

**ЛЕХОВ М.В.**

Ведущий научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,  
lehov@mail.ru

**LEKHOV M.V.**

A leading staff scientist of the geological faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, lehov@mail.ru

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: КРИТИЧЕСКИЕ КОММЕНТАРИИ

### HYDROGEOLOGICAL SURVEYS AND MODELING FOR URBAN CONSTRUCTION: CRITICAL COMMENTS

**Ключевые слова:** гидрогеология; гидрогеологические изыскания; гидрогеологические исследования, геофильтрационное моделирование; прогноз; подпор; водопонижение; опытно-фильтрационные работы; программное обеспечение.

**Аннотация:** в критических комментариях дается оценка двух проводимых в настоящее время при гидрогеологических исследованиях в строительстве видов работ — изысканий и геофильтрационного моделирования, которые объединяет общий предмет исследования и одинаково неблагоприятное, по мнению автора, состояние. Затрагиваются вопросы неэффективности гидрогеологических исследований, связанной с их организацией, методикой, профессионализмом исполнителей. Обсуждаются необходимость и сложившаяся практика повсеместного применения геофильтрационного моделирования, а также его достоверность как следствие степени обоснованности исходных данных. Делается вывод о необходимости выделения гидрогеологических исследований как отдельного вида работ, включающего взаимосвязанные изыскания и прогнозные исследования.

**Key words:** hydrogeology; hydrogeological surveys; hydrogeological investigations; geofiltration modeling; prediction; backing-up; water drawdown; experimental filtration tests; software.

**Abstract:** the critical comments evaluate two kinds of works carried out nowadays for hydrogeological investigations for construction, namely hydrogeological surveys and geofiltration modeling, that are linked to each other by a common subject of investigation and equally dysfunctional (by the author's opinion) states. The problems of inefficiency of hydrogeological investigations associated with their organisation, techniques and executors' professionalism are touched. The necessity and existing practice of all-round application of geofiltration modeling as well as its reliability as a consequence of the initial data validity extent are considered. The author concludes that it is necessary to single out hydrogeological investigations as a separate kind of works including interrelated survey and predictive research.



## Введение

Результаты гидрогеологических изысканий<sup>1</sup> используются для прогнозирования влияния строительства на подземные воды и связанные с ними процессы и элементы окружающей среды, для разработки разделов проектирования, занимающихся организацией строительства (ПОС), защитными противодиффузионными, противоползновыми и дренажными мероприятиями, предотвращением негативного воздействия подземных вод на сооружения, строящиеся и расположенные рядом с площадкой строительства.

В настоящее время сложилась неблагоприятная ситуация в отношении пригодности и обоснованности результатов изысканий для решения таких вполне ординарных задач, как моделирование подпора и дренажа. Гидрогеологические исследования в изысканиях имеют крайне ограниченный объем, а методика доведена до примитивного уровня. Ситуация неблагоприятна не только в исследованиях, связанных с гидродинамическим прогнозом, но даже в разделе простой характеристики условий залегания подземных вод и гидрогеологической стратификации разреза.

В свою очередь, и прогнозное моделирование пришло к противоречию. Расчет выдвигается на первый план, в то время как плановые исследования по его обоснованию сокращаются. Теряются системный анализ природно-технической системы, оценка степени сложности задачи. Выполнение прогнозных исследований обретает «конвейерный» характер, что приводит к снижению исследовательского потенциала специалистов в данной области. Негативную роль играют стандартизация, рыночный подход к программному обеспечению и ориентация на западные продукты. Результатом может стать потеря научно-исследовательского отечественного потенциала, плодотворное развитие которого происходило в предшествующие десятилетия.

Целью представленных в настоящей статье критических комментариев яв-

ляется оценка двух видов работ, проводимых в настоящее время при гидрогеологических исследованиях в строительстве — гидрогеологических изысканиях и геофильтрационном моделировании, которые объединяет общий предмет исследования и одинаково неблагоприятное, по мнению автора, состояние. Пессимистический взгляд основан на опыте работы автора в этой области в течение довольно длительного времени — начиная с периода активного развития методов гидрогеологии строительства в 1970-е годы и заканчивая превращением ее в современный «нормативно зарегулированный формализм».

