

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Член-корр. АН АрмССР, профессор, докт. техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН¹

Реферат. Аналитические методы, применяемые в механике грунтов, основаны на значительном упрощении геологического строения. Обсуждается влияние геологических условий на геотехническое строительство. В настоящее время сделалось очевидным обратное влияние человеческой деятельности на геологические условия. Поэтому знание инженерной геологии и некоторых других геологических дисциплин важно для инженеров-геотехников. Геотехническое строительство следует выделить из строительной техники; оно должно заниматься вопросами оснований, насыпных и намывных плотин и подземным строительством. Геомеханика—одна из основ геотехнического строительства; она занимается изучением механизма геологических процессов. Обсуждаются применение обратных расчетов для интегральной оценки земляных массивов, обсервационный метод и мониторинг для уменьшения затрат времени и материальных средств при строительстве. Борьба с геологическими бедствиями представляет собой одну из важных задач ближайшего будущего. Комментируются предлагаемые темы дискуссии.

От редактора. С 11 по 15 августа 1985 г. в Сан-Франциско состоится XI Международный конгресс по механике грунтов и фундаментостроению. Программой предусмотрено заслушать на трех сессиях девять тематических лекций продолжительностью 60 мин каждая. Цель этих лекций—обобщить поставленные актуальные вопросы, дать их современное освещение и критическую оценку. Для обмена информацией о современных достижениях в областях, рассмотренных в тематических лекциях, намечено провести двадцать семь дискуссионных сессий. Программа конгресса включает следующие тематические лекции, которые будут прочитаны на пленарных сессиях (выделено курсивом), и темы, которые будут рассмотрены на дискуссионных сессиях.

1. Механика грунтов—характеристика свойств и методы анализа—К. П. Рос, Англия.

1А. Основные зависимости поведения грунтов (современные успехи).

1В. Численные методы (инженерный анализ нелинейных деформаций, вызванных податливостью, разрушением, размягчением при деформировании и повторным нагружением).

1С. Коэффициент запаса и анализ риска (влияние (а) методов анализа, (б) оценки параметров и (с) последствий разрушения).

2. Новое в полевых и лабораторных испытаниях грунтов—М. Ямолковски, Италия.

2А. Методы испытания in-situ (практическое определение параметров напряжений и деформаций in-situ).

¹ Заведующий Лабораторией геомеханики ИГИС АН АрмССР.

2В. Лабораторные испытания—методы и способы получения данных (определение свойств анизотропии и циклического нагружения; испытание особых типов грунтов).

2С. Испытания на центрифуге и их применение (современное состояние моделирования на центрифуге).

2D. Полевые приборы и полевые определения (оценка пьезометров и датчиков давления; системы автоматического получения данных).

3. *Геотехнические аспекты контроля окружающей среды*—Н. Р. Моргенстерн, Канада.

3А. Движение оползней и потоки наносов (техника для потоков и лавин, измерительные приборы, предупреждающие системы, предсказание, меры борьбы).

3В. Контроль фильтрации при геотехническом строительстве, учитывающем особенности воздействия на окружающую среду (влияние удерживающей жидкости и выбор фильтрационного барьера).

3С. Плотины хвостохранилищ и других запруживающих отходы систем (методы укладки и геотехническая характеристика).

4. *Сваи и другие глубокие фундаменты*—Дж. А. Фохт, США.

4А. Методы проектирования свайных фундаментов (сваи в илах; статическая и динамическая сопротивляемость).

4В. Столбчатые фундаменты (предсказание несущей способности буронабивных свай по испытаниям *in-situ*; несущая способность кустов).

4С. Фундаменты морских прибрежных сооружений (образованная трением несущая способность свай в известковых и очень плотных песках).

5. *Геотехнически запроектированное строительство*—Ф. Шлоссер, Франция.

5А. Влияние земляных работ на сооружения (предсказание перемещений и их влияние на соседние сооружения).

5В. Закрепление грунта (проектирование укрепления грунта).

5С. Применение геотекстиля (проектирование; применение результатов исследований).

6. *Оценка сейсмического риска в инженерной практике*—И. М. Айдрисс, США.

6А. Сейсмическая геология и анализ риска (заключение о повторении землетрясений по исторической сейсмичности и скорости геологического окользнения).

6В. Сейсмическая безопасность земляных сооружений (перманентные деформации: допустимые, предсказанные и измеренные).

7. *Сейсмическая устойчивость естественных отложений*—К. Ишихара, Япония.

7А. Разжижение грунтов при землетрясениях (разжижение грунтов, отличающихся от чистых песков; анализ динамических эффективных напряжений).

7В. Сейсмическая устойчивость природных склонов (оценка прочности при анализе устойчивости).

8. *Сравнение предсказанных и действительных характеристик земляных сооружений*—Э. У. Бранд (Ю.-В. Аизя).

8А. Предсказанные и действительные характеристики земляных и каменнонабросных плотин (критические факторы для предсказания напряжений, перемещений и порового давления; зависимость между предсказаниями характеристик и расположением измерительных приборов).

8В. Предсказанные и действительные характеристики креплений откосов (упрощенные методы предсказания рабочих нагрузок и деформаций).

8С. Предсказанное и действительное поведение фундаментов (уместность и претворение новых достижений анализа и теории в практике проектирования).

8Д. Профессиональная практика в геотехническом строительстве (профессиональная ответственность).

9. *Геологические аспекты геотехнического строительства*—Г. И. Тер-Степанян, СССР.

9А. Геологические аспекты проблем устойчивости склонов (трехмерные эффекты; прогрессирующее разрушение; влияние ориентированных нарушений непрерывности).

9В. Геологические аспекты строительства земляных плотин размыв основания при высоких градиентах; пригодность грунтов и горных пород с изменяющимися свойствами в качестве материала для набросных плотин).

9С. Проблемы в областях с особыми геологическими условиями (проблемы оснований в аридных зонах).

Ниже дается перевод тематической лекции чл.-корр. АН АрмССР Г. И. Тер-Степаняна «Геологические аспекты геотехнического строительства» на русский язык.

Введение

Для меня большая честь прочесть эту лекцию перед международным конгрессом по механике грунтов и фундаментостроению—высшим форумом нашей области знаний. Два обстоятельства делают мою задачу более ответственной.

Во-первых, это юбилейный конгресс, на котором мы подводим итоги бурного развития механики грунтов и фундаментостроения за половину столетия во всем мире. Я принадлежу к числу немногих в данной аудитории, кто представил доклад Первому международному конгрессу в 1936 г., и могу тем самым причислить себя к участникам героического этапа истории механики грунтов. Громадный путь от Гарварда до Сан-Франциско, длиной почти в пятьдесят лет, прошел через многие столицы и крупные города мира—Роттердам, Цюрих, Лондон, Париж, Торонто, Мехико, Москву, Токио и Стокгольм. Много важных событий и крупных перемен произошло за это время, многие выдающиеся ученые изумляли нас своими открытиями, и везде росла необходимость в наших знаниях. Наша наука развивалась на глазах старшего поколения специалистов по механике грунтов и сделалась в настоящее время одной из ведущих наук инженерно-строительного профиля.

Во-вторых, тематические лекции этого конгресса должны отличаться новой особенностью; они должны быть не докладами о современном состоянии науки или генеральными докладами, а скорее лекциями типа тех, какие читаются как Ренкиновские или Терцагианские лекции. Я понимаю это требование как желание Оргкомитета конгресса не столько заниматься прошлым или настоящим, сколько смотреть вперед, думать о будущем, о путях дальнейшего развития нашей науки. Эти пути должны быть адекватными проблемам, стоящим перед человеческим обществом уже в настоящее время, которые приобретут важнейшее значение в начале следующего века.

Мы живем в очень динамичное, сложное и интересное время. Длительность нынешнего века ничтожна по сравнению с длительностью

существования человечества. Несмотря на это, в течение последнего века произошли огромные изменения в Природе, вызванные человеческой деятельностью, запланированные и непредвиденные, разумные и неразумные. Подобные изменения окружающей среды в нормальных природных условиях потребовали бы многих тысячелетий и даже миллионов лет; в наши дни они происходят за время жизни одного поколения. Эти изменения имеют прямое отношение к данной лекции.

Наше сегодня не похоже на вчера, и наше завтра не будет таким же, как сегодня. Мы обращаемся к истории только потому, чтобы лучше понять наше сегодняшнее положение и представить себе задачи будущего.

Начало и конец последнего пятидесятилетия были важными поворотными этапами, изменившими ход мышления в механике грунтов, и заслуживают исследования.

Блестящее открытие механики грунтов Терцаги, ознаменовавшееся публикацией «Строительной механики грунтов на основе его физических свойств» и «Основ механики грунтов» в 1925 г., дало огромный импульс инженерам-строителям, занимающимся основаниями и земляными сооружениями. Они получили наконец новое орудие, позволяющее им рассчитывать таинственный грунт, правда, как материал со сложными свойствами, которые изменяются в зависимости от напряженного состояния и от времени. Идея рассматривать грунт как обычный строительный материал вроде бетона или стали выглядела привлекательно. Это делало механику грунтов как бы сопротивлением материалов в применении к грунтам. В ранних исследованиях грунты трактовались именно как материал, их структура не представляла интереса. Это подтверждается методом подготовки грунтов к испытаниям: они высушивались, растирались, пропускались через сито и замешивались с водой. Однако механика грунтов, даже на самых ранних стадиях своего развития, никогда не была только грунтоведением, занимающимся изучением свойств грунтов; она рассматривала и такие практические задачи, относящиеся к грунтовым массивам, как устойчивость откосов, свайные основания, подпорные стенки, сетки течения и т. д. Важно то, что во всех этих задачах имелись в виду однородный грунт и простейшее геологическое строение.

Иначе и не могло быть на той стадии изучения, и наша цель не критиковать, а правильно понять состояние вопроса. Создание учения о сопротивлении такого материала, как грунт, было огромным прогрессом. Все мы помним триумфальный путь механики грунтов; он связывается в нашей памяти с именами таких ученых, как Бишоп, Бьеррум, Герсеванов, Гольдштейн, Де Беер, Казагранде, Керизель, Лемб, Ленардс, Митчелл, Мураяма, Пек, Роско, Сид, Скемптон, Тайлор, Терцаги, Уитман, Флорин, Цытович, Чеботарев, Шукле, Шульце и многие другие. Однако знание сопротивления материалов позволяет рассчитывать сравнительно простые элементы сооружений или машин, но не сами сооружения или машины. Для этих целей служат науки следующего цикла, как строительная механика или теория машин и механизмов.

К сожалению, ситуация в отношении земляных сооружений и оснований была другой, и выводы, сделанные на основании рассмотрения простых грунтовых моделей, стали прилагаться к сложным природным условиям. Был использован имеющийся математический аппарат, и было предложено множество расчетных методов, которые быстро и широко распространились. Эти два обстоятельства взаимосвязаны, так как трудности математического анализа требовали приня-

тия ряда допущений, одно из которых заключалось в упрощении геологического строения.

Влияние геологии на геотехнику

Эйфория, вызванная возможностью свободно применять инженерные методы при расчете и проектировании оснований и земляных сооружений, не была длительной. Для применения выводов механики грунтов, ограниченных рядом упрощающих допущений, и использования математических методов потребовалась большая схематизация геологического строения, и поэтому полученные результаты в случае сложных геологических и гидрогеологических условий оказывались далекими от реальности.

Следует различать два типа проблем в области применения механики грунтов, связанных с (1) насыпными земляными сооружениями и (2) отрытыми земляными сооружениями и основаниями инженерных сооружений.

