

УДК 551.4 : 550.8

М. ПЕЧИ

*(Венгерская Народная Республика)***ПРОБЛЕМАТИКА ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ**

Обосновывается самостоятельность инженерной геоморфологии — новой пограничной отрасли знаний на стыке геоморфологии и инженерной геологии. Ее предметом является исследование и оценка рельефообразующих процессов и форм рельефа для поиска оптимального варианта размещения инженерно-строительных сооружений, обеспечения их рациональной и эффективной эксплуатации и защиты от разрушительных стихийных процессов. Обосновываются основные задачи инженерной геоморфологии. Рассматриваются главные методы исследований как общие традиционные (морфометрия, морфолитология, морфодинамика, морфологический анализ), так и специальные (математико-статистический, опытно-экспериментальный, расчетные, инженерно-геоморфологического картирования и др.).

Исторические корни геоморфологии

Вещественное строение рельефа, его структуру и формы, так же как и образующие их динамические процессы, вначале изучала и объясняла геология. При этом в широком кругу геологической проблематики уже на ранних стадиях развития геологии наметилась специализация. Она привела к выделению самостоятельных отраслей геологического знания таких, как кристалловедение, минералогия, петрография, историческая геология и палеонтология, в последнее время — геохимия, геофизика и др. Область геологии, которая имела своим предметом изучение рельефа земной поверхности и протекающих на ней процессов, длительное время определялась как динамическая геология.

Однако почти одновременно с геологией рельеф земной поверхности привлекал внимание и географии. Начав с описания и изображения устройства земной поверхности в виде так называемых оро- или морфографических схем, географический подход к изучению рельефа вскоре обогатился более точными морфометрическими методами, давшими возможность составить гипсометрические карты и материалы. При этом наряду с совершенствованием методов описания и изображения рельефа в рамках географической науки стали изучаться современные рельефообразующие процессы, в первую очередь так называемые экзогенные динамические явления.

Таким образом, возникли и развились два главных исторических корня современной геоморфологии — геологический и географический, которые путем длительного взаимодействия и постепенного слияния обусловили возникновение этой новой науки. Однако только в конце прошлого века практически осуществилось полное понимание концепции М. В. Ломоносова о том, что все формы рельефа земной поверхности образуются при взаимодействии эндогенных и экзогенных процессов. По мере утверждения этого главного, основополагающего принципа современной геоморфологии становилось все более самостоятельным содержание и положение нашей науки, которая к настоящему времени уже окончательно заняла позицию на контакте геологии с географией,

сохранив право быть представленной в системе как геологических, так и географических наук.

Необходимо в этой связи подчеркнуть существование тесных связей геоморфологии с различными современными науками геологического и географического циклов. Все эти науки изучают и вскрывают явления и закономерности многообразных эндогенных и экзогенных процессов, под влиянием которых формируется поверхность Земли. Однако их проявление в той или иной степени зависит от воздействия существующего рельефа земной поверхности. Именно поэтому науки, занимающиеся изучением тектонических движений, геологической структуры и состав горных пород, а также климата, почв, вод, ледяного покрова и даже биосферы Земли снабжают геоморфологию совершенно необходимыми ей фактами и методами. С другой стороны, и геоморфология, накапливающая научные знания о рельефе земной поверхности, оказывает влияние на развитие всех этих наук. В частности, они широко используют объяснение геоморфологией происхождения и динамики постоянно меняющихся форм земной поверхности.

Инженерная геология и геоморфология

В ходе работ по выбору подходящих и оптимальных мест крупных инженерных сооружений, а также по изучению и оценке геологических и географических факторов и условий хозяйственного освоения территорий возникла так называемая техническая, или *инженерная геология*. Ее развитие началось в недрах общей геологии в конце прошлого столетия, во время крупного железнодорожного и шахтного строительства, когда почти каждый геолог, т. е. исследователь земных недр, вместе с тем выступал и как научно-технический советник по инженерному строительству. Обобщая накопленный опыт и подходя к геологическим исследованиям с инженерной точки зрения, именно такие практические деятели заложили своими трудами основу инженерной геологии. В настоящее время эта область исследований развилась в самостоятельную отрасль науки, хотя объединяемые под этим названием специальные работы (главным образом в западной литературе) в разных странах различаются по своей тематике. Именно поэтому отдельные представители инженерной геологии (Sziivagy, 1965) считают необходимым вернуть на первый план научное обеспечение технического строительства, основной задачей которого является рациональное по геологическим условиям размещение объектов инженерного строительства и выбор наиболее подходящего для них места (строительных площадок или трасс).