Критические комментарии не должны приниматься на свой счет гидрогеологами, сохраняющими добросовестное отношение и творческий подход к работе.

## О гидрогеологических изысканиях в строительстве

Задачами гидрогеологических изысканий, наиболее востребованными в городском строительстве, являются долгосрочный прогноз подпора-понижения<sup>2</sup> поверхности грунтовых вод на территории возведения сооружения и прогноз строительного водопонижения<sup>3</sup>.

В прежнее время эти задачи рассматривались редко. Если и приходилось их решать, то главным условием являлись обоснованность результатов исследований, изучение природных условий и параметров на участке строительства. Моделирование фильтрации подземных вод (аналоговое и с использованием ЭВМ) было трудоемким, и при ограниченных изысканиях использовались аналитические расчеты — простые, но надежные в оценочном прогнозе, которого во многих случаях оказывалось вполне достаточно.

В новое время оказалось, что геофильтрационное моделирование<sup>4</sup> следует проводить практически всегда. А использование метода численного моделирования определяется не столько сложностью гидрогеологических условий и обилием материала (его качество

стало несравнимо хуже), сколько наличием сертифицированных компьютерных программ. Этот факт обретает решающее значение, в то время как исследовательская, творческая сторона «за ненадобностью» исчезает.

Дают ли изыскания в строительстве (в том в виде, в котором они сейчас находятся) материал для гидрогеологического прогноза? Ответить на этот вопрос можно кратко: дают, но крайне мало, некачественно и «оторванно» от конкретной задачи.

Почему том изысканий не содержит карту гидроизогипс территории строительства? Ответ: такая карта сразу показывает огрехи измерений уровней подземных вод и квалификация исполнителя. Не следует забывать и о том, что первичная полевая документация гидрогеологических наблюдений не находит отражения в отчете. Помимо «статического и динамического» уровней нужны и данные измерений хода уровня воды в скважине, журналы прокачек, конструкция в период измерений.

Но есть и другой вопрос. Всегда ли нужен сам гидрогеологический прогноз, осуществляемый методами математического моделирования? Ведь численная сетка требует насыщения параметрами (характеристиками граничных условий, изменчивости, проводимости и питания) и знания геологического строения для литолого-фильтрационного анализа. И все это по единичным скважинам?

Не надо забывать и про увеличившееся количество фирм и специалистов, которые заняты и в моделировании, и в экспертизе отчетных материалов. Причем специалистов, не всегда поддерживающих свой профессиональный уровень, подчас не только имеющих недостаточные квалификацию и опыт в моделировании и опытно-фильтрационных исследованиях (ОФИ), но и не сохранивших знания в области базовых гидрогеологических дисциплин.

В итоге моделирование становится затратным и при этом малоубедитель-

<sup>1</sup> Автор здесь и далее кратко называет гидрогеологическими изысканиями гидрогеологические исследования в составе инженерных изысканий, намеренно придавая этому словосочетанию не общепринятый смысл, а смысл «по существу», то есть отражая особенности гидрогеологических работ для целей строительного проектирования.

<sup>2</sup> В отличие от созвучного слова «дренаж», вошедший в употребление термин «барражный эффект» отсутствует в русскоязычной терминологии, не фигурирует ни в одном учебнике (но уже попал в нормативные сборники) и не имеет отношения к гидродинамике. А слово «эффект» и вовсе усугубляет иноязычную бессмыслицу. Более понятны и привычны термины «подпор», «явление», «процесс».

<sup>3</sup> Этот «набор» задач может показаться странным, но он практически «поголовный». Однако в действительности эти задачи требуется решать гораздо реже, чем это делается сейчас. Они довольно простые, но, тем не менее, не могут быть достоверно решены при существующих уровне и качестве изысканий. Есть и другие, более серьезные, задачи, которыми заниматься следует, но решить при таком положении дел невозможно. Об этом и идет речь в данной статье.

<sup>4</sup> Геофильтрационное моделирование, иначе называемое моделированием геофильтрации — это математическое моделирование геофильтрации при решении тех задач, которые фигурируют в названии статьи и во введении.

ным видом работ. Ведь геологический прогноз проверить после строительства практически невозможно, если не провести гидрогеологическую съемку.

