

УДК 501.76, 556.3

В. Ю. ПАНИЧКИН¹, О. Л. МИРОШНИЧЕНКО²

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

РК БҒМ-нің Гидрогеология және гидрофизика институтінде жасалған автоматтандырылған тәсіл және гидрогеологиялық нысандардың математикалық нұсқаларын жабалауы қаралады.

Рассматривается разработанная в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК автоматизированная технология проектирования математических моделей гидрогеологических объектов.

Automated technology of the designing of the mathematical models of hydrogeological objects developed at the Institute of Hydrogeology and Hydrophysics of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan has been discussed.

В связи с интенсивным развитием в настоящее время информационных технологий математическое моделирование гидрогеологических объектов переходит на качественно иной, более высокий уровень. Появление новых программных средств, представление большей части исходных данных на машинных носителях создают предпосылки для автоматизации всего процесса моделирования – от создания модели до оформления и анализа результатов. Совершенствование программ происходит настолько стремительно, что часто возникают проблемы, связанные с их эффективным применением. Во многом эта ситуация объясняется практически полным отсутствием публикаций по технологии моделирования с применением современных программных средств. Наша статья в какой-то мере восполняет этот пробел.

В настоящее время наиболее распространенными в Казахстане и за рубежом являются система моделирования GMS и другие программы, сходные с ней по принципам организации – Visual Modflow, Visual Modflow Pro, Feflow, Modflow – Surfcast и т.п., позволяющие создавать **трехмерные модели** геофильтрации [1]. Разработанная нами методика моделирования ориентируется именно на этот класс программ. Наш опыт позволяет сделать вывод, что технология моделирования существенно зависит не только от выб-

ранного типа программных средств, но и от принципов схематизации гидрогеологических условий. Схематизация является важнейшим этапом моделирования. Это наиболее трудоемкая и наименее автоматизированная процедура, в проведении которой ведущую роль играет эксперт-моделировщик. Схематизация зависит в основном от целей моделирования и гидрогеологических условий. Она включает в себя схематизацию процесса геофильтрации (ПГФ) и области геофильтрации (ОГФ). Модели области геофильтрации отображают изменение в пространстве и времени свойства гидрогеологического объекта, а модели процессов – законы, которыми они описываются [2].

Процессы геофильтрации имитируются с помощью специальных программных средств. Программы решают численным методом дифференциальные уравнения, которыми имитируются моделируемые процессы. В результате схематизации процесса геофильтрации принимается решение о выборе или разработке соответствующей программы.

В статье мы коснемся только некоторых особенностей схематизации и проектирования моделей ОГФ. В общем случае схематизация ОГФ включает в себя выделение гидрогеологических тел (слоев) [3], описание их свойств, а также задание сеточной аппроксимации моделируемой области.

¹⁻² Казахстан, 480100, г. Алматы, ул. Ч. Валиханова, 94, Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У. М. Ахмедсафина.