В первом случае (земляные плотины, дамбы, дороги, аэродромы и другие насыпи) технология производства работ позволяет выбирать тип, конструкцию, расчетное сечение и материал; такую работу можно уподобить конструированию элементов сооружения. Во втором случае (выемки, туннели, большие подземные выработки, подготовка оснований плотин и др.) работа ведется в среде, образованной в течение длительной истории геологического развития, и результат существенно зависит от расположения, характера залегания и свойств грунтовых тел. Понятно, что свойства грунта могут быть до некоторой степени улучшены на месте путем осушения, закрепления, забивки свай и др. в соответствии с информацией, полученной при исследовании грунтов. Однако эти меры в ряде случаев могут оказаться неэффективными вследствие недостаточного знания геологических условий и их существенного упрощения при интерпретации результатов бурения, невыявленной роли второстепенных геологических деталей и неизбежных неопределенностей, связанных с предсказанием работы основания на данном участке и, наконец, трудностью контроля за исполнением. Хорошо известным результатом пренебрежения физической стороной процесса и переоценки математических методов является неправильное применение механики грунтов. Такую работу можно уподобить случаю строительства с использованием существующих сложных конструкций, когда тип и свойства элементов этих конструкций недостаточно известны и когда может быть осуществлено лишь небольшое, недостаточно поддающееся расчету и контролю, усиление элементов.

Заслуживает внимания тот факт, что в начальной стадии развития механики грунтов результаты в северных районах, сложенных молодыми четвертичными отложениями, были лучше, чем в более южных областях северного полушария, сложенных переконсолидированными глинами третичного возраста. Понимание природы переконсолидированных глин сделалось возможным позднее, на основе представлений об истории напряжений и геологическом давлении. Они привели к важным выводам о восстановимой энергии деформирования, замыкаемой в глинистых сланцах диагенетическими связями (Бьеррум, 1976). Изучение литифицированных переконсолидированных глин и глинистых сланцев будет иметь также большое палеогеографическое значение для восстановления условий образования этих пород и действовавших в прошлом вертикальных и горизонтальных напряжений.

Наблюдаемая и в наши дни тенденция неправильного применения механики грунтов стимулируется традицией публиковать результаты успешного использования механики грунтов и замалчивать неудачи. Известными становятся только аварии и обрушения крупных сооружений, в особенности когда они сопровождаются человеческими жертвами и замалчивание делается невозможным.

Как правило, инженеры находятся между технической Сциллой, побуждающей их к строительству более прочных сооружений при неопределенности условий, и экономической Харибдой, настаивающей на более дешевых решениях.

Инженер-строитель, имеющий дело с такими материалами, как бетон, сталь, пластмассы или дерево, находится в лучшем положении, так как наука снабдила его методами расчета и конструирования, которые могут служить надежными картами для того, чтобы корабль благополучно миновал проход между этими коварными скалами. Но инженер, занимающийся подземным строительством в грунтах необычного состава, слабых или неустойчивых, со сложной геологической историей, находится в значительно худших условиях, и мир часто узнает об очередном кораблекрушении, когда судно разбилось о техническую Сциллу. К сожалению, об излишних расходах, вызванных незнанием, компенсируемым бесполезными устройствами или размерами сооружений, известно меньше, и экономическая Харибда остается таким образом в тени.

Геотехническое строительство отличается от других видов техники, как, например, строительная техника, гидротехника, машиностроение и др., чрезвычайным разнообразием используемых материалов и очень ограниченной возможностью их выбирать. Свойства материала, с которыми нам приходится иметь дело, колеблются в весьма широких пределах, не сравнимых с пределами колебаний свойств обычных строительных материалов, как железо, кирпич, цемент или дерево. Хвойный лесоматериал из Канады и Сибири или стальные швеллеры из США и Индии имеют одинаковые свойства. Этого нельзя сказать о грунтах и скальных породах. Один и тот же первичный материал, одновременно осевший на дно нижнекембрийского моря на континентальной платформе Балтийского щита и в геосинклинали Северной Америки, за протекшие полмиллиарда лет дал совершенно различные материалы—пластичную синюю глину в окрестностях Ленинграда и глинистые сланцы Аппалачей. Даже в пределах одной и той же области осадконакопления встречаются совершенно различные породы; примером может служить мощная толща нижней терригенной геосинклинальной формации средней юры Северного Кавказа. В северных предгорьях она представлена в основном серыми глинами; ближе к Кавказскому хребту в результате слабого регионального метаморфизма эта толща превратилась в полутвердые сланцеватые глины и глинистые сланцы, а еще южнее—в твердые филлитовые сланцы. Поэтому столь важное для геологов определение возраста пород имеет для геотехнического строительства небольшое значение и гораздо более существенно определение состояния пород. Из этого вытекает, что для идентификации пород приходится детально описывать их и производить разнообразные анализы.

К середине тридцатых годов укрепилась тенденция учета геологических факторов, вначале с позиции структуры грунта, а затем и геологического строения. Возникло понимание необходимости изучения образцов грунта с ненарушенной структурой, были разработаны понятия о переконсолидированных и чувствительных глинах и др. Ряд до-

кладов, представленных Первому международному конгрессу по механике грунтов в 1936 г., отражает тенденцию учета структуры грунта.

Дальнейшие исследования в течение истекшего пятидесятилетия расширили и дополнили арсенал механики грунтов. Были созданы новые направления науки, как механика мерзлых, структурных, частично водонасыщенных, просадочных, чувствительных, анизотропных, расширяющихся, закрепленных, органических и других грунтов. Были разработаны новые подходы к решению проблемы, как механика критического состояния (Schofield, Wroth, 1968), когда материал ведет себя как фрикционная жидкость и не происходит ни уплотнения, ни дилатенции; нелинейная механика грунтов; механика частичных сред, где грунт не заменяется упрощенной непрерывной средой, но выступает с присущими ему дискретными свойствами и трактуется как стохастическая система (Hagg, 1977). Благодаря новым исследованиям, проведенным в течение последних десятилетий, механика грунтов обогатилась и поднялась до уровня теории упругости или теории пластичности в применении к грунтам.

Терцаги (1973) следующим образом объясняет важное различие между строительной техникой и прикладной механикой грунтов: «Многие проблемы строительной техники могут быть решены только на основании сведений, содержащихся в учебниках, и проектировщик может приступать к работе, используя информацию, как только он сформулировал проблему. Наоборот, в прикладной механике грунтов должна быть произведена большая и оригинальная умственная работа до того, как описанные в учебниках методы смогут быть с уверенностью применены. Если инженер, руководящий проектированием земляных работ, не имеет требуемых геологических навыков, воображения и здравого смысла, его знания по механике грунтов принесут ему больше вреда, чем пользы. Вместо того, чтобы использовать механику грунтов, он будет злоупотреблять ею».

То же самое дословно относилось бы и к строительной технике в том гипотетическом случае, если бы она обладала вполне разработанными теориями упругости и пластичности, но не имела строительной механики как науки о принципах и методах расчета сооружений на прочность, деформативность, устойчивость и колебания.

Строительная механика—сравнительно молодая наука, возникшая в начале XIX в. Однако задолго до ее возникновения, в античности, строили прекрасные мосты и акведуки, а в средние века возводили величественные готические соборы без знания строительной механики. Естественно, такую работу приходилось выполнять, опираясь только на интуицию, опыт, большую и оригинальную умственную работу, строительные навыки, воображение и здравый смысл. Только гении могли справиться с ней. В наши дни расчет подобных сложных инженерных сооружений представляет собой обычную работу, а изучение методов расчета входит в курсы по строительной механике для студентов строительных факультетов.

Влияние геотехники на геологию

Под этим несколько условным заголовком понимаются изменения в геологической среде, внесенные технической деятельностью человека в течение последней эпохи. Человек начал преобразовывать природу с начала голоцена, примерно девять или десять тысяч лет назад, когда он от охоты и собирательства перешел к земледелию и скотоводству. Этот важный переход от присвоения пищи к ее производству, названный неолитической революцией (Childe, 1948), сопровождался демо-

графическим взрывом. Густые девственные леса в обширной широтной полосе, протягивающейся через Северную Африку и Южную Азию, а позже в Южной Европе и Центральной Америке были вырублены и сожжены для выращивания злаков и пастбы животных. Позже эти первобытные, экстенсивно используемые поля и пастбища частично уступили место степям, а в дальнейшем, вследствие процесса опустынивания,—полупустыням и пустыням. Деятельность человека сделалась мощным геологическим агентом, с возрастающей скоростью и интенсивностью изменяющей лик Земли. Островообразные участки техногенного воздействия человека на природу расширялись, делались более интенсивными, сливались друг с другом и охватывали все большую часть земной поверхности.

Техногенное преобразование земной поверхности сделалось вполне очевидным в настоящее время и представит собой важнейшую проблему ближайшего будущего. Этот вопрос касается нас непосредственно, так как многое зависит от того, насколько разумно инженеры, занимающиеся подземным строительством, будут решать свои задачи. Для этого они должны знать, какие ближайшие и отдаленные последствия вносит их деятельность в геологическую обстановку. Вопрос о техногенном влиянии на геологическую среду очень обширен, и даже краткий его обзор в настоящей лекции невозможен. Поэтому ограничимся несколькими примерами.

Интенсивное уничтожение лесов на больших площадях ведет к почвенной эрозии, оголению горных склонов, образованию пустынь, оползней и селей, обмелению рек, опустошительным наводнениям, ускоренному размыву, расширению речных дельт и т. д.

Разработка карьеров и шахт представляет собой вызванное человеком физическое выветривание, причем в последнем случае оно происходит на глубинах, необычных для природных процессов. Количество ежегодно перемещаемого вещества измеряется тысячами кубических километров и продолжает увеличиваться.

Возникли новые техногенные формы рельефа—участки почвенной эрозии и развеивания песков вследствие уничтожения лесов, бедленды, искусственно образованные пустыни, аккумулятивные гряды, террасированные склоны, дороги, плотины, заиленные водохранилища, глубокие открытые разработки, отвалы, терриконы, хвостохранилища и др.

На положение горизонта грунтовых вод значительное влияние оказывают создание крупных водохранилищ, ирригация, утечка из водопроводных и канализационных линий и дренажей. В городах, получающих воду из отдаленных источников, горизонт грунтовых вод куполообразно поднимается и происходит набухание расширяющихся глин или просадка лессовых грунтов. В городах, получающих подземную воду, образуются глубокие депрессионные воронки и происходит консолидация глинистых пластов вследствие повышения эффективных напряжений или возобновление карстового процесса. Химический состав подземных вод изменяется вследствие загрязнений, утечек, хранения отходов и инфильтрации растворов.

Оползни в высокоразвитых странах большей частью вызываются неразумной человеческой деятельностью, например, чрезмерной подрезкой склонов, уничтожением лесов, высоким поровым давлением после увлажнения, высоким фильтрационным давлением при быстрой сработке водохранилищ и др.

При сооружении плотин образуются местные базисы эрозии для вышерасположенных частей гидрографической сети: донная эрозия

прекращается и начинается накопление наносов. Регулирование рек приостанавливает боковую эрозию. Создание крупных водохранилищ в равнинах вызывает переработку их берегов и образование оползней. Переброска стока из одного бассейна в другой при строительстве гидростанций изменяет гидрографическую сеть. Заметная часть речного стока используется человеком для его нужд уже в наше время; несомненно, что большая его часть будет многократно использоваться в будущем, и речная эрозия сохранится лишь в верхних отделах рек.

Многие участки морских берегов защищаются от абразии набережными, пирсами, волноломами и стенками. В Нидерландах осушаются марши, а в Японии и некоторых других местах засыпаются неглубокие участки морского дна. По мере удлинения протяженности защищаемых морских берегов роль абразии будет уменьшаться.

Техногенное опускание земной поверхности происходит над горными выработками и в результате извлечения воды, газа и нефти. Землетрясения могут быть вызваны сооружением водохранилищ вследствие увеличения нагрузки на земную поверхность и увеличения порового давления, т. е. уменьшения эффективного сопротивления сдвигу.

