

Ю.К. Иванов, А.И. Ковальчук

Количественные исследования динамики региональных потоков

Напряженное положение с питьевым водоснабжением населения горно-промышленной зоны Среднего Урала, массированный водоотбор подземных вод при добыче полезных ископаемых, техногенное загрязнение подземных вод на обширных площадях, обострили интерес к вопросам региональных деформаций подземной гидросферы.

Широкое вовлечение в водопользование горизонтов подземных вод приводит к региональным изменениям динамики потоков и их качественных показателей [5, 6]. При исследованиях таких региональных гидрогеологических систем, особенно в сложных условиях, каким является горно-складчатый Урал, возникает необходимость отразить всю пространственную и временную изменчивость фильтрационного потока. Проблему повышенной сложности региональной гидрогеодинамики невозможно решить без привлечения численного моделирования, так как получить конечные аналитические решения при большом числе факторов крайне сложно [2—4]. Большой опыт, накопленный в последние годы по численному решению задач управления водными ресурсами, позволяет отметить ряд принципиальных трудностей, возникающих при создании моделей региональных потоков. Отметим лишь некоторые, наиболее важные из них.

Теория и методы гидрогеодинамики подземных вод разработаны главным образом при изучении движения подземных вод на локальных участках в зоне активного водообмена. Для данных систем имеется разработанная математическая теория, основанная на представлении математики сплошных сред, а также созданы достаточно корректные математические модели и эффективные методы решения данного класса задач на ЭВМ [3, 6, 7].

Исследования региональных потоков, охватывающих крупные бассейны грунтовых вод, существенно отличаются [1]. Такие гидрогеологические системы имеют качественно иной порядок по отношению к локальным, для которых и разработаны существующие математические методы. Следовательно, возникает вопрос о достоверности результатов моделирования региональных систем при использовании методов и приемов теории фильтрации (вопрос представительного объема).

При создании региональных моделей возникает проблема так называемого информационного барьера [3]. Отсутствует полноценная информация по сколько-нибудь крупному грунтовому бассейну. Прежде всего имеет место дефицит как геофильтрационных, так и геомиграционных параметров фильтрующей среды. Попытки создать достоверную модель при недостатке исходной информации приводят к грубой схематизации реальных условий и, следовательно, к получению результатов, корректность которых сомнительна.

Выделим ряд закономерностей, которые необходимо учитывать при создании региональных моделей:

— в моделях должны учитываться с высокой степенью точности закономерности изменения фильтрационных параметров водоносных горизонтов; усреднение данных характеристик по всей области моделирования однозначно приводит к значительным ошибкам в решении; в тех случаях, когда фильтрационная модель используется для дальнейших миграционных построений, такое усреднение приводит к суммарным погрешностям, полностью искажающим результат;

— инфильтрационное питание должно задаваться в явном виде и определять флуктуацию поля напоров в течение расчетного периода времени;

—предпочтение должно отдаваться стохастическим моделям как миграции, так и фильтрации в отличие от широко используемых в настоящее время детерминированных моделей.

В настоящее время для задания начальных параметров пласта используются в основном детерминированные модели, с выделением различных зон (в основном в соответствии с литологией), которым присваиваются конкретные параметры, определенные предварительными анализами, которые постоянны во времени и пространстве для данной конкретной зоны [3]. При этом происходит усреднение параметров в пределах выделенных зон, что в условиях недостатка исходной информации приводит к огрублению модели и понижению ее чувствительности к изменению входных параметров. Одновременно с этим наличие резких границ между литологическими разностями с различными фильтрационными параметрами вызывает разрыв по скоростям движения и, следовательно, выводит численную схему из устойчивого состояния [3, 7]. Одновременно с этим невозможно однозначно прогнозировать влияние мелких водозаборов на изменение региональной обстановки.

Необходимо также отметить, что использование детерминированных моделей для гетерогенных комплексов неупорядоченного строения, каковыми являются водоносные горизонты, сопряженные с грунтовыми бассейнами, требует огромного, практически нереального объема исходной информации. Как указывают результаты полевых экспериментов, полученные данные часто не согласуются с классической теорией, а полученные параметры напрямую зависят от масштаба области рассмотрения. Следовательно, появляется необходимость решения нелинейной задачи повышенной сложности с учетом нерегулярной структуры фильтрующей среды. Наиболее приемлемым вариантом описания упомянутой нерегулярности является задание параметров в виде случайных величин как статистических функций.

