

Методика

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2009. №3. С. 97–103

УДК 501.76, 556.3

В.Ю.ПАНИЧКИН¹, О.Л.МИРОШНИЧЕНКО²

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КАЗАХСТАНЕ

Гидрогеологиялық үлгілеудің көзінде заманғы тенденциясы қарастырылған. Үлгілердің негізгі түрлері сипатталған. Олардың құру технологияларының ерекшеліктері сөз болған. Қазіргі заманғы аспаптың құралдарды пайдаланудың нұсқаулықтары берілген.

Рассматриваются современные тенденции гидрогеологического моделирования. Характеризуются основные типы моделей. Затрагиваются особенности технологии их создания. Даются рекомендации по применению современных инструментальных средств.

Modern tendencies of hydrogeological modeling are discussed in this article. Basic types of models are characterized. Technological peculiarities of their creation are touched. Recommendations as of the application of modern instrumental means are given.

Как способ познания действительности математическое моделирование наибольшее распространение получило в тех областях знаний, которые в равной степени используют эмпирические и теоретические методы исследований. К их числу принадлежит и гидрогеологическая наука. Поэтому естественным является широкое использование математических моделей в разных сферах гидрогеологических исследований – от подсчета запасов до оценки техногенного воздействия на подземные воды. В настоящее время интенсивное развитие вычислительной техники и программных средств вывело моделирование на качественно новый, более высокий уровень. Но возможность автоматизации всего цикла моделирования предъявляет серьезные требования к подготовке специалиста. Наряду со знанием гидрогеологии он должен в совершенстве владеть методологией гидрогеологического моделирования, знать и уметь эффективно применять новейшие информационные технологии, реализовывать их с помощью различных программных средств. К сожалению, публикаций такого рода в данное время недостаточно. Исследования, которые ведутся в лаборатории моделирования гидрогеологических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и

геоэкологии, в некоторой мере восполняют этот пробел.

Под моделью понимают мысленно воспроизводимую или материально реализованную систему, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте. Конечно, модель замещает оригинал лишь в ограниченном смысле. Для любого объекта может быть построено некоторое множество моделей, описывающих его определенные стороны или же характеризующие объект с разной степенью детализации. Гидрогеологический объект не является исключением. В данной статье мы ограничимся рассмотрением геоинформационно-математических моделей [1], систем взаимосвязанных разномасштабных моделей [2 – 4], а также разовых и постоянно действующих моделей [5].

Следует отметить, что такое разделение моделей гидрогеологических объектов является довольно условным, элементы каждого из выделенных классов могут пересекаться. Например, геоинформационно-математическая модель может в качестве составляющей входить в систему моделей или выступать в качестве постоянно действующей, разовая модель – быть гео-

¹⁻² Казахстан, 050010, г.Алматы, ул.Ч.Валиханова, 94, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М.Ахмедсафина

информационно-математической и т.п. На наш взгляд перечисленные типы моделей в гидрогеологии представляют наибольший практический интерес.

Геоинформационными моделями называют комплексные автоматизированные модели, включающие систему различных разномасштабных геоизображений и связанных с ними структурированных и неструктурных описаний гидрогеологических систем и их свойств, отображающих состояние гидрогеологических объектов, протекающие в них процессы, а также процессы взаимодействия с окружающей средой [1]. Разнотипные геоинформационные модели формируются на единой картографической основе и имеют разный масштаб и пространственный охват. Эффективным инструментом, способным реализовать геоинформационные модели, являются геоинформационные системы (ГИС).

Под математической моделью обычно понимают систему математических зависимостей, описывающих структуру или функционирование объекта [6]. В гидрогеологии под математическими моделями подразумевают уравнения или системы уравнений, описывающих процессы геофильтрации, протекающие в гидролитосфере, а также процессы взаимодействия гидролитосферы с окружающей средой. Математические модели, как правило, реализуются с помощью специальных прикладных программ, решающих эти уравнения.

Наиболее полное и всестороннее отображение гидрогеологического объекта обеспечивают комплексные геоинформационно-математические модели. Они наглядно отображают строение гидрогеологического объекта, изменение его свойств в пространстве и во времени, а также позволяют прогнозировать эти изменения в результате воздействия тех или иных факторов. Геоинформационная составляющая не только обеспечивает картографическую основу математической модели, но и используется для всестороннего анализа результатов расчетов.