Целевая осмысленность и изыскательская база прогнозных исследований в последние годы обрели формальный характер. Преобладающий объем моделирования в строительстве может быть назван некорректным из-за отсутствия ОФИ. Результаты же принимаются к рассмотрению («актируются») формально, по требованиям нормативных документов. При этом не учитывается и вариативный характер геологических исследований, и заведомо известные объективные погрешности, которые всегда имеют место, даже при специальных исследованиях.

Точного прогноза при многофакторной зависимости геофильтрационных построений от параметров, баланса, технического решения, заведомо неизвестного питания, техногенной инфильтрации, сопротивления ложа водоема, перетекания ожидать может только неспециалист, зная, что изыскания оперируют данными всего по 5–8 скважинам с «неуверенными» уровнями воды.

Вместе с тем ответить на вопрос, произойдет ли ухудшение гидрогеологических условий, нередко можно и без моделирования, на основе опыта и простых расчетов. Аналитические методы гидрогеологических прогнозов, такие приемы, как метод локальных сопротивлений, метод суперпозиций, обеспечивающие эффективность с минимальными затратами, не находят применения.

Часто и необходимости в моделировании нет из-за очевидного ничтожного влияния строительного объекта на подземные воды. Какой подпор может вызвать 3-подъездное строение даже с совершенной врезкой подземной части в грунтовые воды? Как правило, при реальных соотношениях проводимости и питания для градиентов потоков, типовых на междуречьях и склонах, на удалении 50 м подпор составляет не более полуметра (не имеется в виду случай, когда новый фундамент смыкается с соседним). Посчитать это может и студент 4–5-го курса. Чтобы задуматься о ценности таких прогнозов, надо напомнить, что ошибка измерений уровней грунтовых вод достигает 10–30 см из-за «недовосстановления» при бурении, а сезонная амплитуда их колебаний — более 1,5 м.

Эти соображения, конечно, не исключают осложненные условия, например подтопление оползневых склонов. Но тогда и проект не может не включать в себя дренаж и другие защитные мероприятия. В этом случае задачи формулируются по-другому и в изысканиях неизбежно будут присутствовать специальные исследования, если, конечно, проектировщик обладает необходимыми интуицией и опытом.

Забывая о том, что детерминированный прогноз является завершающей стадией длительных комплексных исследований, на практике модель использует параметры, изучение которых не проводилось. Они назначаются. Последнее время в изысканиях все же фигурируют кратковременные наливки и откачки, в основном в/из не подготовленных должным образом разведочных скважин (иногда в/из забоя), создающие видимость ОФР. Такие опыты являются, как отмечали В.А. Мироненко и В.М. Шестаков, «самым дешевым способом получить ошибочные параметры»<sup>5</sup>.

Что можно сказать об идентификации параметров решением обратной задачи? Опытными фильтрационными исследованиями в изысканиях отсутствуют. Изученность ограничена границами стройплощадки. Чтобы придать убедительность обратной задаче для пополнения информации по уровням воды, используются архивные скважины без системного анализа, без документации наблюдений, иногда 30-летней давности. При этом почему-то и от инженерно-геологических, и от геодезических изысканий требуется использование только новых данных.

Фондовые скважины не могут служить основой для сопоставления модельных и фактических уровней без: (1) журналов гидрогеологических наблюдений, (2) коррекции данных измерений по времени. Первое недоступно «за давностью», второе требует проведения специальных исследований и наличия опорных режимных пунктов, что выходит за рамки финансирования локального строительства. Статистическое сравнение и расчет среднеквадратичного отклонения модельных напоров от натуральных не содержат доказательств принадлежности выборки измерений к единой совокупности, без чего эти процедуры являются не более чем наукообразным приемом. Следует проводить или разовую гидродинамическую съемку по скважинам, специ-

ально пробуренным в радиусе полукилометра от строительного объекта, или анализ гидрогеологических условий по архивным материалам, результатом которого будет карта гидроизогипс. Выбор того или другого зависит от степени опасности воздействия объекта на окружающую среду и от финансирования проекта.

Методически приемлемым является использование карт гидроизогипс, выполненных специализированными учреждениями, например, в Москве — масштабов 25 000 и 10 000, выполненных ЦИГГЭ в 1980 году и Мосгоргеотрестом в 2009 году соответственно. Они являются продуктом многостороннего анализа данных, но, к сожалению, отсутствуют в свободном доступе. Использование же для решения обратных задач моделирования данных по архивным скважинам, без доказательств, недопустимо, равно как и результатов ОФР без возможности повторной интерпретации. Идентификация параметров может проводиться только путем сопоставления интерполированных свободных от «шума» поверхностей гидроизогипс и модельных напоров.

