частности, надлежит исследовать инженерно-геологическое значение современных геологических процессов зон спрединга, субдукции, обдукции и коллизии, на различных типах границ между плитами (дивергентных, конвергентных, трансформных). Необходимо изучить инженерно-геологическую роль планетарной трещиноватости горных пород, регматической сети глубинных разломов, которая, по современным представлениям, является сетью, контролирующей перемещение литосферных плит, делает его упорядоченным. Вместе с тем по глубинным разломам происходят блоковые подвижки, которые, как показали последние геофизические исследования в орогенах и на платформах, обычно носят характер надвигов или подвигов (а не являются вертикальными, как считали раньше).

Наиболее объемные и сложные проблемные вопросы стоят перед *региональной инженерной геологией*. Именно в ее рамках необходимо исследовать и описать инженерно-геологические условия всех современно выделяемых геотектонических обстановок, прежде всего, принципиально новых – континентальных окраин и океанов; изучить и описать новые формации и формационные ряды, отвечающие этим обстановкам; пересмотреть в связи с этим используемые в инженерной геологии систематики формаций и по существу создать новые. Особое внимание должно быть уделено инженерно-геологическому анализу активных континентальных окраин. Здесь развиты специфические структурные формы: глубоководные желоба, вулканические и невулканические дуги, тыловые и фронтальные бассейны, краевые валы. К каждой из них приурочены особые комплексы пород, которые в сочетаниях дают новые, не выделявшиеся ранее вертикальные и латеральные формационные ряды. По-новому следует взглянуть и на особенности формирования инженерно-геологических особенностей орогенов. Все это позволит выявить все возможное логическое и фактическое многообразие типов инженерно-геологических обстановок (структур), даст целостную картину пространственного и временного изменения инженерно-геологических условий Земли.

С учетом новой парадигмы геологии должно проводиться и *изучение закономерностей эволюции инженерно-геологических особенностей литосферы в естественных и техногенно нарушенных условиях.* С позиций этой теории по-новому объясняется

геологическая история регионов, массивов и грунтов, многие особенности их современного состояния и тенденции дальнейшего развития.

Развитие инженерной геологии по этому пути существенно расширяет рамки инженерной геологии. Она перерастет *в науку геологического цикла, исследующую глобальное многообразие инженерно-геологических объектов, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под воздействием природных и антропогенных современных и прогнозируемых геологических процессов в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человечества* [8, 9]. Такое содержание инженерной геологии требует решения действительно новых проблем и задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарик Г.К.* Общая теория инженерной (физической) геологии. М., 1981. 256 с.

2. *Бондарик Г.К.* Новый этап инженерной геологии // Инженерная геология. 1989. № 4. С.115-119.

3. *Ершова С.Б.* Основные положения инженерно-геологической типизации земного шара // Инженерная геология. 1979. № 3. С.31-42.

4. Инженерная геология сегодня и завтра. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1996. 166 с.

5. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология в СССР // Инженерная геология. 1987. № 4. С.3-9.

6. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология в СССР / Е.М.Сергеев, П.Ф.Швецов, Ф.В.Котлов, В.И.Осипов // Инженерная геология. 1982. № 6. С.3-12.

7. *Трофимов В.Т.* Содержание, структура и современные задачи инженерной геологии. Статья I. // Вестник Моск. ун-та. Сер.4. Геология. 1996. № 6. С.3-16. Статья II // Там же. 1997. № 2. С.3-12.

8. *Трофимов В.Т.* Новый этап развития инженерной геологии как науки // V Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле»: Тезисы докладов / МГГА. М., 2001. С.90.

9. *Трофимов В.Т.* Этапы развития и новые теоретические задачи инженерной геологии / Сергеевские чтения. Вып.4; ГЕОС. М., 2002. С.587-593.

10. *Трофимов В.Т.* Современная парадигма геологии и теоретические задачи инженерной геологии / В.Т.Трофимов, Т.И.Аверкина // Геоэкология. 2000. № 2. С.174-184.

11. *Трофимов В.Т.* Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение / В.Т.Трофимов, Д.Г.Зилинг. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1999. 120 с.

12. Engineering Geology of the Earth. Moscow: Nauka Publishers. 1989. 248 p.