В основе создания систем взаимосвязанных разномасштабных моделей лежит концепция структурного моделирования, смысл которого заключается в представлении сложных систем в виде взаимосвязанной совокупности простых объектов. Модели, входящие в систему, имеют

разный масштаб и пространственный охват, различную структуру и функциональное наполнение. Они должны быть определенным образом упорядочены и связаны регламентированными отношениями, что дает возможность рассматривать всю систему как единое целое со своими уникальными свойствами.

Системы взаимосвязанных разномасштабных моделей целесообразно использовать в тех случаях, когда невозможно по тем или иным причинам (недостаточность исходных данных, неравномерная изученность, технические сложности в реализации, дефицит материальных ресурсов и времени) создать детальную модель всего исследуемого региона. В практике гидрогеологических исследований наибольшее распространение получили системы, содержащие в качестве элементов региональную модель и одну или несколько локальных моделей (моделей-врезок). Региональная модель используется для учета тех или иных региональных факторов, локальная – разрабатывается для наиболее важного участка исследуемой территории. Связь моделей осуществляется, как правило, путем задания соответствующих условий по границам локальной модели. Таким способом, опосредованно учитывается влияние различных факторов вне рамок локальной модели, оказывающих существенное влияние на имитируемый процесс. Следует подчеркнуть, что на базе одной региональной модели может быть создано несколько локальных моделей. Моделируемые области могут не пересекаться, иметь общие границы или зоны, а также быть вложены друг в друга.

По времени существования модели можно разделить на разовые и постоянно действующие. Разовые модели создаются для решения какой-либо конкретной задачи и предназначены для единичного, разового использования. На ранних этапах развития гидрогеологического моделирования использовался только этот тип моделей. Говоря с некоторой долей условности, процесс создания любой модели (системы моделей) можно свести к процессу создания разовой модели (серии разовых моделей), с последующей корректировкой в соответствии с поставленными целями и, как следствие, выбранным типом модели (системы моделей).

К постоянно действующим моделям относят модели, которые ориентированы на долговременное использование. Продолжительность периода эксплуатации таких моделей практически не ограничена, поскольку при моральном износе отдельных элементов возможно их обновление без нарушения жизнеспособности модели в целом. Для эффективной эксплуатации модели необходимо организовать регулярный сбор, обработку и хранение оперативной информации о состоянии исследуемого объекта, протекающих на нем процессах, а также процессах взаимодействия его с окружающей средой – объектами техносфера, поверхностными водными объектами, атмосферой и т.д. Создание таких моделей является особенно актуальным для гидрогеологических объектов, подверженных интенсивному антропогенному воздействию, для оперативного прогнозирования последствий планируемых инженерных мероприятий. Возможность модификации таких моделей позволяет их использовать при проведении комплексного экологического мониторинга территории.

Методика и технология моделирования зависят, в основном, от целей проведения гидрогеологических исследований, типа модели и выбранных для ее реализации программных средств.

Геоинформационно-математические модели целесообразно использовать для задач, требующих, наряду с проведением расчетов, выполнения анализа пространственно распределенных данных. К их числу принадлежат разнообразные задачи районирования, широкий спектр задач оптимального управления, задачи техногенного загрязнения подземных вод и др.

Процесс создания геоинформационно-математической модели включает в себя разработку геоинформационной оболочки математической модели, формирование математической модели и ее калибровку, решение на математической модели прогнозных задач, конвертацию результатов расчетов в геоинформационную модель и анализ полученных результатов на основе информации, представленной в ГИС. В качестве программного обеспечения для создания геоинформационной модели мы в настоящее время используем MapInfo и ArcGIS, математической модели – GMS.

Пространственно распределенные данные накапливаются с помощью геоинформационной системы и входят в качестве объектов в графическую базу данных. Со всеми графическими объектами связывается атрибутивная информация. Связь графических объектов с записями семантической базы данных осуществляется по полю-идентификатору (рис. 1). Накопленная информация используется для построения в географической системе координат различных карт и разрезов в определенном масштабе. На основе созданной геоинформационной модели выполняется схематизация гидрогеологических условий, построение карт гидрогеологических параметров, создание таблиц обсервационных скважин для контроля над решением эпигнозных задач на математической модели.