И самое главное. Для корректного решения обратной задачи в неоднородной области неперенным условием являются балансовые показатели или результаты кустовых откачек, а лучше — и то, и другое. Нельзя не отметить, что в рамках локального проекта вообще никак не может быть получен ряд параметров, таких как сопротивление ложа водоема, водоотдача, инфильтрационное питание, параметр перетекания. А на них иногда базируются принципиальные технические и экологические решения.

За слабой обоснованностью и формализмом гидрогеодинамического прогноза следует и низкая достоверность экологического прогноза (прогноза подтопления, деформаций, влияния строительных объектов на водоемы и растительность, устойчивости сооружений, загрязнения) и расчета технических параметров водопонижения.

Попытка же дать точные характеристики, например, осадок от метрового водопонижения при сезонной амплитуде колебаний уровня подземных вод 1,5–2,0 м, зная параметрическую ущербность модели, только усиливает недоверие и к результатам, и к квалификации исполнителей. Расчет осадок при водопонижении, требуемый рань-

<sup>5</sup> Автор ссылается на слова своего учителя В.М. Шестакова, который неоднократно произносил их в устных беседах, в свою очередь, ссылаясь на В.А. Мироненко. Эта фраза давно стала поговоркой в среде специалистов.



ше в единичных случаях, а теперь почти повсеместно, весьма формален. На стройплощадке, где понижения напоров значимы, он не нужен, а за ее границами невозможен, так как там не производится изучение грунтов, деформационные свойства которых могут существенно меняться.

Большее внимание следует обратить на влияние водопонижения и строительства на разуплотненные зоны расположенных рядом подземных сооружений, коллекторов. Изменение гидродинамики влияет на возобновление пристенной суффозии, деформацию техногенных грунтов с погребенными полостями, пльвунных четвертичных образований и на осадку, которая может быть более опасной, чем миллиметровая компенсация изменения гидростатического взвешивания.

### **О геофильтрационном моделировании**

Переход от аналогового моделирования к компьютерному дал очевидные технические преимущества, но привел и к негативным последствиям в части снижения требований к квалификации специалистов и геофильтрационного обоснования прогнозов. В период последовательного развития методики и технического оснащения моделирования методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) студенты университетов, обучающиеся по специальности «гидрогеология», в той или иной мере сами составляли схемы и проводили модельные исследования. При этом они обретали навык и на практике понимали смысл известной поговорки о модели, «в которую что положишь, то и получишь». Почти в каждой работе велись поиски повышения точности или удобства решения.

Аналоговое моделирование требовало обобщения всех полученных результатов, составляло содержание заключительного этапа работ. Но как имитационное, разведочное оно применялось и в ходе планирования, и при факторно-диапазонных исследованиях.

Компьютерное моделирование в силу трудной доступности ЭВМ требовало несоизмеримо больших затрат времени и участия математиков, которые не сразу чувствовали специфику решаемой проблемы. Решение даже простой задачи в вычислительном центре могло растянуться на месяцы, сопровождалось утомительным выявлением ошибок перфорации карт и не использовалось в учебном процессе. И именно специалистам, прошедшим обуче-

ние работы на электроинтеграторах, в дальнейшем пришлось оставить их и изучать математические методы. Препятствием служила их неподготовленность в области программирования и численных методов, ранее не входивших в учебные курсы при подготовке гидрогеологов.

По мере увлечения компьютерным моделированием и с появлением персональных ЭВМ в 1980-е годы к моделированию стали подключаться «компьютерщики» без систематического гидрогеологического образования, опыта стадийных исследований и обоснования геофильтрационной схемы, опытных работ, решения обратных задач, водобалансовых исследований.