В течение более 2,5 миллиарда лет в результате консолидации осадков образовывался один и тот же набор горных пород—глины и аргиллиты, пески и песчаники, известняки, доломиты и мергели, вулканогенный материал, диатомиты, угли, соли и др. Техногенные отложения, образовавшиеся в течение последних тысячелетий, заметно отличаются большим разнообразием. Они представляют собой такой же самостоятельный генетический тип, как например, аллювиальные или вулканогенные отложения. Техногенные отложения различаются по условиям образования (пахотные земли, насыпи, мусор, промышленные отходы и др.) и вещественному составу (терригенные, хемогенные и органогенные отложения, органо-минеральные смеси и др.). Они не зависят от внешней обстановки (местонахождение материнских пород, гипсометрическое положение, климат, тектоника, условия осадконакопления и др.) и содержат искусственные горные породы (кирпич, бетон, металлы, пластмассы, резину, стекло, золу, асфальтобетон, шлаки и др.). Мощность техногенных отложений в различных местностях значительно колеблется; в некоторых местах она достигает нескольких десятков метров.

Поражают не только масштабы, но и темпы техногенного преобразования Земли. Достаточно сказать, что «в настоящее время площадь земли, занятая под жилые застройки и другие инженерные сооружения, составляет 4% суши, а к 2000 году эта площадь будет составлять около 15% суши» (Сергеев, 1982). Естественно, что это средние данные, и в развитых странах доля земли, занятой сооружениями, дорогами и др., значительно выше; так, в Великобритании этот показатель (14—15%) был достигнут уже к концу шестидесятих годов (Av-gill, 1969).

На Земле в настоящее время совершенно не сохранилось подлинно четвертичных участков; даже в Гренландии идут кислотные дожди, а в Антарктиде в мясе пингвинов обнаруживается повышенное содержание ДДТ. Наиболее интенсивно преобразованными областями являются мегалополисы—крайне урбанизированные полосы сплошного высококонцентрированного населения; например, на Атлантическом побережье США мегалополис протягивается от Бостона до Вашингтона на расстояние до 1000 км и местами достигает в ширину 200 км.

Меньшие мегалополисы имеются в Европе, Азии и Америке. Размеры и число мегалополисов будут возрастать.

Огромные изменения на Земле, происходящие под действием нового, ранее неизвестного геологического агента—человеческой деятельности, позволяют рассматривать голоцен как переходную эпоху от четвертичного периода, или плейстоцена, к пятеричному, или техноновому, периоду (Тер-Степанин, 1982).

Человек будет все глубже забираться в глубь земной коры в поисках полезных ископаемых, он будет все шире использовать подземные помещения для хозяйственных целей, все смелее строить в необжитых районах, в областях распространения грунтов со сложными свойствами—мерзлых, просадочных, слабых, набухающих и др. Требования к нашей профессии будут постоянно возрастать.

Механика грунтов и инженерная геология

Из вышесказанного вытекает два следствия. Первое следствие заключается в том, что в области геотехнического строительства создавалась сложная ситуация. С одной стороны, имеется хорошо разработанная механика грунтов, способная решать различные теоретические и практические задачи, в которых грунт выступает в качестве материала. Использование численных методов, главным образом, метода конечных элементов, с применением ЭВМ существенно расширяет круг этих задач. С другой стороны, существуют определенные трудности для возможности адекватного представления реальных грунтов с их сложной историей развития и множественными связями в виде расчетных параметров. Этого не было бы, если бы существовала наука последующего уровня, которая играла бы в отношении механики грунтов ту же роль, какую играет строительная механика в отношении теории упругости, пластичности и ползучести. Отсутствие подобной науки не могло быть компенсировано дальнейшим развитием механики грунтов, так как здесь требуется не только применение инженерных принципов, но также и естественно-исторический подход.

Второе следствие заключается в том, что всевозрастающее техногенное давление на природу требует опережающего развития указанной науки, которая могла бы служить ключом для понимания отдаленных результатов человеческой деятельности и прогнозировать изменения лица Земли, а главное, направлять инженерную деятельность таким образом, чтобы человеческое воздействие на природу было разумным. Наукой геологического цикла, занимающейся этими вопросами, является инженерная геология. Это древнейшее направление геологической деятельности, восходящее еще к тому времени, когда палеолитический человек был вынужден уметь оценивать прочность кровли пещеры или выбирать кремень или обсидиан среди множества других камней, переживает в нынешнем веке свое возрождение. В историю этой науки вписали свои имена многие крупные ученые—Ариу, Атчинсон, Берки, Варнес, Денисов, Заруба, Леггет, Ломтадзе, Маслов, Мюллер, Попов, Саваренский, Сергеев, Тавенас, Терцаги, Томсон, Фукуока, Штини, Яки и многие другие.

Нельзя сказать, что необходимость в новом подходе является открытием. Наоборот, имеются многочисленные подтверждения того, что этот вопрос ставился, и не однажды. Он вылился главным образом в форму проблемы взаимоотношения между механикой грунтов и инженерной геологией, или, если говорить более узко и конкретно, в вопрос о том, должен ли специалист по механике грунтов знать инженерную геологию и в какой степени.

Вероятно, одним из первых, задавшихся этим вопросом, был американский инженер-геолог Берки; роль техники в инженерной геологии была описана им следующим образом: «Положение геолога аналогично положению юрисконсульта на суде. Он может формулировать мнение, но никогда не принимает решения... Его обязанность выявлять, предупреждать, объяснять без взятия на себя особой ответственности инженера, который должен проектировать сооружение и определять, как удовлетворить выдвинутым требованиям, и выступать как человек, ответственный за строительный объект» (Berkey, 1929).

В начале пятидесятых годов Баруелл и Робертс высказались в том же духе относительно роли инженер-геологов в крупных технических организациях (Burwell, Roberts, 1950), однако такая точка зрения не была общепризнанной. Советский инженер-геолог проф. Н. Н. Маслов (1949) отмечал, что инженерная геология для разрешения всех возникающих перед ней задач использует прикладную механику грунтов, которая таким образом становится ее основной базой. Этот ученый показал практически эффективность одновременного использования результатов, даваемых обеими дисциплинами.

В начале шестидесятых годов Бэнкс считал целесообразным разделение труда между инженером-строителем и инженером-геологом (Banks, 1961). Тогда же Терцаги опубликовал свою программную статью «Инженерная геология на производстве и в аудиторинг», в которой обрисовал значение инженерной геологии при строительстве, производимом в мягких грунтах и скальных породах. Терцаги полагал, что утверждение Берки относительно роли инженер-геологов правильно, однако он добавил, что «чем больше инженер-геолог понимает в инженерном деле, тем более он квалифицирован для выявления слабых мест в проекте вследствие геологических условий, которые могли ускользнуть от внимания инженеров. Ему также будет легче установить, может ли быть получена существенная дополнительная информация путем дополнительного бурения. Однако он сам ни в коем случае не должен пытаться подсказывать инженеру, как тот должен поступать, и его об этом не должны спрашивать» (Terzaghi, 1961).

Свою статью он заканчивает программой курса по инженерной геологии для студентов строительных факультетов, рассчитанной на 40 часов, в которой материал делится на две части: инженерные аспекты геологических тем и геологические аспекты инженерных действий; при этом предполагается, что студент знаком с элементарным курсом динамической геологии. Он утверждает, что «в области техники земляных работ случаи, когда инженерные проблемы требуют участия инженер-геологов, редки, если инженер-строитель получил соответствующее образование». Относительно этого утверждения Рипли заметил, что необходимость в профессиональной геологической консультации зависит от трех факторов: относительной важности строительства, сложности геологического строения и уровня геологического образования или опыта данного инженера-строителя (Ripley, 1962). Первые два пункта имеют объективное значение и поэтому находятся вне нашего контроля. Относительно третьего пункта очевидно, что не только необходимость, но и эффективность профессиональной геологической консультации сильно зависят от геологической подготовки ее получателя.

Для того, чтобы не быть неправильно понятым, автор хочет подчеркнуть, что он не против профессиональной геологической консультации, когда она необходима, но он против узаконенной некомпетент-

ности инженеров по подземному строительству в отношении геологических условий строительной площадки.

В начале семидесятых годов этот вопрос обсуждался Дирманом, который определил инженерную геологию как «геологическую науку или дисциплину в приложении к инженерно-строительному делу, в частности в приложении к аспектам проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений на грунте и в нем» (Dearman, 1971). Дирман отмечает, что инженерная геология «не является каким-либо особым видом геологии, но представляет собой полный спектр науки, включая палеонтологию, структурную геологию и петрологию».

В начале восьмидесятых годов Инженерная группа Лондонского геологического общества обсуждала вопрос «Следует ли преподавать инженерную геологию, и если да, то как?» На этот вопрос не было получено определенного ответа. Вскоре после того Хенкел прочел Ренкиновскую лекцию на тему «Геология, геоморфология и геотехника», в которой он обсуждает роль геоморфологии как связующего звена между геологами и геотехническими инженерами (Henkel, 1982). Как и все его предшественники, Хенкел присоединяется к концепции Берки, согласно которой геолог должен выявлять, предупреждать и объяснять, тогда как инженер должен проектировать, решать и быть ответственным за строительство.

Мы видим, что ведущие ученые нашей специальности практически через каждые десять лет возвращались к одной и той же проблеме: должен ли инженер-строитель владеть инженерной геологией или нет. Они неизменно находили это излишним и считали, что инженеры-строители должны довольствоваться консультациями инженеров-геологов. Несмотря на их единодушие, вопрос регулярно возникал вновь.

«Ничего и никогда не решено, пока не решено правильно» (Киплинг). Тогда вопрос снимается. Если проблема решена неправильно, она всплывает вновь и вновь. Все вечные вопросы имеют под собой одну и ту же почву. Дело не в неправильном мышлении крупных ученых, а в изменении нашей жизни. Вероятно, решения, предлагаемые в тридцатых и даже шестидесятых годах, были вполне правильными для того времени, и инженеры-строители широкого профиля обучения должны были удовлетворяться геологическими консультациями. Но это не подходит для ближайшего будущего, когда воздействие человека на окружающую среду делается еще более сильным.

По моему мнению, инженеру, занимающемуся подземным строительством, основательное знание инженерной геологии необходимо в той же степени, как хирургу знание физиологии. Они оба не могут удовлетворяться консультациями и сами должны понимать свои действия и их результат. Нельзя отрицать ценности консультации высококвалифицированных специалистов, особенно в сложных случаях, но инженер, ответственный за важные решения, не может действовать только по подсказке.

Подготовка специалистов по геотехническому строительству

В области геотехнического строительства существует довольно странная ситуация. Ни одно высшее учебное заведение не готовит специалистов для этой важной отрасли исследования и строительства, и лица, занимающиеся этим делом, пришли в нее из смежных специальностей—это инженеры-строители, инженеры-геологи, горные инженеры и т. д. Основное ядро составляют инженеры-строители. В процессе

обучения они получают достаточные сведения по технике подземного строительства, излишние сведения о надземном строительстве и совершенно недостаточные сведения по инженерной геологии. Вопрос несоответствия между получаемыми в высших учебных заведениях знаниями и задачами, которые должны решаться на практике, очень важен сегодня и сделается еще более важным завтра. Большая часть присутствующих будет работать и в будущем веке, ведь он так приблизился! Готовы ли лица нашей профессии к двадцать первому веку?

Может сложиться впечатление о нереалистичности позиции автора: усиление инженерно-геологической подготовки инженеров-строителей, которые будут заниматься геотехническим строительством, желательно, но практически невозможно. Программа для студентов строительных факультетов и так перегружена, и в лучшем случае может быть включен курс, рассчитанный на сорок часов, как это было предложено Терзаги и, вероятно, осуществлено в большинстве высших учебных заведений. Однако речь идет не о такой программе, а, возможно, в десять раз большей, необходимой для подготовки полноценных специалистов в области фундаментостроения, плотностроения и подземного строительства. Такое предложение покажется нереалистичным.

Выход из положения может быть найден в специализации обучения. Из инженерно-строительного дела должно быть выделено геотехническое строительство. Термин «геотехническое строительство» представляется более подходящим и точным, чем вышеупомянутые термины «фундаментостроение и подземное строительство», хотя бы потому, что плотностроение, занимающее видное место в нашей работе, не является ни фундаментостроением, ни подземным строительством. В немецком языке имеются совершенно адекватные термины: «Hochbau» для инженерно-строительного дела и «Tiefbau» для геотехнического строительства.