Советская специальная литература весьма конкретно сформулировала круг деятельности инженерной геологии (Попов, 1966; Панюков, 1962; Ломтадзе, 1970). По мнению В. Д. Ломтадзе (1970), инженерная геология — это наука, «занимающаяся изучением и оценкой геологических условий строительства различных сооружений и хозяйственного использования территорий; ...выбором мероприятий, обеспечивающих устойчивость и нормальную эксплуатацию сооружений, а также прогнозом возможного изменения природных геологических условий под их воздействием» (стр. 10).

Из этого определения, а также из сущности производимых инженерно-геологических исследований следует, что инженерная геология (при исследовании природной среды инженерных сооружений и происходящих в ней процессов) находится в теснейшей связи с геоморфологией. Действительно, опыт показывает, что для инженерного проектирования технических объектов совершенно недостаточно правильного обоснования выбора места для их сооружения только с точки зрения механики грунтов и общей оценки геологического строения местности. Как правило, необходимы всесторонняя оценка и прогноз того взаимодействия,

которое имеет место или ожидается между техническим объектом и всей природной средой, в которую он включается. Имеется в виду, например, влияние климатических факторов (увлажнения, температуры, ветра) водного режима, почвенно-растительных условий, а также процессов их динамического взаимодействия.

Недоучет совокупного воздействия всех компонентов природной среды на то или другое инженерное сооружение и оценка лишь узкого круга геологических факторов может повлечь за собой серьезный ущерб построенному сооружению или привести к непредвиденной катастрофе, хотя само сооружение с технической точки зрения может быть возведено совершенно безукоризненно. Целый ряд таких случаев хорошо известен. Поэтому в интересах повышения надежности инженерно-технических сооружений, обеспечения их эффективной работы и снижения стоимости в строительной практике все более сильные позиции завоевывает признание необходимости более широкой оценки физико-географического расположения строительного объекта, а также всестороннего изучения и учета всех геоморфологических условий и процессов, происходящих на строительной площадке. Таким образом, геоморфология, вернее, результаты ее исследований, все более непосредственно или опосредствованно становятся неотъемлемой частью инженерно-строительных изысканий и проектирования. Это дает основание поставить вопрос о необходимости выделять в границах геоморфологии как науки ее особый раздел или направление геоморфологических исследований под названием инженерно-геоморфологических.

Главные научные направления в геоморфологии

Будучи контактной (пограничной) наукой и одновременно входя в системы геологических и географических наук, геоморфология изучает устройство поверхности Земли, ее отдельные формы или их совокупности и стремится объяснить их происхождение.

Эту обрисованную в общих чертах задачу исследователи решают при помощи различных способов и с различных точек зрения. Мы различаем: 1) общую геоморфологию и 2) геоморфологическое ландшафтоведение (региональную геоморфологию). Первая занимается изучением общих закономерностей формирования рельефа земной поверхности, последняя — характеристикой местных, региональных ассоциаций форм поверхности Земли и различий между ними.

Общая геоморфология определяет закономерности развития рельефа земной поверхности путем исследования формирующих его сил. Такое исследование осуществляется путем анализа внешних и внутренних сил и факторов рельефообразования, кратко называемых также эндогенной и экзогенной динамикой. Геоморфологический синтез представляет собой путь исследования, который объясняет образование форм земной поверхности совместным воздействием внешних и внутренних сил, выделяет генетически однородные типы и формы земной поверхности и на основании этого классифицирует их.

В соответствии с изложенной характеристикой важную роль в современной геоморфологии играет систематическое изучение всех основных направлений рельефообразующих процессов, связанных с проявлением тех или других экзогенных сил, действующих на земной поверхности. В число таких сил входит выветривание, почвообразование, поверхностный смыв и гравитационное движение почвенно-грунтовых масс на склонах (оползни); водная эрозия, дефляция, суффозия и карст, термокарст и солифлюкция, различные криогенные движения и деформации и т. д. Поскольку большая часть указанных выше факторов и процессов экзогенной динамики рельефа тесно связана с общими физико-географическими (климатическими) условиями, в современной геоморфологии

имеется специальное направление научных исследований указанных выше процессов, часто называемое *динамической* или *климатической* геоморфологией.