Сформированные карты преобразуются в покрытия математической модели, создаваемой в системе моделирования GMS. В соответствии с выбранной схематизацией задаются условия по границам модели, начальные условия, стрессовые периоды, а также графики изменения уровней подземных вод и концентраций растворенных веществ в обсервационных скважинах. Для доказательства адекватности модели существующим природным условиям выполняется ее калибровка. В процессе ее проведения решаются обратные гидродинамическая и геомиграционная задачи. Точность проведения калибровки задается заранее и в значительной мере зависит от количества и качества исходных данных.

Исходя из целей исследований, выполняется математическая постановка и решение прогнозных задач. В качестве результатов расчетов выступают значения уровней и глубин залегания подземных вод, балансовых составляющих потока подземных вод, концентраций растворенных загрязняющих веществ, количество попавших в подземные воды загрязняющих веществ, количество сорбированного вещества.

Полученные результаты решения прогнозных задач конвертируются в ГИС и оформляются в требуемой форме. Для их анализа привлекаются все данные, составляющие геоинформационную модель, включая те, которые были только косвенно учтены или не были использованы вовсе в процессе создания математической модели. Такая процедура легко выполнима, поскольку все

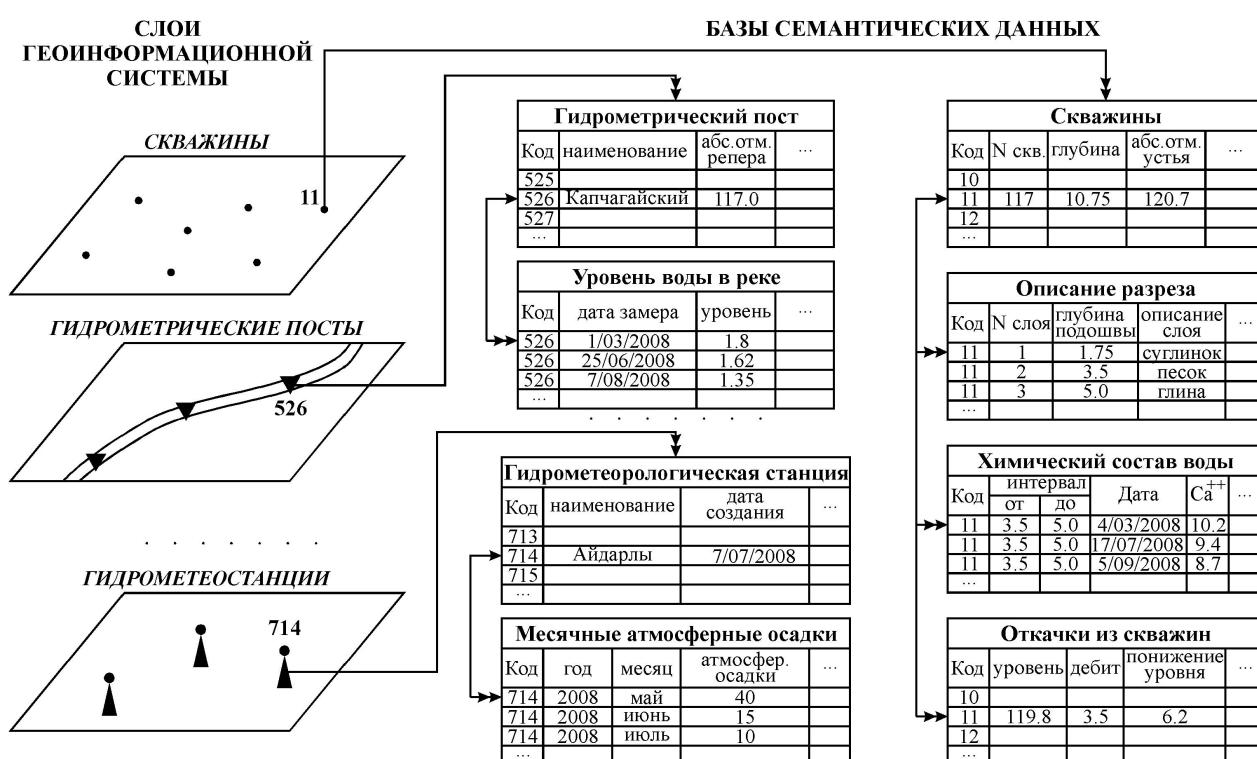


Рис. 1. Фрагмент логической структуры пространственно распределенных данных модели гидрогеологического объекта