Студенты факультетов геотехнического строительства должны изучать не только инженерную геологию, но также и ряд других геологических и геофизических дисциплин, как литологию, стратиграфию, тектонику, гидрогеологию, минералогию глин, палеогеографию, сейсмологию и др.

Эти дисциплины ни в коем случае не должны быть упрощенными версиями, доступными для понимания и достаточными для инженеров; наоборот, они вместе с изложением основного материала должны давать специальные главы, относящиеся к изучению малых площадей в крупном масштабе. Изложение содержания этих специальных глав выходит за пределы настоящей статьи; однако чтобы пояснить свою мысль, приведу наудачу те вопросы, которые должны получить в них отражение. Легко видеть, что все эти вопросы в обычных курсах геологических наук не рассматриваются и что инженер-геологам приходится самим разрабатывать методы и исследовать эти вопросы в процессе текущей работы.

В стратиграфии помимо описания последовательности формирования геологических тел и их первоначальных пространственных соотношений должно быть показано очень детальное членение осадочных и эффузивных пород, в особенности подразделение четвертичных отложений на тонкие слои и прослойки, различающиеся по совокупности литологических, петрографических, минералогических, микрофаунистических и палинологических характеристик. Это необходимо для корреляции грунтовых пластов в пределах небольших площадей, выявления их деформаций вследствие движений масс на склонах и понимания механизма оползания.

В геоморфологии, помимо изучения крупных форм рельефа—суши и дна морей и средних форм—речных и троговых долин, ледниковых и карстовых областей, равнин и плато, должны детально исследоваться малые формы рельефа. Необходимо различать эрозионный, оползневой и карстовый рельеф, выделять останцы поверхностей выравнивания и террас, распознавать солифлюкцию и аккумулятивные гряды, рвы и склоновые каналы, наледи и пучины, соляные купола и межкупольные понижения, долины и полье и т. д. Детальное изучение и интерпретация рельефа в районе строительной площадки в самых ранних стадиях исследований дает огромной важности информацию.

В палеогеографии, помимо восстановления географических условий крупных участков суши в древние геологические периоды, изображаемых в мелком масштабе, необходимо устанавливать историю развития рельефа небольших территорий в крупном масштабе начиная с некоторого исходного момента. К ним относятся определение положения реки до того, как лавовые потоки залили древнюю речную долину, вероятные гидрогеологические условия прошлого времени, распределение течений в мелководном бассейне и др. Это может иметь значение и для прогнозов геологической обстановки в изменившихся гидрогеологических условиях вследствие техногенных воздействий.

То же самое можно сказать и о других дисциплинах геологического и геофизического циклов—литологии, тектонике, гидрогеологии, сейсмологии и др. Будущий инженер-геотехник, вооруженный этими знаниями, сможет успешнее перейти к инженерной геологии как науке об инженерном значении геологических явлений и процессов и о способах их мониторинга.

Многие из специальных глав этих геологических дисциплин или их отдельные параграфы уже написаны и опубликованы в различных научных статьях, в частности в описаниях случаев из практики, и ближайшей задачей является их извлечение оттуда, анализ и систематизация.

Из сказанного не следует, что курсы указанных геологических дисциплин, преподаваемых будущим инженерам-геотехникам, должны быть большими по объему, чем те, которые в настоящее время преподаются будущим геологам. Наоборот, они могут даже оказаться меньшего объема, несмотря на включение специальных глав. Здесь необходимо вспомнить важное заключение проф. Пека о реальном существовании двух аспектов геологии: системы знаний и метода. Основные результаты системы знаний, касающейся истории Земли и жизни на ней, должны быть известны любому интеллигентному неспециалисту (Peck, 1962). Но система знаний содержит также огромную информацию относительно способов получения этих результатов и различные устаревшие точки зрения, которые были отброшены при кристаллизации современных взглядов. Эта информация может быть свободно опущена инженерами-геотехниками, в особенности те ее части, которые связаны с эндогенными процессами, вызванными внутренними силами Земли, как например, тектонические, магматические, метаморфические или гидротермальные. Для геотехнического строительства эти процессы представляют небольшой интерес по сравнению с экзогенными процессами, связанными с деятельностью внешних агентов, как например, вода, лед, ветер, тепло, живые организмы и наконец сам человек.

Геологический метод очень важен для инженеров-геотехников. Как указывает Пек, инженер должен знать, что наблюдать и как наблюдать (Peck, 1962). Он должен уметь обследовать и тщательно изучать формы рельефа и обнажения. Геологический метод прежде всего

заключается в собирании фактов и доказательств, основанных на наблюдениях. При производстве наблюдений геолог может даже не знать, полезны ли эти данные или будут ли они относиться к делу, но он должен производить свою работу с большой детальностью. Он картирует все полученные геологические данные, изучает свою карту и создает гипотезу относительно геологического строения и истории участка. Разумеется, все имеющиеся данные о геологическом строении и истории развития региона должны быть приняты во внимание. По мере получения новых геологических данных он видоизменяет и усовершенствует свою концепцию. Таким образом геологический метод заключается в переходе от частных к общему. Преимущества подобного аналитического подхода очевидны, так как геолог стремится понять существующую конструкцию.

Инженерный метод противоположен. Инженер сначала создает в своей голове несуществующую машину в целом, а затем переходит к обдумыванию деталей. Инженер-геотехник не является ни только геологом, ни только инженером, он скорее всего и то и другое. Он должен понять существующую геологическую конструкцию, затем создать вначале в своей голове подземную конструкцию и предвидеть взаимодействие обеих конструкций. Он должен в достаточной мере владеть и геологическим, и инженерным методами.

Геомеханика—наука более высокого уровня

Знание ряда геологических наук, даже переработанных для инженерных целей,—необходимая, но недостаточная составляющая общей работы. Как указывалось выше, механика грунтов должна быть дополнена наукой последующего, более высокого уровня, эквивалентной строительной механике.

Такой наукой является геомеханика. Она точно так же, как механика грунтов и механика скальных пород, относится к циклу технических наук.

Геомеханика—сравнительно молодая наука. Она начала развиваться в пятидесятых годах и в настоящее время продолжает развиваться быстрыми темпами (Müller, 1951, 1960). Это наука широкого профиля, и она еще далека от зрелости.

Геомеханика занимается изучением механизмов геологических процессов, основываясь на законах и принципах механики сплошных сред, реологии, механики грунтов и скальных пород, гидравлики и термодинамики (Тер-Степанян, 1967). Под механизмом геологических процессов понимаются последовательность состояний массива грунта или скальной породы и условия перехода из одних состояний в другие под действием различных природных и техногенных факторов. Он включает в себя углубленное изучение геологических процессов с учетом напряженно-деформированного состояния и времени и имеет своей целью количественное выражение результатов. Выше было указано, что в настоящее время геологические процессы вызываются как природными факторами, так и человеческим воздействием. Поэтому состояние грунтовых и скальных массивов и изменения этих состояний могут происходить вследствие различных природных и техногенных факторов.

Анализ механизма геологического процесса может охватывать как всю историю отложения начиная с осадконакопления, так и только конечную фазу начиная с некоторого исходного момента; анализ касается не только изменений вещественного состава или строения, но и изменений напряженного состояния. Здесь термин «строение» (fabric)

применен в том смысле, который в него вкладывают Фридман (Friedman, 1964) и Джеррард (Gerrard, 1977), а именно как совокупность «всех структурных и текстурных особенностей пород, проявляемых в любом различимом элементе, начиная с конфигурации кристалла отдельного минерального зерна до крупномасштабных особенностей, которые требуют полевого изучения».

Многие геологические проблемы могут быть успешно решены с помощью геомеханики, как-то: вопросы, связанные с седиментацией, консолидацией и пере консолидацией отложений, анализом дислокаций и внутрiformационных нарушений, изучением различных типов гравитационных движений земляных масс на склонах и др.

Рассмотрим возможный вклад геомеханики в проблему геотехнического строительства; круг этих вопросов очень велик, и его удастся обрисовать лишь частично. В этой быстро развивающейся области знаний трудно претендовать на полноту изложения проблемы. Гудехус предлагает следующую классификацию граничных условий проблем геомеханики в соответствии с термодинамическими критериями (Gudehus, 1977). В зависимости от скорости диссипации различаются четыре категории проблем:

- 1) равновесные состояния (нулевая скорость): упругое, псевдоупругое и упругое с предельными условиями;
- 2) стационарные процессы (постоянная скорость): упругая вибрация, потенциальное течение, пластичное течение и вязкопластичное течение;
- 3) стабилизирующиеся процессы (уменьшающаяся скорость): неустановившаяся вибрация, диффузия, консолидация, идеально упруго-пластическая деформация, пластическое упрочнение, ползучесть-релаксация и общие сопряженные процессы;
- 4) дестабилизирующиеся процессы (увеличивающаяся скорость): пластическое разрушение, пластическое размягчение, хрупкое разрушение и разжижение.

Это довольно четкая и понятая термодинамическая классификация задач геомеханики. Гудехус указывает, что к потенциальному течению относятся случаи потоков грунтовых вод, а также электрической или термической проводимости. Среди проблем диффузии интерес могут представить течение поровой воды в неводонасыщенных грунтах, набухание, теплопроводность и электроосмос. В качестве примера общих сопряженных процессов приводится случай с проходкой тоннеля в сложных геологических условиях, когда одновременно протекают несколько процессов: ползучесть-релаксация, разуплотнение, набухание, температурные изменения и нарушение электрохимических полей.

Что касается ползучести, то во всех случаях процесс стабилизируется в первой фазе—мобилизации и дестабилизируется во второй фазе—разрушения. При высоких касательных напряжениях процесс в фазе разрушения заканчивается срезом, а при промежуточных напряжениях он переходит в третью фазу—стабилизации; переход из одной фазы в другую происходит при пределах мобилизации и стабилизации, соответственно (Тер-Степанян, 1976).

Области применения геомеханики в геотехническом строительстве подразделяются по фазе развития процесса (начальная и конечная фазы деградации лессовых грунтов, фазы глубинной ползучести на склоне до и после оползания, состояние территории до начала отступления вечной мерзлоты, в процессе отступления и после таяния и т. д.) и по напряженному состоянию (нормальное распределение геостатического давления, пере консолидированные нелитифицированные глины с легко

высвобождающейся энергией деформирования, переконсолидированные литифицированные глинистые сланцы с замкнутой энергией деформирования, высвобождающейся после выветривания, породы с остаточными горизонтальными тектоническими напряжениями и др.).

Большой вклад в геомеханику и смежные области механики грунтов и инженерной геологии был сделан за последние десятилетия во многих странах мира; в трудах этих лет подчеркивается необходимость учета сложной геологической обстановки и изучения механизма геологических процессов. Среди наиболее интересных работ должны быть упомянуты исследования следующих авторов: М. Н. Гольдштейна (1971—1979), И. В. Попова (1959), Е. М. Сергеева (1982), Т. У. Лемба и Р. В. Уитмана (Lambe, Whitman, 1968), Л. Мюллера (1971; Müller, 1958; Müller, Fecker, 1978), С. С. Вялова (1978), Ленардса (1968), Ю. К. Зарецкого (1967), Варнса (1981), Н. А. Цытовича и З. Г. Тер-Мартirosяна (1981), К. Заруба и В. Менцла (Zaruba, Mencl, 1976, 1982), Ж. Вердайена, В. Руазена и Ж. Ньюан (Verdeyen et al., 1971), Э. Шульце и Х. Мууса (Schultze, Muhs, 1967), Санглера (Sanglerat et al., 1980), А. У. Скемптона (1967), Р. Б. Пека (1971), Л. Бьеррума и Т. К. Кенни (1970) и многих других. Автор счастлив, что ему довелось лично знать и долгие годы работать рядом с этими выдающимися учеными над развитием механики грунтов, инженерной геологии и геомеханики, ибо не может быть ничего более вдохновляющего, чем участвовать в создании новой быстро развивающейся науки!