Наряду с климато-морфологическим и более синтетическим подходом к изучению рельефа земной поверхности в настоящее время выступает так называемая *структурная* геоморфология, которая стремится выявить роль главным образом внутренних (эндогенных) сил и факторов (тектонических, вулканических и др.) и их взаимодействие с экзогенными при образовании и развитии рельефа.

Методы исследования геоморфологии формировались и расширялись в соответствии с развитием науки и предъявляемых к ней научных и практических требований. Однако основным способом исследования всегда было и является полевое наблюдение на местах, с которым связываются качественное и становящиеся все более важным и значительным количественное изучение форм земной поверхности и образующих их процессов.

Способы и темпы образования форм земной поверхности определяются по наблюдающимся на них следам действующих в настоящее время внешних и внутренних сил, на основании непосредственных измерений их воздействия и по данным сравнительно-географического анализа. Выводы же о процессах, которые не могут быть наблюдаемы или имели место раньше, делаются по формам земной поверхности и на основании так называемых коррелятных наносов, отложившихся в результате разрушения земной поверхности. Таким образом, применяется палеогеоморфологический метод исследования, при помощи которого посредством реконструкции прежних форм поверхности делаются выводы о возникновении современных форм и о темпах их развития. Зная историю развития рельефа и наблюдая взаимодействия сил, формирующих поверхность в настоящее время, можно давать прогнозы о дальнейшем ее развитии.

Геоморфология выработала собственные методы, применяемые главным образом для фиксации результатов региональных исследований. В частности, различные типы рельефа, которые развиваются в настоящее время и формировались на поверхности Земли в прошлом, а также их возраст изображаются на общей или специальной геоморфологических картах.

Среди методов геоморфологического исследования все более важное значение приобретают полевые и лабораторные опыты, которые проводятся как на искусственной модели рельефа, так и в естественных условиях. Подобные опыты способствуют развитию сравнительно нового направления в геоморфологии, стремящегося к выявлению (в интересах теории и практики) количественных и качественных закономерностей экзогенных процессов, формирующих поверхность в настоящее время.

Как показывает опыт Советского Союза, наиболее целесообразными и результативными для этой цели являются постоянные исследовательские станции, на которых изучают сравнительным способом при помощи измерительных приборов в естественной и искусственно созданной географической среде различные экзогенные процессы. Применение последнего подхода было вызвано к жизни технико-экономическими требованиями.

Значение поверхности Земли для технико-экономической практики

Формы рельефа с точки зрения технической и сельскохозяйственной деятельности современного общества приобретают все большее значение. В изучение рельефа в настоящее время вкладываются большой труд и материальные затраты. Хотя рельеф, являющийся важнейшей составной частью географической среды, все еще не подвергался такой многосто-

ронней оценке, как реки, озера и водохранилища, однако можно признать, что его роль быстро возрастает вследствие все более сильного вторжения человека в естественную природную среду.

Проведенные геоморфологические исследования показывают, что рельеф в естественных условиях характеризуется определенным динамически-равновесным состоянием (эквигилибриумом) (Strahler, 1956; Baulig, 1940; Мещеряков Ю. А., 1970; Tricart, 1965). При этом эндогенные процессы, протекающие относительно медленно и влекущие за собой дифференциацию крупных форм рельефа, усиливают деятельность внешних сил. Тем не менее земная поверхность развивается лишь при определенной динамической системе равновесия, так как годовые размеры денудации и понижения поверхности, происходящие за счет деятельности экзогенных сил (воды, ветра, гравитационного переноса масс), достигают примерно тех же размеров, что и тектонические поднятия (Герасимов, 1969).

Для установления такого равновесия важную и своеобразную регулирующую роль играет почвенно-растительный покров. Однако его качественные и количественные показатели сильно зависят от зонально-климатических условий; растительный покров оказывает различное влияние на деятельность внешних сил, препятствуя разрушению земной поверхности.