Появившиеся затем программные продукты даже на маломощных персональных компьютерах создавали иллюзию неограниченных возможностей. Козырями для исполнителя работы являлись две позиции — большее количество узлов в сеточных моделях и использование программы «заграничного» производителя. От исполнителя начинает требоваться одно — включать компьютер и запускать программу. Канонические позиции геофильтрационной схематизации отошли на второй план. На первый план стало выходить бюрократическое требование, касающееся наличия лицензий и сертификации программ, нормативного перечня используемых ими методов. Но творческий, исследовательский характер гидрогеологического моделирования в силу многообразия природных условий не подпадает под разряд нормативных технических расчетов.

Период постперестроечных 1990-х годов разрухи совпал и со стремительным падением качества изысканий, не говоря уже о низкой оплате и убыли научных кадров, часто лучших естествоиспытателей. В сфере изучения гидрогеологических параметров произошла подмена обоснованного опытно-фильтрационного опробования скважин экспресс-определениями по скважинам и в лаборатории. Они могут производиться без специальных затрат, в количестве, требуемом для наращивания сметы, и не нуждаются в квалификации и эрудиции исполнителей. Структура, границы потока, упругая и гравитационная емкость, инфильтрационное питание, перетекание, сопротивление ложа водотока не могут быть изучены ввиду тех же причин. Эти параметры связаны с длительными работами, с организацией наблюдений, раскинутых по площади, значительно пре-

вышающей размеры изучаемого объекта. В конце концов материалы изысканий стали содержать «инкубаторские» таблицы коэффициентов фильтрации и уровни воды, в достоверности которых нет никакой возможности убедиться. Обратная задача, которая должна предварять прогноз, при таком дефиците не только параметров, но и картировочного разведочного материала, не может быть решена.

Изыскания под строительство оказались выхолощенными в гидрогеологической части (инженерно-геологическая часть также вызывает вопросы). Практически нет руководителей подразделений, специализирующихся на фильтрационных исследованиях. Причиной является главным образом потеря исследовательского характера геологических работ. Производство обусловлено недействующими и непригодными даже в период их разработки правилами и нормами. Их разработкой и экспертизой, за редким исключением, занимается чиновник, давно не имеющий отношения к работе на объектах (умеющий ее делать квалифицированный исполнитель редко занимается фискальной деятельностью).

Отдельного внимания заслуживает извращенное понимание экологической стороны проектирования, в котором имеет место и гидрогеологически неразумная концепция, и навязываемое прогнозное моделирование, которое просто не может на основе имеющегося материала быть достоверным (если проводится моделирование, то почему-то считается, что качество прогноза влияния строительного объекта на окружающую среду обеспечено).

Обращение к многозадачным программам моделирования, которые теперь уже разработаны на солидном уровне, в известном смысле имеет и негативные последствия. В первую очередь это возможность не углубляться в тонкости схемы и математической модели и прогонять множество вариантов задач без исследования особенностей структуры потока, параметров и баланса. Как это часто случается, исполнитель становится «заложником» освоенной им системы и пытается использовать ее для решения всех, даже не подходящих для нее задач. В том же случае, когда требуется решить задачу с другим характером потока или процесса, навыки использования полученных знаний по гидрогеологическим расчетам, то есть по самостоятельной разработке модели, оказываются потерянными.

Отмеченные негативные черты еще больше усиливаются формализацией самого смысла и места применения гидрогеологических работ и моделирования, сужением круга занимающихся ими специалистов. Это определяет необходимость вернуть в учебный процесс и в обход научных исследований практику моделирования с использованием *самостоятельно* разработанных программ для численного и аналитического решения задач исходя из потребностей каждого конкретного исследования (студенческой или проектной работы), давая свободу в выборе средств программирования.

В профессиональное обучение будущих гидрогеологов на вариативной основе должны быть включены вопросы научного программирования, разработки программ как индивидуального инструмента исследователя, который особенно необходим при крупномасштабных инженерно-гидрогеологических исследованиях для проектирования гидротехнических, подземных, противодиффузионных, дренажных сооружений, опытных и эксплуатационных скважин. В процессе программирования и тестирования алгоритма работы программы особенно ощущается значимость параметров и природа исследуемого процесса, неизбежно появляется стимул совершенствования и расширения знаний.