Международное сотрудничество специалистов по механике грунтов способствовало развитию геомеханики. Почти каждый международный или региональный конгресс или симпозиум по механике грунтов делал свой вклад в сокровищницу геомеханики. Важное значение имеют доклады, представленные Международному симпозиуму по численным методам в механике грунтов и скальных пород, состоявшемуся в Карлсруэ в сентябре 1975 г. (Gudehus, ed., 1977).

Отдавая должное глубине исследований, изощренности методов и эффективности выводов теоретического и практического характера, которые присущи перечисленным и многим другим работам на эту тему, необходимо особо отметить непропорциональность, свойственную некоторым работам по геомеханике. Изучение геологических особенностей на довольно раннем этапе завершается некоторой идеализацией, воплощаемой в несовершенной математической модели, и далее осуществляется искусная техника анализа с применением ЭВМ, поглощающая основное внимание исследователей.

Это как бы периодические всплески математизированных идей,рывающихся из недостаточно изученного геологического ядра, которое поставляет последующим поколениям ученых новый, все более совершенный материал, адекватный действительности.

Совершенно необходимо дольше задерживаться на особенностях геологического строения и истории напряжений и извлекать больше информации из изучения строительных участков. Хорошим примером углубленного анализа строения и истории напряжений грунтов, имеющего целью создание математических моделей в прикладной геомеханике, является работа Джеррарда (Gerrard, 1977).

Обратные расчеты

Сложное или запутанное геологическое строение местности делает затруднительным, если не невозможным, получение репрезентативных образцов для лабораторных испытаний. Изучение большого коли-

чества образцов и нахождение средних значений расчетных параметров грунта не достигает цели, если роль более слабых прослоек окажется в действительности более высокой, чем это следует из усредненных оценок. Проф. Р. Б. Пек превосходно описал эту ситуацию (Рек, 1973).

Обратные расчеты позволяют получать обобщенные геотехнические характеристики грунтов, адекватно учитывающие всю сложную геологическую обстановку. Обратные расчеты оказались очень эффективными при решении задач устойчивости. Производя обратные расчеты обрушившихся склонов, можно получить полевые значения пикового и остаточного сопротивления сдвигу грунтов и применять в дальнейшем эти величины для определения степени устойчивости склонов, находящихся в тех же геолого-гидрогеологических условиях.

Эти данные свободны от ограничений, накладываемых на лабораторные испытания малым размером образцов, нарушениями структуры и напряженному состоянию при взятии образцов грунта и пренебрежением гидрогеологическими условиями. В отношении задач деформируемости склонов была показана возможность получения полевых значений двух главных реологических параметров — предела ползучести и коэффициента вязкости (Тер-Степанян, Симонян, 1982). В принципе возможно применение обратных расчетов также и к другим видам деформирования, как например, консолидации, набуханию и др.

Обсервационный метод и мониторинг

Обсервационный метод является в принципе наиболее логичным методом в тех случаях, когда имеем дело с происходящими в природе многофакторными процессами, которые не могут быть строго выражены в виде математических уравнений. При необходимости изменить ход этих процессов или оказать на них воздействие каким-либо путем, следует обдумать, составить план действий, попробовать и посмотреть, что из этого получилось. Если полученный результат соответствует предполагаемому, следует продолжать в том же направлении, если же нет, надо изменить план. По существу, вся медицина основана на этом принципе. Это наиболее древний способ мышления, который нельзя приписать кому бы то ни было.

Об успешном применении этого метода при строительстве гидроэлектрической станции Свирь-3 в СССР было сообщено Графтио (Graftio, 1936). Этот метод был кратко описан в 1948 г. Терцаги и Пеком (1958). Автор предложил применять этот метод при борьбе с оползнями (Тер-Степанян, 1957). Многочисленные случаи эффективного применения обсервационного метода были проанализированы в классических статьях Терцаги (1973) и Пека (1971); я не буду останавливаться на этих хорошо известных работах. При проведении наблюдений большую помощь могут оказать статьи, представленные симпозиуму, организованному Британским геотехническим обществом в 1973 г. (Field instrumentation, 1974), и книга под редакцией Гольдштейна (1970).

Несмотря на свои большие преимущества обсервационный метод не получил достаточного признания в геотехническом строительстве. Традиционный в гражданском строительстве принцип «исследуй, проектируй и строй» продолжает доминировать и в области геотехнического строительства. Д-р Рут Д. Терцаги констатирует это в своем предисловии к переводу на русский язык статьи К. Терцаги (1973) «Прошлое и будущее прикладной механики грунтов»: «Тот принцип, о котором сказано, что «обычай этот похвальнее нарушить, чем блюсти»

(«Гамлет» Шекспира), может быть выражен парафразой афоризма Сократа «бессмысленная деятельность не стоит того, чтобы ее осуществлять».

Имеет смысл проанализировать различие между геологическим и инженерным подходами к решению проблем геотехнического строительства. Инженерный подход хорошо известен. Когда инженер-строитель проектирует какое-либо сооружение, например, мост, он обязан учесть наиболее неблагоприятное сочетание условий его работы, в данном случае встречное прохождение двух тяжелых составов с большой скоростью при боковом ветре. Это оправданно, так как каждый из этих факторов и их сочетание вполне реальны.

Положение дел в геотехническом строительстве совершенно иное. В действительности существуют не реальные неблагоприятные факторы и их сочетания, а неопределенности геологического строения и влияние их сочетаний. Они могут быть, а могут и не быть—все зависит от успешности инженерно-геологических исследований и правильности геологической концепции. Эти неопределенности могут таить в себе реальную опасность для сооружения, а могут быть совершенно безвредными. Поэтому если в геотехническом строительстве принимать в расчет реальное существование этих факторов, а тем более их самое неблагоприятное сочетание, это приведет к дорогостоящим решениям.

Обсервационный метод является хорошей альтернативой, но он требует известной гибкости проектного решения. В качестве основы проектирования должна служить не наиболее неблагоприятная комбинация геологических условий, а наиболее разумная и вероятная, вытекающая из анализа всей геологической обстановки. Проект сооружения должен быть составлен так, чтобы при необходимости можно было вносить коррективы в зависимости от поведения грунта. Должна быть установлена необходимая аппаратура и вестись регулярные наблюдения за реакцией грунта на изменение напряженного состояния, гидрогеологических условий и т. д. (Пек, 1971).

Возможность оперативного внесения изменений в проект является наиболее важным условием и уязвимой стороной обсервационного метода в геотехническом строительстве; это связано с большой личной ответственностью. Инженер-геотехник, возглавляющий крупное строительство, должен иметь необходимые знания, права и материальные возможности для внесения изменений в проект, если геологическая обстановка требует этого. В ряде случаев осуществление решений не терпит отлагательств.

Хорошим примером применения обсервационного метода является строительство крупнейшей земляной плотины Тарбела на р. Инд в Пакистане в чрезвычайно сложных геологических условиях (Lowe, 1978, 1982). Плотина высотой 145 м и длиной 2740 м сооружена на мощных аллювиальных отложениях (свыше 212 м), в которых прослой тонкого песка чередуются с «карьерным» галечником. Для защиты от фильтрационных деформаций и уменьшения утечек было построено непроницаемое покрытие шириной около 1800 м и толщиной от 10 до 1,5 м; для мониторинга поведения плотины и ее основания было установлено большое количество приборов. После начального наполнения в непроницаемом покрытии образовались трещины и около 600 поглощающих воронок, диаметром от менее одного до десяти метров. Вопрос с увеличенной фильтрацией был улажен путем засыпки непроницаемого материала над поглощающими воронками из саморазгружающихся барж, естественного осаждения ила из водохранилища и естественного заживления трещин; утечки уменьшились наполовину.

Выяснение особенностей геологического строения с необходимой точностью потребовало бы примерно в пятьдесят раз большего объема исследовательских работ по сравнению с тем, какой был бы необходим в случае строительства такой же плотины в нормальных геологических условиях (Stapledon, 1976).

Прогноз геологических бедствий

Геологические бедствия подразделяются в соответствии с природой вызвавших их сил. Различаются экзогенные бедствия (лавины, оползни, обвалы, лахары, селевые потоки, наводнения), вызванные действием внешних геологических агентов (воды, льда, ветра, солнечного тепла), и эндогенные бедствия (землетрясения, цунами, вулканические извержения), вызванные действием внутренних агентов (тектонические напряжения, внутреннее тепло Земли). Некоторые из геологических бедствий могут вызываться одними и теми же причинами и поэтому происходят одновременно; так, например, циклон Элисон, обрушившийся на восточное побережье Южного острова Новой Зеландии у Канкура в марте 1975 г., вызвал оползни, земляные потоки, наводнения и эрозию (Bell, 1976). Оползни могут вызвать землетрясения, земляные потоки, наводнения, цунами и гигантские волны; они могут явиться следствием землетрясений, наводнений, вулканической активности, сведения лесов и крупных волн; многочисленные примеры такого взаимодействия приводят Радбрух-Холл и Варнес (Rudbruch-Hall, Varnes, 1976). Геологические бедствия влекут за собой потери человеческих жизней и материальный ущерб (Arnould, 1976). Человек оказывает влияние на протекание всех экзогенных процессов и может явиться причиной образования неглубоких землетрясений.

Исследование причин геологических бедствий или их прогноз находятся вне пределов компетенции инженеров-геотехников, но они должны понимать важность этих проблем и привлекать к их решению высококвалифицированных геологов и инженер-геологов. Инженерам-геотехникам необходимо знать не только о ближайших последствиях внесенных их деятельностью изменений, но также и отдаленных, не только об опасности, угрожающей строящемуся сооружению, но также и окружающей среде. Важность этих проблем ощущается уже теперь и делается совершенно очевидной в наступающем столетии.

В принципе ни одно геологическое бедствие не происходит внезапно, все они имеют какой-то подготовительный период. Различные только в том, что в одних случаях этот подготовительный период более или менее длительный и его легко наблюдать (большинство оползней), в других случаях он очень краток (оползни в высокочувствительных морских пылеватых глинах, лавины, лахары, селевые потоки), в третьих подготовительный период продолжителен, но его трудно наблюдать (обвалы, землетрясения, вулканические извержения). Тем не менее существование подготовительного периода, в особенности если он продолжителен, открывает значительные возможности для предсказания этих бедствий и борьбы с ними. В конечном итоге все зависит от детального исследования механизма явления, основанного на точном измерении эффектов, разработки теории процесса, адекватно объясняющей его проявления, формулирования и расчета мер воздействия и наконец технических возможностей, которыми располагает человек.

Первые крупные успехи в изучении и борьбе с геологическими бедствиями были достигнуты в отношении оползней. Их история хорошо известна. Решающее значение имело изучение механизма оползней.

Такая же работа должна быть проведена в отношении и других геологических бедствий, как селевые потоки, обвалы, лахары и др. В принципе возможна борьба даже с неглубокими землетрясениями путем инъекции воды или серии глубоких взрывов в сейсмическом очаге, имеющих целью последовательную разрядку накопившихся тектонических напряжений в виде слабых толчков, оказывающих триггерный эффект. Необходимо только знать, где и когда должны быть спровоцированы такие слабые землетрясения. Естественно, что таким действиям должны предшествовать серьезные исследования природных процессов накопления и разрядки тектонических напряжений. Однако решение этой проблемы—только вопрос времени.

Комментарии к темам дискуссии

Организационный комитет предложил следующие проблемы для обсуждения на дискуссионных сессиях:

А. Проблемы устойчивости склонов.

Б. Геологические аспекты строительства земляных плотин.

В. Проблемы в областях с особыми геологическими условиями (лесс, вечная мерзота, аридные области и др.).

Невозможно переоценить важность этих проблем. Они рассматриваются почти на каждой международной и региональной конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Даже краткий обзор современного состояния этих проблем потребовал бы много времени. Я останавлиюсь здесь только на геологических аспектах.