Если в ходе проведения инженерно-технических и сельскохозяйственных мероприятий изменяется какой-либо из факторов, поддерживающих подобное равновесие земной поверхности, в формировании рельефа наступают крупные изменения. Исследования показывают, например, что при нарушении лесного покрова или полном его истреблении в интересах расширения посевных площадей сила эрозионного воздействия стекающих по обнаженным склонам потоков воды может увеличиться десятикратно по сравнению с прежними (естественными) показателями. Это ведет к резкому локальному ускорению эрозии, нарушению равновесия склона, денудационному снижению склонов, эрозионному размыву водоразделов и междолинных пространств, появлению оврагов, оползней не только в непосредственной близости от объектов строительства, но и в более или менее отдаленных от них районах.

Из сказанного видно, что вмешательство человека в природную среду вызывает разнообразные последствия, в ходе которых прежде всего нарушается свойственное этой среде естественное динамическое равновесие.

Таким образом нарушаются сложные и многообразные природные связи, изучение которых уже вышло из круга задач инженерной геологии и относится к кругу исследований геоморфологии.

Инженерная геоморфология как самостоятельная отрасль науки

Как отмечено выше, одной из основных задач инженерно-геологических исследований является изучение всех факторов природной среды, которые могут оказывать влияние на размещение объекта инженерного строительства, его эксплуатацию, прочность, долговечность и т. д. (Ломтадзе, 1970; Попов, 1966; Szilvagyí, 1965). Отсюда следует, что для правильного решения инженерно-геологических задач необходим почти полный круг геоморфологических исследований, особенно динамики экзогенных сил.

Таким образом, геоморфология до сих пор скрыто, безымянно, но в весьма представительных масштабах выступала в системе инженерной геологии, фигурируя в справочных изданиях в разделах «геодинамика» или под названием «инженерная геология». Однако как с принципиально научной точки зрения, так и с позиций практики мы считаем более правильным, чтобы в системе инженерно-геологических исследований мате-

риал прикладной геоморфологии, полученный для инженеров, объединялся под названием инженерно-геоморфологический. В связи с этим возникает вопрос об основных разделах инженерной геологии как науки.

По нашему мнению, современная инженерная геология может быть разделена прежде всего на следующие отделы (научные поддисциплины): 1 — общая инженерная геология (общая теория); 2 — инженерная петрология (литология) или грунтоведение; 3 — инженерная структурная геология (геодинамика); 4 — инженерная сейсмология; 5 — инженерная геоморфология; 6 — региональная инженерная геология; 7 — специальная инженерная геология (по видам строительства).

По нашему мнению, приведенное выше разделение вполне соответствует действительной дифференциации соответствующих научных знаний и существующей тенденции к специализации инженерно-геологических исследований. Например, в рамках так называемой геодинамики в основном занимаются только эндогенными процессами и структурами, возникшими в результате их проявления, в то время как изучение экзогенных процессов, протекающих на поверхности, представляет собой целиком предмет исследования геоморфологии.

Предлагаемое разделение инженерной геологии удобно как для инженерной геологии, так и для развития геоморфологии. Для первой потому, что она может опираться на достоверную информацию, относящуюся к предмету всех направлений и разделов геоморфологии. Для геоморфологии это удобно потому, что она подчиняет свою исследовательскую деятельность в данном случае очень важным практическим потребностям, что стимулирует как общее развитие этой науки, так и применение в ней ряда специальных методов и подходов.

В самом деле, геоморфология издавна сотрудничала с практикой занималась удовлетворением требований, предъявляемых ей технической деятельностью общества и сельским хозяйством. Однако вследствие отсутствия определенных организационных условий и соответствующих методологических основ геоморфология в деле оказания помощи инженерной практике пока не смогла в достаточной степени выявить свои возможности. Выделение в общей системе инженерной геологии специального подразделения в виде инженерной геоморфологии создает такие предпосылки.

Задачи инженерной геоморфологии

Различие между общей и инженерной геоморфологией проявляется прежде всего в круге их исследований и целевых установок, а в определенной степени также и в методах исследования. Все это может быть выражено приблизительно следующим образом.