данные введены на единой картографической основе и с ними связана атрибутивная информация. Кроме того, существует возможность связать графические объекты с записями семантической базы данных. Использование языка запросов SQL позволяет создавать отчеты любой степени сложности, включающие, наряду с картографическими данными, также таблицы, графики, диаграммы, текстовые описания и т.п.

Следует отметить, что отличительной особенностью геоинформационно-математических моделей является равноправное существование обеих составляющих – ГИС и математической модели. Каждая из них обладает определенными свойствами и может существовать обособленно. Но они приобретают новые качества в рамках единой геоинформационно-математической модели.

Системы взаимосвязанных разномасштабных моделей часто используются для имитации техногенного воздействия на гидрогеологический объект, например, для решения задач переноса загрязняющих веществ потоком подземных вод, проектирования водозаборов и дре-

нажных систем и т.п. Они создаются в тех случаях, когда цель, которую необходимо достичь в процессе исследования гидрогеологического объекта, может быть разбита на ряд подцелей, каждая из которых реализуется в рамках отдельной модели (региональной или локальной). Необходимо отметить, что все модели, входящие в систему, определенным образом упорядочены и взаимосвязаны, изменение одной модели неизбежно вызывает изменение других моделей.

В общем случае система взаимосвязанных разномасштабных моделей состоит из одной региональной и нескольких локальных моделей. Методика создания таких систем имеет ряд специфических особенностей. Обычно она включает следующие основные этапы: создание региональной модели, создание локальной модели, калибровка системы, решение на системе моделей серии прогнозных задач. В зависимости от целей исследования модели, входящие в систему, предназначены для решения определенного вида задач. Обычно региональная модель реализуется как гидродинамическая, а локальная –

как геомиграционная. Связь моделей осуществляется через задание условий по внешним границам локальной модели.

На региональной модели должны учитываться основные региональные факторы, которые могут оказать влияние на имитируемый процесс. Как правило, в плане она охватывает большую территорию и имеет меньший масштаб, чем локальная модель. При создании региональной модели используется более грубая схематизация гидрологических условий в плане и разрезе, а также больший шаг сеточной аппроксимации моделируемой области. Кроме того, модель воспроизводимого процесса может быть более простой. Региональная модель создается средствами системы моделирования GMS. Исходная информация берется из баз семантических и графических данных, поддерживаемых ГИС MapInfo и ArcInfo.

Локальная модель формируется для сравнительно небольшой территории и имеет значительно более детальную пространственную аппроксимацию. Детализация модели реализуется также путем уточнения карт специальных гидрологических параметров на основе дополнительных сведений об объекте. Условия по внешним границам задаются исходя из решения, полученного на региональной модели. Для автоматизации этой достаточно трудоемкой процедуры нами разработаны соответствующие программные средства на языке MapBasic. Необходимо учитывать, что период моделирования на локальной модели должен совпадать с периодом региональной модели.

После создания системы моделей осуществляется их совместная калибровка, а затем выполняется постановка и решение прогнозных задач. Обычно результаты, полученные на региональной и локальной моделях, оформляются раздельно. Они могут представляться в различных формах – в виде карт в изолиниях (карты гидроизогипс, прогнозных понижений), карт в зонах (карты глубин залегания уровня грунтовых вод, водопроводимости), трехмерных поверхностей (поверхность грунтовых вод, изоповерхность концентрации загрязняющих веществ), мультфильмов (изменение во времени положения уровенной поверхности грунтовых вод, распространение ореола загрязнения подземных вод).