Практика навязывания (ведомственными инструкциями, экспертизой, заказчиками и пр.) обязательной дорогостоящей сертификации программ, используемых в гидрогеологических работах, и поголовного использования программ монопольного производителя незаконна и губительна по отношению к преемственности отечественной школы и творческой инициативе специалиста. Программное обеспечение не входит в «Единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации», утвержденный Правительством РФ. Формулировка «сертификат соответствия» никак не применима к системе гидрогеологического моделирования. Если программа неверна, ошибочность расчета скажется уже при тестировании решения в процессе ее разработки как средства автоматизации. Выбор же неправильной или устаревшей теоретической модели не устроит ни исполнителя, ни заказчика.

На практике инженерное решение или прогнозирование природных явлений не заканчивается расчетом на модели гидродинамических характеристик или идентификацией геофильтрационных параметров. Для этого требуется решение преемственной задачи, например оптимизации водопонижения, консолидационной осадки поверхности земли при рекультивации или под влиянием откачки, оценки устойчивости оползневого склона с сооружениями под влиянием подземных вод, расчета дренажа. Поэтому имеет практическое значение дальнейшее развитие гидрогеомеханики как фундаментальной базы инженерной гидрогеологии в области разработки методики гидрогеологических исследований, включая теперь и основные позиции научного программирования<sup>6</sup>.

### Заключение

Объем, качество и информативность гидрогеологических исследований в строительстве находятся в состоянии, крайне неудовлетворительном для обоснованного решения задач проектирования и экологии.

Современная практика инженерных изысканий включает в себя гидрогеологические исследования как вид работ наряду с изучением геологического строения, определением физико-механических свойств грунтов, геофизикой, геодезией и т.д. Гидрогеология строительства вместе с тем имеет свои задачи, методы исследования, требования к производству полевых работ и к размеру изучаемой территории. Гидрогеологические работы требуют особого регламента бурения (способа, типа, глубины, особых условий отбора проб и измерений), связаны с необходимостью проведения режимных наблюдений и длительных опытов по скважинам. И, главное, эти исследования имеют свое прикладное назначение, востребованность в задачах проектирования, связанных с выбором конструктивных решений и обоснованием экологической безопасности строительства.

Задачи гидрогеологических исследований в строительном проектировании (включая и собственно изыскания, и прогнозные моделирование) связаны с другими видами изыска-

тельских работ — инженерно-геологических, геофизических, геодезических и гидрологических. Но они всегда имеют характер самостоятельных проблем.

От результатов изысканий в части гидрогеологических исследований зависит корректность прогноза — гидродинамического, гидрогеомеханического, геомиграционного — в зависимости от задач строительного проектирования. В свою очередь, и достоверность инженерного решения в проекте является следствием степени обоснованности модели того или иного типа, то есть зависит от результатов изучения гидрогеологических условий и параметров как в процессе изысканий, так и на стадии камеральных работ, включающих на завершающей стадии прогнозное моделирование.

Для повышения эффективности изысканий представляется целесообразным возврат к их стадийной организации в части гидрогеологических работ — выделении предварительных и рабочих изысканий. На первой стадии необходимо проводить быстрые пробные изыскания, уделяя серьезное внимание обязательному сбору и анализу архивных материалов. Это позволит создать геофильтрационную модель участка с сооружением, рассмотреть альтернативные варианты для предотвращения возможных негативных явлений, сформировать задачи и объем дальнейших изысканий или же остановиться на полученном результате. Последующая рабочая стадия, включающая целевое бурение, опытно-фильтрационные работы, режимные наблюдения, специальные работы, а также детальное моделирование, в этом случае обретает характер осмысленного и гораздо более качественного исследования.

Закономерным выводом из обсуждения сложившейся ситуации на VIII Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» в 2012 году явилось мнение участников заседания гидрогеологической секции (которое полностью поддерживает автор) о необходимости выделить гидрогеологические изыскания в отдельный вид работ и разработать методические и нормативные основы такой реорганизации. 

<sup>6</sup> Термины «гидрогеомеханика» и «инженерная гидрогеология» были введены во второй половине прошлого века как названия дисциплин и направлений; они в том числе присутствуют в названии института ВОДГЕО (см., например: МIRONENKO В.А., ШЕСТАКОВ В.М. Основы гидрогеомеханики. М.: Недра, 1974; ТАГИЛЬЦЕВ С.Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГТА, 2003; БСЭ; Горная энциклопедия и др.). Более новое направление — «научное программирование» (scientific programming) — это разработка программ моделирования для решения научно-исследовательских задач.