Предметом инженерной геоморфологии является исследование и оценка протекающих на поверхности земли процессов рельефообразования и образуемых ими форм с точки зрения поисков оптимального варианта размещения инженерно-строительных сооружений, обеспечения их рациональной и эффективной эксплуатации и защиты от разрушительных природных процессов.

В этом определении предмета инженерной геоморфологии мы стремимся подчеркнуть, что любое инженерно-строительное сооружение создается в определенной природной среде и находится в определенном взаимодействии с ее факторами. Элементы, составляющие это естественное окружение (физико-географическую среду), включают литолого-геологическую основу сооружения, определенную совокупность климатических элементов, поверхностных и грунтовых вод, почвенно-растительный покров и др. Перечисленные элементы и их процессы, как было подчеркнуто выше, образуют саморегулируемую систему, которая приводит действующие в ней динамические силы к взаимному равновесию. Однако

подобное равновесие является неполным и непостоянным и наблюдается только до определенного времени и в определенном месте (например, в извилистом равновесном русле реки или на равновесной поверхности склона) и означает не статическую неподвижность, а, согласно выразительной формулировке И. П. Герасимова (1969), динамическое равновесие. Основной задачей инженерной геоморфологии, следовательно, является установить: достиг ли изучаемый рельеф или какая-либо его часть, вовлекаемая в инженерное строительство, в ходе своего развития такого состояния динамического равновесия или только приближается к нему; выявить степень его устойчивости, а также обуславливающие его факторы. Далее следует разработка прогноза: какие процессы и явления изменений форм всего рельефа последуют за нарушением или осложнением состояния естественного природного равновесия под влиянием строительства или эксплуатации возведенного сооружения. Такие прогнозы и расчеты необходимы не только для выбора оптимального варианта размещения объекта, но и с точки зрения гарантийности службы сооруженного технического объекта или в интересах охраны жизненно важных свойств естественной природной среды.

Совершенно ясно, конечно, что уровень разработки таких задач инженерной геоморфологии будет различным в зависимости от масштаба и характера строительства и от конкретных природных условий. С этой точки зрения важно подчеркнуть, что, решая указанные выше задачи, инженерная геоморфология ставит определенные требования и перед общей теорией геоморфологической науки, особенно в сфере изучения рельефообразующих процессов.

Известно, что рельефообразующая деятельность различных экзогенных процессов изучена не в одинаковой мере. Много физических закономерностей, касающихся динамики и механизма руслового водного потока, было открыто в ходе регулирования стока рек и строительства гидросооружений. Но имеется еще много неясностей в объяснении образования эрозионных форм, формируемых деятельностью текучих вод. Так, например, процессы поверхностного смыва и расчленяющей склоны эрозии, играющие значительную роль почти во всех местах развития расчлененного рельефа, изучены еще совершенно не достаточно. Подобное положение имеется и в области изучения процессов гравитационного движения масс по склонам, а также в вопросах изучения процессов дефляции и др. Между тем нет необходимости объяснять, насколько важно полное знание всех этих геоморфологических явлений для решения указанных выше практических задач.

Методы исследования инженерной геоморфологии

Из перечисленных выше задач следует, что инженерная геоморфология в ходе своих исследований опирается на научный капитал, накопленный всей геоморфологией. Ее методы также исходят из общих принципов и подходов геоморфологической науки. Так, например, среди общих (традиционных) методов геоморфологических исследований, составляющих основу инженерно-геоморфологических работ, следует назвать:

а) **морфометрию** (морфографию), которая применяется для количественной оценки энергии рельефа исследуемой территории, ее конфигурации и типизации форм земной поверхности на количественной основе;

б) **морфолитолию**, направленную на выявление связи тех или других особенностей рельефа и его отдельных форм с геологическим (литологическим) строением местности и ее структурой;

в) **морфодинамику**, которую применяют для выявления и характеристики многосторонних связей рельефа с окружающей природной средой. С помощью этого изучения устанавливаются общие взаимозависимости

между рельефом и воздействующими на него эндогенными факторами, а также выявляются природные динамические равновесные системы, связанные с рельефом;

г) **морфологический анализ** — стремящийся выявить историю формирования современного рельефа, установить основные фазы его эволюции и определить прогноз дальнейшего развития.