Постоянно действующие модели (системы моделей) создаются для объектов с интенсивно изменяющимися во времени гидрологическими условиями. К их числу принадлежат крупные массивы орошения, промышленные зоны, территории нефтедобычи и т.п. Характерной чертой таких гидрологических объектов является наличие труднопредсказуемого внешнего воздействия. Поэтому серьезной проблемой является выбор области моделирования. Она должна быть достаточно большой, чтобы в нее попали все объекты, оказывающие существенное влияние на моделируемый процесс. С другой стороны, чрезмерное увеличение площади может привести к значительному усложнению модели.

Коренное отличие методики создания постоянно действующей модели от разовой заключается в необходимости организации регулярного сбора, накопления и обработки оперативных сведений об исследуемом объекте и протекающих на нем процессах. Для этого создается информационная система, включающая, наряду с базами графических и семантических данных, также неструктурированные данные. База графических данных реализуется как геоинформационная система с использованием, например, MapInfo и Arc Info. База семантических данных создается с помощью СУБД FoxPro и Access, часть данных может храниться в виде электронных таблиц. Неструктурированные данные могут быть представлены как текстовые описания, графики, диаграммы, рисунки, схемы и т.п. Ко всем сведениям, хранящимся в информационной системе, должен быть обеспечен свободный доступ.

Особое место в автоматизированной системе, создаваемой для обеспечения информационного наполнения постоянно действующих моделей, в настоящее время занимают методы дистанционного зондирования. С их помощью можно определять участки питания и разгрузки грунтовых вод, уточнять местоположение техногенных объектов, оказывающих воздействие на состояние подземных вод, оценивать степень засоленности почв в районах орошаемых массивов, отслеживать динамику изменения площадей засоленных грунтов и т.п. Для этого необходимы космоснимки различных масштабов, сделанные на разные моменты времени. Для обработки космоснимков можно использовать программы ERDAS IMAGINE, ER Mapper, ArcGIS и др.