Устойчивость склонов и оползни—обратные проблемы. С точки зрения геологии оползни представляют собой нормальный элемент денудации. Однако в развитых странах в настоящее время природные оползни происходят очень редко, подавляющее большинство их вызывается неразумной деятельностью человека. Тем, кто несет ответственность за разрушения, выгодно рассматривать оползни как внезапные, неожиданные явления. Эта тенденция наблюдается даже в учебных пособиях и описаниях случаев из практики, где находят отражение главным образом конечная стадия образования оползней и описание обрушений, но не длительная фаза глубинной ползучести. Успехи медицины были бы незначительны, если бы ее основное внимание было направлено на последние часы жизни людей и патологоанатомические исследования.

Современное состояние знаний механизма оползней достаточно для предсказания и предотвращения многих типов оползней. Саито (1982) удалось предсказать оползень Табакаяма с ошибкой всего 6 минут! Еще более важно предотвращение оползней. Раннее распознавание оползней в фазе глубинной ползучести и правильное осуществление оздоровительных мероприятий с применением обсервационного метода могут значительно уменьшить ущерб, причиняемый оползнями.

Другой проблемой, связанной с устойчивостью склонов, является боковой эффект. В расчетных методах рассматривается плоская задача, тогда как в действительности оползающие массы имеют ограниченную ширину. Трехмерный анализ оползневых тел предпочтителен, так как сопротивление смещению такого тела будет очевидно выше. С геологической точки зрения важно изучение связи между формой оползневого тела и характером напластования.

Особого внимания заслуживает вопрос о прогрессирующем разрушении. Концепция Бьеррума (1976) хорошо известна. Обрушениям склонов в переконсолидированных пластичных глинах и глинистых сланцах предшествует развитие непрерывной поверхности скольжения, при котором сопротивление сдвигу прогрессирующе уменьшается от 10—418

пикового значения к остаточному. Одним из условий этого процесса является существование «достаточного количества восстановимой энергии деформирования для того, чтобы вызвать необходимое расширение глины в направлении оползания и деформирование глины в зоне разрушения». Этот процесс очень важен для глинистых сланцев с сильными диагенетическими связями, в которых замкнутая энергия деформирования высвобождается при разрушении связей вследствие выветривания.

Другой механизм был выдвинут автором. В фазе глубинной ползучести происходит перекашивание в широкой зоне ползучести. За время деформации в краевых, менее напряженных частях зоны ползучесть замедляется (стабилизация), тогда как в центральных, более напряженных частях ускоряется (полное разрушение). Таким образом ползучесть концентрируется в узкой полосе, приуроченной к потенциальной поверхности скольжения, и развивается прогрессирующее разрушение. Ход прогрессирующего разрушения зависит от соотношения между пиковым и остаточным сопротивлениями сдвигу грунта.

В зависимости от типа грунта могут существовать другие механизмы прогрессирующего разрушения. Необходимы обширные инклинометрические наблюдения и реологические исследования для выяснения особенностей этого процесса.

Наконец, интересна проблема роли нарушений непрерывностей различного происхождения (геологические, тектонические, выветривания), как-то: напластования, отдельности, трещиноватости, сланцеватости, ослабления и др., которые влияют на устойчивость природных склонов и откосов выемок, в особенности когда эти нарушения непрерывности ориентированы.

Для обсуждения на первой сессии предлагаются следующие темы:

1. Ползучесть склонов. Исследования и их интерпретация.
2. Боковые эффекты в оползнях (трехмерный анализ). Исследования и методы расчета.
3. Прогессирующее разрушение. Анализ концепции: развитие непрерывной поверхности скольжения при высвобождении восстановимой энергии деформирования, переход от глубинной ползучести к обрушению и др.
4. Влияние ориентированных нарушений непрерывности на устойчивость склонов.

Строительство земляных плотин представляет собой обширную проблему. Она содержит две группы вопросов. Первая группа относится к собственно плотине, когда инженер менее связан с геологией, так как он может выбрать материал для ядра, призм и т. д. и проектировать поперечное сечение в соответствии с техническими условиями. Таким образом, он свободен от ограничений, связанных с геологическими неопределенностями. Вторая группа вопросов относится к примыканиям и основанию плотин, когда существующие геологические условия и неопределенности имеют решающее значение. Большая часть вышесказанного относится именно к этой группе вопросов.

Определение геологических условий на створе плотины и предсказание возможного механизма геологических процессов после заполнения водохранилища является очень трудной и ответственной задачей. Необходимо представить себе поведение плотины в будущем и проанализировать несколько возможных механизмов. Значительно более легким, хотя и не предпочтительным является анализ обрушений. Обрушение плотин можно рассматривать как крупномасштабный экс-

перимент, в котором поведение плотины делается совершенно ясным; должен быть только установлен и проверен механизм процесса. Однако и эта работа не легка.

Хорошей иллюстрацией может служить обрушение плотины Титон в шт. Айдахо в США, происшедшее 5 июня 1976 г. Р. Б. Пек утверждает, что плотина была запроектирована и построена под надзором организации, относящейся к числу наиболее авторитетных и опытных во всем мире (Песк, 1980). Геологические условия створа плотины после ее обрушения изучались Ревизионной группой, куда входили инженер-геологи Р. Л. Шустер и Д. Дж. Варис (Failure..., 1977). Створ плотины изучался Независимой группой по установлению причин обрушения, в которую входили А. Казагранде, Р. Б. Пек и У. Чадвик (Chadwick, 1982). Ретроспективный обзор катастрофы и ее механизма был сделан Г. Б. Сидом и Дж. М. Дунканом (Seed, Duncan, 1982). О пересмотренном механизме начала обрушения доложили Дж. А. Ленардс и Л. У. Давидсон (Leonards, Davidson, 1984). Все эти имена относятся к числу наиболее известных; тем не менее нет единой точки зрения относительно механизма обрушения.

Почти невозможно прибегнуть к помощи столь высококвалифицированных экспертов в обычных случаях, когда важно не выяснение причин обрушений, а решение значительно более сложной задачи — предсказание поведения плотины, ее устойчивости и работы. Поэтому большую пользу можно извлечь из уроков обрушения плотины Титон, которые указываются в цитированных статьях. Это принцип «множественных оборонительных линий», отстаиваемый К. Терцаги и А. Казагранде, установка измерительных приборов для мониторинга поведения земляной плотины для обнаружения нарушений ее функции на ранних стадиях и осуществления оздоровительных мероприятий для предотвращения обрушений и др.

Для обсуждения на второй сессии предлагаются следующие темы:

1. Риск эрозии основания при высоких гидравлических градиентах. Исследования и их интерпретация.

2. Устойчивость примыкающих плотин и прилегающих территорий. Исследования и мониторинг.

3. Растворимые породы (известняки, гипсы, каменная соль) под плотинами на различных глубинах. Общая оценка. Вопросы проектирования и безопасности.

4. Грунты и скальные породы с изменяющимися свойствами сопротивления и деформирования в основании, например, переконсолидированные глины. Их пригодность в качестве материала для призм и ядра.

5. Раздробление скальных пород. Пригодность раздробленных пород в качестве материала для призм.

Области с особыми геологическими условиями, как лесс, вечная мерзлота, аридные области и др., выдвигают еще больше проблем по сравнению с земляными плотинами. Эта проблема обширна; она долго будет привлекать внимание нашей науки. Ее некоторые аспекты были освещены в генеральном докладе Г. Д. Айтчисона (1975), представленном Московскому конгрессу по механике грунтов. Целесообразно для обсуждения на третьей сессии выбрать темы в соответствии с представленными докладами. Нижеследующие замечания имеют целью выяснение общей стратегии в этом вопросе.

Будучи весьма различными по свойствам и составу, грунты в областях с особыми геологическими условиями имеют одну общую отличительную особенность: все они были образованы именно в этих условиях и,

следовательно, их физические свойства и геологические условия этих областей связаны функционально. Если условия окружающей среды изменяются, то изменяются также и грунты. При освоении областей с особыми типами грунтов человек изменяет их гидрогеологические и термические условия, вызывает их деградацию и создает таким образом деформации, наносящие ущерб инженерным сооружениям и способствующие их разрушению. Поэтому общая стратегия в отношении таких грунтов должна заключаться в стремлении избежать всего, что может вносить изменения в окружающую среду. Понятно, что избежать этого полностью нельзя, но все инженерные действия человека должны быть хорошо продуманными и должны учитывать не только ближайший эффект, но и отдаленные последствия. Надо помнить, что все изменения, вносимые человеком в областях с особыми условиями, имеют необратимый характер.

Неправильно видеть только отрицательные стороны областей с особыми геологическими условиями; в ряде случаев эти условия полезны, и их целесообразно сохранять. «Благодаря вечной мерзлоте огромные пространства приморских низменностей на севере Сибири с отметками до 20—30 м над уровнем моря остаются сухей. Если произойдет протаивание мерзлой толщи, состоящей на 50—60% из ледяных частиц и имеющей мощность в несколько сотен метров, произойдет опускание части суши ниже уровня моря, а более высокие участки превратятся в непроходимые болота» (Сергеев, 1982). Осушение верховых болот неблагоприятно воздействует на гидрогеологические и климатические условия, ухудшается питание рек, снижается плодородие осушенных почв. Серьезной проблемой в аридных областях являются деформации просадочных лессовых грунтов; они ведут к просадкам в зоне оросительных каналов, прорывам каналов на косогорах, образованию подземных полостей, повышению уровня грунтовых вод, вторичному засолению и др.

Для обсуждения на третьей сессии предлагается следующая общая тема: геотехническое строительство, имеющее целью борьбу с просадочностью лессов, сохранение вечной мерзлоты, сохранение верховых болот, борьбу с оползнями по берегам крупных водохранилищ и т. д.

Геологические аспекты в геотехническом строительстве являются еще недостаточно изученной областью исследований; полное овладение знаниями будет способствовать дальнейшему развитию в этой области и обеспечит ей фундаментальный прогресс.

ԳԵՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԱՍՊԵԿՏՆԵՐԸ

ՀԱՍՏ ԳԱ քրթ.-անգամ, պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր Գեորգի Տեր-Ստեփանյան:

Ռեֆերատ—Գրությունների մեխանիկայում կիրառվող անալիտիկ մեթոդները հիմնվում են երկրաբանական կառուցվածքի զգալի պարզեցման վրա: Քննարկվում է երկրաբանական պայմանների ազդեցությունը գեոտեխնիկական շինարարության վրա: Ներկայումս տեխնիկական զարգացման մարզում գործունեության հակադարձ ազդեցությունը երկրաբանական պայմանների վրա: Այդ պատճառով ինժեներական երկրաբանության և մի շարք այլ գիտությունների խմբություններ մեծ նշանակություն ունի գեոտեխնիկ-ինժեներների համար: Գեոտեխնիկական շինարարությունը պետք է առանձնացվի շինարարական տեխնիկայից և պետք է զբաղվի հիմնատակների, լիքների, ամբարտակների և ստորգետնյա շինարարության հարցերով: Գեոտեխնիկական գեոտեխնիկական շինարարության հիմքերից մեկն է. այն զբաղվում է երկրաբանական պրոցեսների մեխանիկայի ուսումնասիրությամբ: Քննարկվում են հակադարձ հաշվարկների

¹ ՀԱՍՏ ԳԱ ԳԻՍԻ գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

կիրառումը հողային զանգվածների խտնորալ ղեհաճատման համար, դիտման մեթոդը և մոնիթորինգը շինարարության ընթացքում ժամանակի և նյութական միջոցների ծախսերի կըրճատման համար: Պայքարը երկրաբանական աղետների դեմ մոտ ապագայի կարևորագույն խնդիրներից մեկն է: Մեկնաբանվում են դիտավերլուծված թեմաները:

ԽՄԲԱԳՐԻԿՈՂՄԻՅ 1985 թ. օգոստոսի 11-ից 15-ը Սան Ֆրանցիսկոյում կայանա գումտների մեխանիկային և հիմքաշինությանը նվիրված XI միջազգային կոնգրեսը: Երեք նստաշրջաններում կկարդացվեն յուրաքանչյուրը 60 բույս տեղությունը ինը թեմատիկ դասախոսություններ: Այդ դասախոսությունները կամփոփեն, քննադատաբար կգնահատեն ընտրված թեմատիկան և կներկայացնեն նրա ժամանակակից վիճակը: Քսանյութ բանավիճակին նստաշրջաններում տեղեկություններ կփոխանակվեն թեմատիկ դասախոսություններում քննարկված բնագավառների նորագույն նվաճումների մասին: Կոնգրեսի ծրագիրը ընդգրկում է հետևյալ թեմատիկ դասախոսությունները, որոնք պետք է զեկուցվեն պլենար նստաշրջաններում (նշված է շեղագիր), ինչպես նաև հարցեր, որ պիտի քննարկվեն բանավիճակին նստաշրջաններում:

1. Գումտների մեխանիկա. հատկությունների բնութագիրը և վերլուծության մեթոդները.—Ք. Փ. Ռոս, Անգլիա:

1A. Գումտների վարքի հիմնական հարաբերությունները (նորագույն նվաճումները):

1B. Թվային մեթոդներ (տեղատվությունից, բայրայումից, ձևափոխության ժամանակի փափկացումից և կրկնակի բռնալորումից առաջացած ոչ-գծային դեֆորմացիաների վերլուծությունը):

1C. Պաշարի գործակիցը և ուսկի վերլուծությունը (վերլուծության մեթոդների, պարամետրերի գնահատման և բայրայման հետևանքների ազդեցությունը):

2. Նոր գումտների դաշտային և լարաբառն փորձարկումներում.—Մ. Յամուկուկսի, Իտալիա:

2A. Տեղում փորձարկման մեթոդներ (լարումների և ձևափոխությունների պարամետրերի գործնական որոշումը տեղում):

2B. Լարաբառն փորձարկումներ. տվյալների ստացման նոր մեթոդներ և եղանակներ (անիզոտրոպիայի ու ցիկլիկ բռնալորման հատկությունների որոշումը և հատուկ տիպի գումտների փորձարկումը):

2C. Փորձարկումներ ցենտրիֆուգի վրա և դրանց կիրառությունը (ցենտրիֆուգի վրա մոդելավորման ժամանակակից վիճակը):

2D. Դաշտային սարքեր և դաշտային շափումներ (պինդմետրների և ճնշման տվյալների գնահատումը, տվյալների ստացման ավտոմատիկ սխեմաներ):

3. Շրջապատող միջավայրի վերահսկման գնտեսիկական ասպեկտները.—Ն. Ռ. Մորգենստեյն, Կանադա:

3A. Սողանքների շարժումը և բերովների հոսքերը (տեխնիկա հոսքերի և ձնահյուսների համար, լծափն սարքեր, զգուշացնող սխեմաներ, կանխատեսում, պայքարի միջոցներ):

3B. Եծանցման վերահսկումը շրջապատող միջավայրի վրա ներգործությունը հաշվի առնող գնտեսիկական շինարարության ժամանակ (պահող հեղուկի ազդեցությունը և ծծանցման սահմանի ընտրությունը):

3C. Պոլերի ամբարտակներ և թափուկները պատվարող այլ սխեմաներ (տեղադրման մեթոդները և գնտեսիկական բնութագիրը):

4. Ցցեր և այլ խոր հիմքեր.—Ջ. Ա. Ֆոլստ, ԱՄՆ:

4A. Ցցային հիմքերի նախագծման մեթոդները (ցցերը տիզմում, ստատիկ և դինամիկ դիմադրողականություն):

4B. Սլունալոր հիմքեր (տեղում փորձարկումների հիման վրա հորատալցովի ցցերի կրողունակության կանխատեսումը, ցցափնջների կրողունակությունը):

4C. Մոլային մերձափնյա կառույցների հիմքերը (կրային և շատ խիտ ավազներում շրփման հետևանքով առաջացած ցցերի կրողունակությունը):

5. Գնտեսիկական նախագծված շինարարություն.—Ֆ. Շլոսեր, Ֆրանսիա:

5A. Հողային աշխատանքների ազդեցությունը կառույցների վրա (տեղաշարժերի կանխատեսումը և նրանց ազդեցությունը հարևան կառույցների վրա)։

5B. Գրունտի ամրացումը (գրունտի ամրացման նախազգոծումը)։

5C. Գետակամուրջների կիրառումը (նախագծումը, հետազոտությունների արդյունքների կիրառումը)։

6. Ինժեներական պրակտիկայում սեյսմիկ ռիսկի գնահատումը— Ի. Մ. Այդրիս, ԱՄՆ։

6A. Սեյսմիկ երկրաբանությունը և ռիսկի վերլուծությունը (եզրակացություն կրկնվող երկրաշարժերի մասին պատմական սեյսմիկության և երկրաբանական սահեցման հիման վրա)։

6B. Հողային կառույցների սեյսմիկ անվտանգությունը (մշտական ձևափոխություններ՝ թույլատրելի, կանխատեսված և չսպասված)։

7. Բնական հետվածքների սեյսմիկ կայունությունը—Կ. Իշխանյան, Ճապոնիա։

7A. Գրունտի ջրիկացումը երկրաշարժերի ժամանակ (ոչ մաքուր ավազների ջրիկացումը, դինամիկ էֆեկտիվ լարումների վերլուծությունը)։

7B. Բնական լանդշեյփի սեյսմիկ կայունությունը (ամրության գնահատումը կայունության վերլուծության ժամանակ)։

8. Հողային կառույցների կանխատեսված և իրական բնութագրերի համեմատությունը—Է. Ի. Բրանդ, Հարավ-արևելյան Ասիա։

8A. Հողային և քարալցուղի ամրարտակների կանխատեսված և իրական բնութագրերը (կրիտիկական զործոնները լարումների, տեղաշարժերի և ծախսերի հիման կանխատեսման համար, կախումը բնութագրերի կանխատեսման և չափիչ սարքերի տեղադրման միջև)։

8B. Շենքերի ամրացման կանխատեսման և իրական բնութագրերը (աշխատանքային բռնկվածքների և ձևափոխությունների կանխատեսման պարզեցված մեթոդները)։

8C. Հիմքերի կանխատեսված և իրական վարքը (վերլուծության և տեսության նոր եզրակացությունների կիրառությունը և իրացումը պրակտիկայում)։

8D. Պրոֆեսիոնալ պրակտիկական գեոտեխնիկական շինարարության մեջ (պրոֆեսիոնալ պատասխանատվություն)։

9. Գետինների կառուցվածքային երկրաբանական ասպեկտները—Գ. Ե. Տեր-Ստեփանյան, ՍՍՀՄ։

9A. Լանդշեյփի կայունության պրոբլեմների երկրաբանական ասպեկտները (եռաչափ ազդեցությունները, պրոգրեսիվ քայքայումը, անընդհատության կողմնորոշված խախտումների ազդեցությունը)։

9B. Հողային ամրարտակների շինարարության երկրաբանական ասպեկտները (հիմքերի լվացումը բարձր զրադիենտների ժամանակ, փոփոխվող հատկություններով գրունտների և լեռնային ապարների պիտանիությունը իրեն լցովի ամրարտակների նյութի)։

9C. Հատուկ երկրաբանական պայմաններ ունեցող վայրերի պրոբլեմները (շորային գոտիներում հիմքերի պրոբլեմները)։

Տրված է ՀՍՀՄ ԳԱ թղթակից-անդամ Գեորգ Տեր-Ստեփանյանի «Գետինների կառուցվածքային երկրաբանական ասպեկտները» դասախոսության ուսուցչական թարգմանությունը։

GEOLOGICAL ASPECTS OF GEOTECHNICAL ENGINEERING

GEORGE TER-STEPANIAN¹, Prof., Dr. Sc. (Eng.), Corr. Mem. Armen. Ac. Sc.

Synopsis. Analytical methods used in the soilmechanics are based on considerable simplification of geological structure. Influence of geological conditions on geotechnical engineering is discussed. Inverse influence of man's activity on geological conditions became obvious at present. Therefore, the knowledge of engineering geology and some other geological disciplines is important for geotechnical engineers. The geotechnical engineering should be separated from the civil engineering and be engaged in foundation fill, dams and subsurface problems. Geomechanics is one of the bases of the geotechnical engineering; it is concerned with studying the mechanism of geological processes. Use of back analysis for integral estimating of earthen massifs, observational method and monitoring for decreasing the time and costs of the construction are discussed. Combating geological hazards is one of the significant problems of the near future. Discussion topics are commented.

¹ Head, Laboratory of Geomechanics, IGES Arm. Ac. Sc.

From the Editor *The Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering will be held in San Francisco on August 11-15, 1985. Nine Theme lectures scheduled to last for about 60 minutes will be delivered in three sessions. These lectures are intended to summarize, bring up to date, and critically appraise the selected subject areas. Twenty-seven discussion sessions will provide forums for exchange of information on recent developments in fields considered by the Theme lecturers. The Conference program includes the following Theme lectures to be delivered on the Plenary sessions (italics) and topics to be treated on the Discussion Sessions.*

1. *Soil Mechanics—Property Characterization and Analysis Procedures—C. P. Wroth (U. K.)*

1A. Constitutive Relationships for Soil Behavior (Recent Advances).

1B. Numerical Methods (Engineering Analysis of Non-Linear Deformation Due to Yield, Failure, Strain Softening and Repeated Loading).

1C. Factor of Safety and Risk Analysis (Influences of (a) Analysis Method. (b) Parameter Assessment, and (c) Failure Consequences).

2. *New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils—M. Jamiolkowski (Italy)*

2A. In-Situ Testing Techniques (Practical Determination of In-Situ Stress, and Deformation Parameters).

2B. Laboratory Testing—New Procedures and Data Acquisition Techniques (Measurement of Anisotropy and Cyclic Loading Properties; Testing Special Soils).

2C. Centrifuge Testing and Its Application (State-of-Art of Centrifuge Modelling).

2D. Field Instrumentation and Field Measurements (Evaluation of Piezometers and Pressure Cells; Automated Data Acquisition Systems).

3. *Geotechnical Aspects of Environmental Control—N. R. Morgenstern, (Canada)*

3A. Motion of Landslides and Debris Flows (Engineering for Flows, and Avalanches; Instrumentation, Warning Systems, Predictions, Control Measures).

3B. Seepage Control in Environmental Geotechnical Engineering (Retained Fluid Effects on Permeability and Choice of Seepage Barrier).

3C. Tailing Dams and Other Waste Impoundment Systems (Placement Methods and Geotechnical Performance).

4. *Piles and other Deep Foundations—J. A. Focht (U. S. A.)*

4A. Pile Foundation Design Methods (Piles in Silts; Static vs. . . . Impact Capacity).

4B. Pier Foundations (Bored Pile Capacity Predictions From In-Situ Tests; Group Capacity).

4C. Foundations for Off-Shore Structures (Frictional Capacity of Piles in Calcareous Sands and Very Dense Sands).

5. *Geotechnical Engineered Construction—F. Schlosser, (France)*

5A. Influence of Earthwork Construction on Structures (Predicting Displacements and their Effects on Adjacent Structures).

5B. Earth Strengthening (Design of Earth Reinforcement).

5C. Application of Geotextiles (Design; Application Research).

6. *Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice—I. M. Idriss (U. S. A.)*

6A. Seismic Geology and Risk Analysis (Earthquake Recurrence Deduction from Historical Seismicity and Geological Slip Rate).

6B. Seismic Safety of Earth Structures (Permanent Deformations: Allowable, Predicted, and Measured).