Вместе с тем для выполнения указанных выше специальных задач, инженерная геоморфология нуждается в использовании ряда своих собственных подходов и методов. Основной целью применения их является:

во-первых, переработка общегеоморфологических материалов, полученных традиционными методами, в такие формы его изложения, которые наиболее пригодны для инженерно-технического использования;

во-вторых, пополнение общегеоморфологических материалов определенной системой дополнительных показателей и характеристик, необходимых для инженерно-технических целей.

Одной из наиболее важных форм переработки общегеоморфологической информации в инженерно-строительных целях является составление серии специальных инженерно-геоморфологических картосхем и разнообразных профилей на основании геоморфологических карт и материалов традиционного содержания. Хорошо известно, насколько эффективным в чисто практическом отношении является этот широко распространенный и используемый метод.

Что касается второй группы специальных методов инженерно-геоморфологического характера, то в их использовании и развитии особенно важное значение имеет применение следующих главных подходов:

а) **математико-статистического**, который в настоящее время еще недостаточно распространен среди традиционных геоморфологических методов. Однако именно при помощи этого подхода геоморфологические процессы и формы могут быть оценены количественно, что особенно необходимо для инженерной (технической) оценки;

б) **опытных экспериментов** как в естественных (на образцах-моделях), так и в лабораторных условиях. При помощи эксперимента те или иные геоморфологические процессы могут быть многократно повторены и таким образом познаны отдельные факторы и закономерности, которые в полевых условиях не могли быть наблюдаемы;

в) **расчетных методов**, столь обычных в инженерной практике и необходимых для всех проектных работ;

г) **геоморфологического картирования динамики рельефа с инженерной точки зрения**. Методы такого рода тесно связаны со специальной интерпретацией общегеоморфологических материалов. Однако в настоящее время она приобретает иногда и вполне самостоятельное значение.

Заключение

Как следует из изложенного, современная проблематика инженерно-геоморфологических исследований может и должна явиться предметом специальной систематической разработки. Именно такую цель мы ставим перед собой в монографической работе, над которой работаем в настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

- Герасимов И. П. Современные рельефообразующие экзогенные процессы: уровень научного познания, новые задачи и методы исследования. Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969, № 2.
- Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология, Л., «Недра», 1970.
- Панюков П. Н. Инженерная геология. М., Гостехиздат, 1962.
- Попов И. В. Научные проблемы инженерной геологии и производство. Вестн. МГУ, 1966, № 2.

- B a u l i g H. L. Le profil d'équilibre des versants. *Ann. Geograph.* 49, 1940.
- S z i l v a g y i J. A mérnökgeologia, építésföldtan fogalma, tárgyköre, vizsgálati módszerei, kapcsolódása a földtani és mérnöki tudományokhoz Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1965.
- S t r a h l e r A. N. Quantitative slope analysis. *Bull. Geol. Soc. Am.* 63, 1956.
- T r i c a r t J. L'épiderme de la terre, esquisse d'une Geomorphologie appliquée. Masson, Paris, Evolution des Sciences 1962.
- T r i c a r J. Introduction a la Geomorphologie Climatique, Paris, 1965.

Институт географии
АН БНР

Поступила в редакцию
29.V.1970

PROBLEMS OF ENGINEERING GEOMORPHOLOGY

M. P E C H I

S u m m a r y

In the course of differentiation of sciences on Earth on the boundary of geography and geology there sprang up a new independent branch of science — geomorphology. Its further development gave birth to new scientific disciplines and branches. At the joint of geomorphology and engineering geology there formed up an independent marginal branch — engineering geomorphology. Its appearance is stipulated by an increasing importance of the cover of the Earth for technical and economic practice of mankind. Investigation and evaluation of processes of relief formation and forms of the Earth's cover from the point of view of finding the optimum variant for distribution of engineering and building constructions, providing for their rational and effective running and protection from disastrous natural processes is the subject of engineering geomorphology. Hence proceed the main scientific tasks of the new branch. Engineering geomorphology is a branch of science where there are used both general, traditional (morphometry, morpholythology, morphodynamics, morphological analysis) and special methods (mathematico — statistical, experimental, calculation method, the method of engineering — geomorphological mapping and some others).