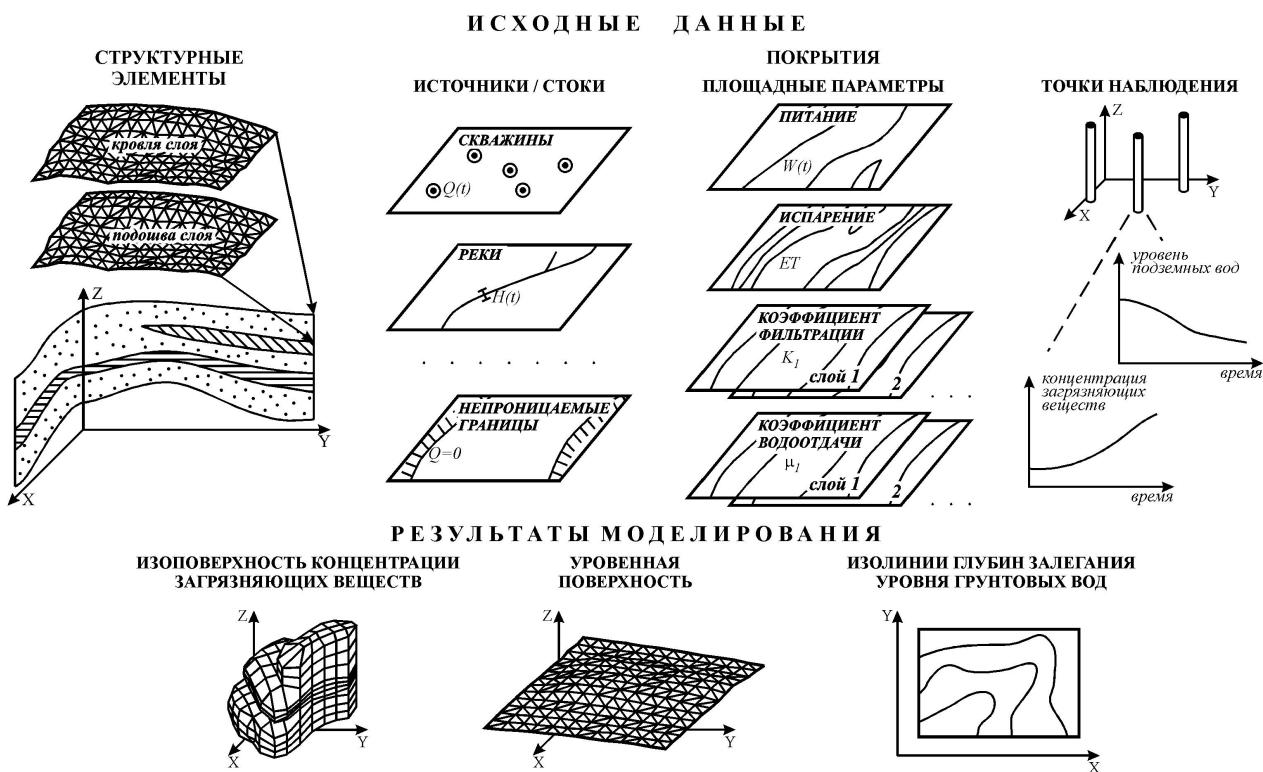


Рис.2. Основные элементы информационной базы математической модели, созданной в системе моделирования GMS

На основании собранных сведений формируется математическая модель с использованием системы моделирования GMS (рис. 2). По мере поступления новых данных она должна уточняться путем решения серии обратных задач, прогнозы должны периодически повторяться.

Технология создания постоянно действующих моделей предъявляет повышенные требования к автоматизации процедуры ввода оперативных данных и их первичной обработки, редактирования и калибровки модели. Специально разработанные программные средства служат для обмена сведениями между базами данных и системой математического моделирования, для автоматического построения литологической структуры модели по данным гидрогеологических разрезов, создания покрытий обсервационных скважин и т.п. Необходимо подчеркнуть, что именно при создании постоянно действующих моделей особое значение приобретает эффективная технология моделирования.

Следует отметить, что в качестве постоянно действующей модели может выступать система взаимосвязанных моделей. Ее эксплуатация

заключается в периодическом обновлении всех входящих в нее элементов. Безусловно, создание и постоянное ведение системы моделей требует больших затрат времени и ресурсов, чем это необходимо для создания разовой модели. Но с увеличением сроков эксплуатации экономическая эффективность возрастает, стоимость решения прогнозных задач снижается, увеличивается точность получаемых результатов.

Таким образом, современные тенденции развития гидрогеологического моделирования заключаются в следующем:

- В гидрогеологических исследованиях все шире применяются комплексные модели.
- Наряду с разовыми создаются и эксплуатируются постоянно действующие модели.
- В процессе создания комплексных моделей применяются геоинформационные системы, базы данных, системы глобального позиционирования, системы обработки данных дистанционного зондирования, системы математического моделирования.

– Для эффективного применения методов математического моделирования в гидрогеоло-

гических исследованиях специалист – моделировщик должен детально представлять себе моделируемый объект, цели и задачи исследований, хорошо знать особенности применения основных типов моделей, знать возможности современных инструментальных средств и в совершенстве владеть технологией их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов В.В., Паничкин В.Ю. Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. Алматы, ТОО «Комплекс», 2004. 428 с.
2. Веселов В.В., Спивак Л.Ф. Основы структурного моделирования гидрогоесистем. – Алматы: Гылым, 1997. – 216с.
3. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Автоматизированная технология моделирования геомиграционных процессов на системе разномасштабных моделей. VII Международный конгресс «Вода: Экология и технология» ЭКВА-ТЭК-2006. Москва, 30 мая – 2 июня 2006 г. [Текст]: тез.-докл.
4. Паничкин В.Ю., Мирошниченко О.Л. Методика структурного моделирования процессов загрязнения подземных вод в Казахстане //Гезисы докладов Международного симпозиума «Будущее гидрогоологии: современные тенденции и перспективы.23-28 апреля 2007 г.»- Санкт-Петербург, Россия, 2007. – С.111-113.
5. Веселов В.В., Мирлас В.М., Паничкин В.Ю. ГеоэкоИнформатика. Системно-информационный подход к задачам моделирования гидрогеологических объектов. – Алма-Ата: Гылым, 1991. – 176с.
6. Першиков В.И., Савинков В.М. Толковый словарь по информатике. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 543с.