7. *Seismic Stability of Natural Deposits*—K. Ishihara (Japan).
 7A. Soil Liquefaction During Earthquakes (Liquefaction of Soils other than Clean Sands; Dynamic Effective Stress Analysis).
 7B. Seismic Stability of Natural Slopes (Strength Evaluation for Stability Analysis).

8. *Comparison of Prediction and Performance of Earth Structures*—E. W. Brand (S. E. Asia)

8A. Prediction and Performance of Earth and Rockfill Dams (Critical Factors for Prediction of Stresses, Displacements, and Pore Pressures; Relationship between Performance Predictions and Instrumentation Layout).

8B. Prediction and Performance of Excavation Support (Simplified Methods for Working Load and Deformation Predictions).

8C. Prediction and Performance of Foundations (Relevance and Implementation of New Developments in Analysis and Theory in Design Practice).

8D. Professional Practice of Geotechnical Engineering (Professional Liability).

9. *Geological Aspects of Geotechnical Engineering*—G. Ter—Stepanian (U. S. S. R.)

9A. Geological Aspects of Slope Stability Problems (Three—dimensional. Effects; Progressive Failure; Effects of Oriented Discontinuities)

9B. Geological Aspects of Earth Dam Engineering (Foundation Erosion under High Gradients; Suitability of Soils and Rocks with Changeable Properties as Embankment Dam Materials).

9C. Problems in Areas with Special Geologic Conditions (Foundation Problems in Arid Zones).

Translation of the Theme lecture „Geological Aspects of Geotechnical Construction“ by Prof. G. Ter—Stepanian into Russian is given.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Айтчисон Г. Д. 1975. Проблемы механики и строительства на слабых глинистых и структурно-неустойчивых грунтах. (просадочных, набухающих и др.), доклад второй (с докладом Р. А. Токаря).—Генеральные доклады VIII. Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению, М., Стройиздат, с. 166—190.
- Бьеррум Л. 1976. Прогрессирующее разрушение склонов в переконсолидированных глинах и глинистых сланцах.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 7, с. 50—98.
- Бьеррум Л., Кенни Т. К. 1970. Влияние структуры на поведение при сдвиге нормально-консолидированных плавучих глин.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 4, с. 122—160.
- Варис Д. Дж. 1981. Движения склонов, типы и процессы.—В кн.: Оползни. Исследование и укрепление, под ред. Р. Шустера и Р. Кризека, М., Мир, с. 32—85.
- Вялов С. С. 1978. Реологические основы механики грунтов, М., Высшая школа.
- Гольдштейн М. Н. 1970. Геотехнический контроль в строительстве, М., Стройиздат.
- Гольдштейн М. Н. 1971. Механические свойства грунтов, т. 1, 2-е изд., М., Стройиздат.
- Гольдштейн М. Н. 1973. Механические свойства грунтов (основные компоненты грунта и их взаимодействие), М., Стройиздат.
- Гольдштейн М. Н. 1979. Механические свойства грунтов (напряженно-деформативные и прочностные характеристики), М., Стройиздат.
- Зарецкий Ю. К. 1967. Теория консолидации грунтов, М.
- Ленардс Дж. А., под ред. 1968. Основания и фундаменты, М., Стройиздат.
- Маслов Н. Н. 1949. Прикладная механика грунтов, М., Изд. М-ва стронт. предприятий машиностр.
- Маслов Н. Н. 1983. Инженерная геология, М., Стройиздат.
- Мюллер Л. 1971. Инженерная геология. Механика скальных массивов, М., Мир.
- Пек Р. Б. 1971. Преимущества и ограничения обсервационного метода в прикладной механике грунтов.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 5, с. 30—57.
- Попов И. В. 1959. Инженерная геология, 2-е изд., М., Изд. МГУ.
- Санто М. 1982. Фактический анализ случаев предсказания обрушения склонов.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 8, с. 45—74.
- Сергеев Е. М. 1982а. Инженерная геология, 2-е изд., М., Изд. МГУ.
- Сергеев Е. М. 1982б. Воздействие человека на литосферу, понятие «геологическая среда».—В кн.: Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды, М., Наука, с. 11—36.

- Скемптон А. У. 1967. Длительная устойчивость глинистых склонов. Пер. Г. И. Тер-Степаняна.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 1, с. 51—146; пер. Р. С. Зигангирова, Проблемы инженерной геологии, М., 1967, № 4, с. 142—176.
- Тер-Степанян Г. И. 1957. О стадийной борьбе с оползнями.—Изв. АН АрмССР. Сер. геол.-геогр. наук, т. 10, № 3, с. 59—65.
- Тер-Степанян Г. И. 1967. Ближайшие задачи геомеханики.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 1, с. 1—15.
- Тер-Степанян Г. И. 1973. Принципы обсервационного метода борьбы с оползнями.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 6, с. 29—48.
- Тер-Степанян Г. И. 1976. Исследование ползучести глины при сдвиге.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 7, с. 18—49.
- Тер-Степанян Г. И. 1982. Начался ли питевичный период?—Тезисы докладов XI конгресса ИНКВА. Т. 3, М., с. 312—313.
- Тер-Степанян Г. И. 1985. Начало питевичного периода или техногена. Инженерно-геологический анализ. Сообщения Лаборатории геомеханики, № 5, Ереван, Изд. АН АрмССР, 100 с.
- Тер-Степанян Г. И., Симонян С. С. 1982. Применение результатов обратных реологических расчетов к определению устойчивости и деформируемости склонов.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 8, с. 75—89.
- Терцаги К. 1958. Механизм оползней.—В кн.: Проблемы инженерной геологии, вып. I, М., ИЛ, с. 174—219.
- Терцаги К. 1973. Прошлое и будущее прикладной механики грунтов.—Проблемы геомеханики, Ереван, № 6, с. 1—25.
- Терцаги К., Пек Р. Б. 1958. Механика грунтов в инженерной практике. М., Стройиздат.
- Цытович Н. А., Тер-Мартirosян З. Г. 1981. Основы прикладной геомеханики в строительстве. М., Высшая школа.
- Arnould M. 1976. Geological hazards—insurance and legal and technical aspects.—Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Krefeld, 14, 263—274.
- Arvill R. 1969. Man and environment. Harmandworth: Penguin Books.
- Banks H. O. 1961. The relationship of geologists and engineers in planning public projects.—American Geologic Institute. Geotimes, 5, 7.
- Barkey C. P. 1929. Responsibilities of the geologists in engineering projects. Am. Inst. Min. & Metall., Engr. Technical Publication 215, 4—9.
- Bell D. H. 1976. High intensity rainstorms and geological hazards: Cyclon Allison March 1975, Kaikoura, New Zealand.—Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Krefeld, 14, 189—200.
- Burwell E. B., Roberts G. D. 1950. The geologist in the engineering organization. Application of Geology to Engineering Practice. Berkeley volume. The Geological Society of America, 1—9.
- Chadwick W. L. 1981. Case study of Teton dam and its failure. Proc. 9th ICSMFE Case History vol., Tokyo, Japan, June 1977.
- Childe V. G. 1948. Man makes Himself, London.
- Dearman W. R. 1972. Engineering geology—1970. Introductory Statement to the Regional Meeting of the Regional Meeting of the Engineering Group of the Geological Society. Quater. Journ. Eng. Geology, 4, 187—190.
- Failure of Teton Dam Failure Group. April 1977.
- Field Instrumentation in Geotechnical Engineering. 1974. A Symposium organized by British Geotechnical Society held 30th May—1st June 1973. Butterworth, London. 720p.
- Friedman M. 1964. Petrofabric techniques for the determination of principal stress directions in rocks. Proc. Int. Conf. on State of Stress in Earth's Crust, Elsevier, 451—550.
- Gerrard C. M. 1977. Background to mathematical modelling in geomechanics: the roles of fabric and stress history. In: Finite Elements in Geomechanics, ed. by G. Gudehus, Wiley, London, 33—120.
- Gerrard C. M. 1977. Background to mathematical modelling in geomechanics: the roles of fabric and stress history. In: Finite Elements in Geomechanics, ed. by G. Gudehus, Wiley, London, 33—120.

- Graftio H. in collab. with Vattenbyggnadsbyran. 1936. Some features in connection with the foundation of Svir-3 hydroelectric power development. Proc. ICSMFE 1, 284-290, Harvard.
- Gudehus G. 1977. Some interactions of finite element methods and geomechanics: a survey. In: *Finite Elements in Geomechanics*, ed by G. Gudehus, Wiley, London, 1-31.
- Gudehus G. ed. 1977. *Finite Elements in Geomechanics*. 573 p., Wiley, London.
- Harr M. E. 1977. *Mechanics of particulate media. A probabilistic approach*. 543 p., McGraw-Hill, New York.
- Henkel D. I. 1982. *Geology, geomorphology and geotechnics*. 22nd Rankine lecture. *Geotechnique*, 32, 3, 175-194.
- Lambe T. W. Whitman R. V. 1968. *Soil Mechanics*. 553 p., Wiley, New York.
- Leonards G. A., ed., 1962. *Foundation Engineering*. 1136 p., McGraw-Hill, New York.
- Low III, J. 1978. *Foundation design—Tarbela dam*. 4th Nabor Carillo lecture. 148 p. Sociedad Mexicana de mecanica de suelos, Mexico, D. F., Mexico.
- Lowe III, J. 1982. *Tarbela dam project, Pakistan. Contribution to hydro—project engineering*. 2nd annual USCOLD lecture. 103 p., United States Committee on Large Dams, Atlanta, Georgia.
- Müller L. 1951. Eine Arbeitsgemeinschaft für Geomechanik. *Geol. u. Bauwes.*, 18, 4, 247-252.
- Müller L. 1958. *Geomechanische Auswertung gefugekundlicher Details*. *Geol. u. Bauwes.*, 24, 1, 4-21.
- Müller L. 1960. *Die Geomechanik in der Praxis des Ingenieurund Bergbaues.*, 25, 2-3, 203-214.
- Müller-Salzburg L., Fecker E. 1978. *Grundgedanken und Grunsatze der „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“*. In: *Grundlagen und Anwendung der Felsmechanik. Felsmechanik Kolloquium Karlsruhe 1978*, 247-262.
- Peck R. B. 1973. Presidential Address to the Eighth International Conference. Proc. 8th ICSMFE, (4, 1), 156-159, Moscow.
- Peck R. B. 1980. Where has all the judgment gone? 5th Laurits Bjerrum memorial lecture. *Canadian Geotech. Journ.*, 17, 4, 584-590.
- Radbruch-Hall D. H., Varnes D. J. 1976. *Landslides—cause and effect*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Krefeld, 14, 205-216.
- Ripley C. F. 1962. Discussion on Engineering Geology on the job and in the classroom. *Journ. Boston Soc. Civ. Engrs.*, January, 1962.
- Sanglerat G., Elivari G., Cambou B. 1980. *Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations*. 2 tomes, 326+230 pp., Dunod, Paris.
- Schofielo A., Wroth P. 1968. *Critical state soil mechanics*. 310 p., McGraw-Hill, London.
- Schultze E., Muhs H. 1967. *Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten*. 722 S. Springer-Verlag, Berlin.
- Seed H. B. Davidson J. M. 1982. *The Teton Dam Failure—A Retrospective Review*. Proc., 10th Int. Conf. Soil Mech., Stockholm, 4, 219-238.
- Stapledon D. H. 1976. *Geological hazards and water storage*. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Krefeld, 14, 249-262.
- Ter-Stepanian G. 1984. Analysis of slope deformation for determining the landslide mechanism. Proc. 4th Int. Sympos. Landslides, Toronto, 1984 (in print).
- Terzaghi K. 1961b. Engineering geology on the job and in the classroom, *Journ. Boston Soc. Civ. Engr.*, April, 97-109.
- Verdeyen J., Roisin V., Nuyens J. 1971. *Application de la mécanique des sols*. 2 vol. Vander, Louvain.
- Záruba Q., Menci V. 1976. *Engineering geology*. 504 p., Academia, Prague.
- Záruba Q., Menci V. 1982. *Landslides and their control*. 2nd ed., 324 p., Academia, Praha.