Такое стохастическое представление фильтрующей среды позволяет учесть возможные случайные флуктуации поля напоров (как функцию входных параметров) и компенсировать недостаток исходной информации путем задания на модели широкого диапазона используемых параметров (решить проблему информационного барьера). Данные параметры задаются в виде либо простого числового ряда, либо в виде нормального (или логнормального) распределения. В наших расчетах мы ориентировались на весь возможный ряд данных распределений для выявления значимости их вида для региональных модельных оценок.

При разработке программы для грунтового бассейна верховьев р. Течи на первом этапе входные параметры, входящие в основное уравнение фильтрации (проницаемость, мощность, пористость и т.п.), задавались в виде простого числового ряда, нижний и верхний пределы которого определялись, исходя из общерегиональных оценок данных параметров и экспертных оценок. Далее использовались более узкие диапазоны параметров системы, представленных нормальным или логнормальным распределением. Распределение величин (средние значения и стандартные отклонения) были получены после статистической обработки данных по конкретно моделируемой территории. Для каждой модели осуществлялось необходимое число реализаций в целях получения представительного ряда выходных параметров системы. Для некоторых реализаций алгоритм программы предполагал остановку расчетов при достижении заранее заданных выходных характеристик (достижение загрязнением дрены, осушение горизонта и т.д.) [7]. При этом данное событие оценивалось с точки зрения его вероятности.

Полученные результаты позволяют отметить ряд особенностей. Наибольшая чувствительность модели отмечается по отношению к вариациям профильной анизотропии, что вполне согласуется с физическими представлениями, а также по отношению к заданию характеристик зон тектонических нарушений (как внутренних гидрогеологических границ различного рода).

Даже при использовании в качестве входных параметров простого ряда чисел наблюдается хорошая согласованность выходных параметров как с детерминированной моделью, так и с реальной природной обстановкой. Лучшая сходимость результатов отмечена при представлении входных параметров в виде логнормального распределения. Упомянутое логнормальное распределение характеристик природной среды, по-видимому, вполне закономерно [3, 4, 7].

Необходимо отметить положительное влияние вероятностного моделирования на устойчивость используемых расчетных схем при решении задачи с разрывными коэффициентами (границы литологических разностей), что можно связывать с сглаживающим (подобно интегро-интерполяционному методу) влиянием статистической изменчивости фильтрационных характеристик, реализуемых на одном временном шаге расчета, для литологических разностей.

В условиях постоянного снижения качества и количества исходной гидрогеологической информации: управление водными ресурсами региональных систем возможно лишь с привлечением стохастического моделирования. Это позволяет использовать в качестве входных параметров приближенные значения, полученные при различных исследованиях.

Результаты стохастического моделирования дают возможность прогноза вероятности события и оценки его степени риска при определенном наборе входных параметров.

Модели подобного вида должны быть проблемно ориентированными, т.е. это должны быть не простые имитационные модели, а модели, решающие конкретную задачу (загрязнение водозабора, вероятность снижения качества воды по времени, подтопление и т.д.). Именно в этих условиях появляется возможность получить подборку входных параметров, которые приводят к интересующему результату и, следовательно, указать возможные пути решения моделируемой проблемы.

Список литературы

1. Гавич И.К., Шестаков В.М. Вопросы методологии изучения региональной гидрогеологии // Актуальные проблемы гидрогеологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1989. С. 26—29
2. Гензель Г.Н., Карачевцев Н.Ф., Коносовский П.К. и др. Решение задач охраны подземных вод на численных моделях; Под ред. В.А. Мироненко. М.: Недра, 1992.
3. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986.
4. Палкин С.В. О месторождениях экологически чистых подземных вод на территории Свердловской области // Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология месторождений полезных ископаемых: Информационные материалы. Екатеринбург, 1994. С. 98—101.
5. Рыбникова Л.С., Фельдман А.Л., Копылов Д.В. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод Исетского бассейна стока методами математического моделирования // Там же.
6. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод: Пер с англ. М.: Недра, 1981.
7. Barnard R.W., Dykhuizen R.C. Groundwater Flow Code Verification «Benchmarking» Activity (Cove 2A): Analysis of Participant's Work, SAND89-2558, Sandia National Lab, Albuquerque, New Mexico. 1992.