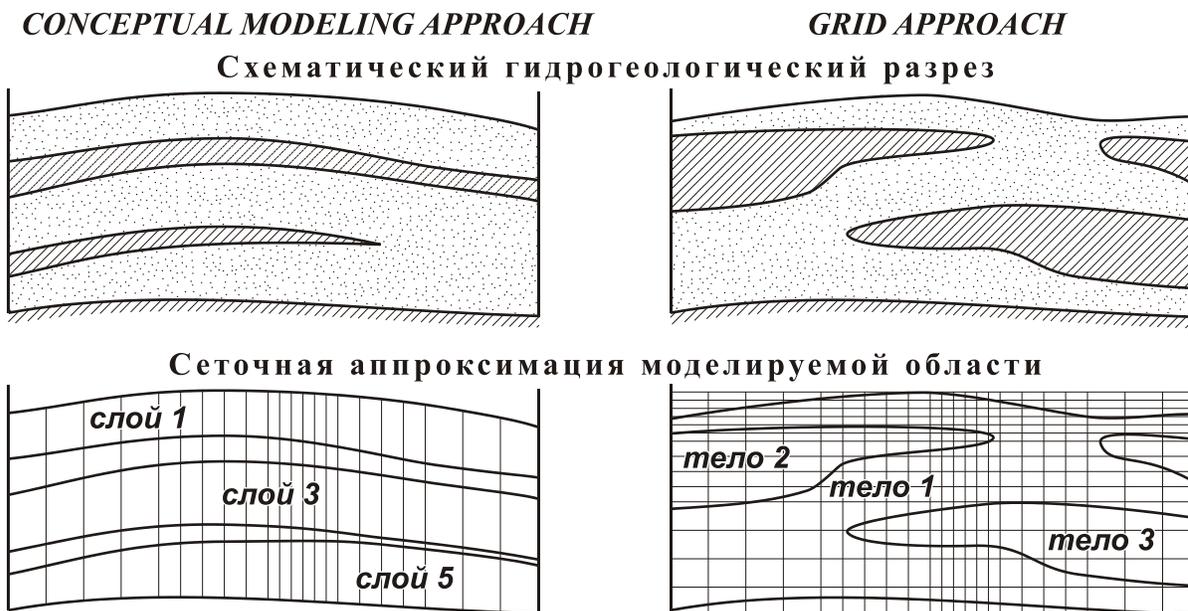


Рис. 1. Виды сеточной аппроксимации моделируемой области

По взаимному расположению сетки и границ гидрогеологических тел в разрезе возможны два случая. Первый – границы гидрогеологических тел совпадают с сеткой. Второй – не совпадают (рис. 1).

Оба подхода имеют ряд особенностей и ограничений применения. Методика и технология моделирования также существенно отличаются.

Если предполагается, что сетка модели в разрезе будет совпадать с границами гидрогеологических тел (слоев), выбирается подход, который в терминах разработчиков системы GMS называется концептуальным моделированием – *conceptual modeling approach* [1]. Концептуальная модель отображает местоположение в пространстве и конфигурацию кровли и подошвы выделенных слоев, а также изменение в пространстве и времени значений параметров для каждого слоя. Концептуальная модель создается *независимо от сетки, которой аппроксимируется область геофильтрации*. Считается, что свойства слоя (фильтрационные, емкостные и т.п.) не изменяются с глубиной, т.е. слой в разрезе имеет однородное строение. Изменение свойств слоя в плане учитывается путем выделения зон, с которыми связываются наборы соответствующих гидрогеологических параметров. Эти параметры можно разделить на две группы. Параметры первой описывают свойства моделируемого объекта, во вторую входят параметры, отображающие процессы взаимодействия с

окружающей средой. По устойчивости во времени параметры могут быть статическими и динамическими. При описании моделей значения параметров могут быть заданы для точки, линии и региона. При подготовке исходных данных вручную для концептуальной модели обычно строятся карты абсолютных отметок подошвы слоя, послонные карты изменений значений статических параметров (фильтрационных, емкостных и т.п.), а также комплекты карт, отражающие изменение динамических параметров на различные моменты времени (абсолютные отметки уровней, концентрации растворенных в воде компонентов и т.п.). Эти карты дополняются табличными документами, в которых описывается вариация значений параметров во времени для отдельных точечных, линейных и площадных объектов – уровенный режим подземных вод по скважинам, изменение производительности водозаборных сооружений, уровня воды в поверхностных водных объектах, величины инфильтрационного питания подземных вод и т.п.

Если предполагается, что сетка модели в разрезе не будет совпадать с границами гидрогеологических тел (см. рис. 1), используется подход, который в терминах разработчиков системы GMS называется *grid approach*. В соответствии с ним сначала создается сеточная аппроксимация моделируемой области, а затем в каждый узел (блок) заносятся значения гидрогеологических параметров. Область геофильтрации

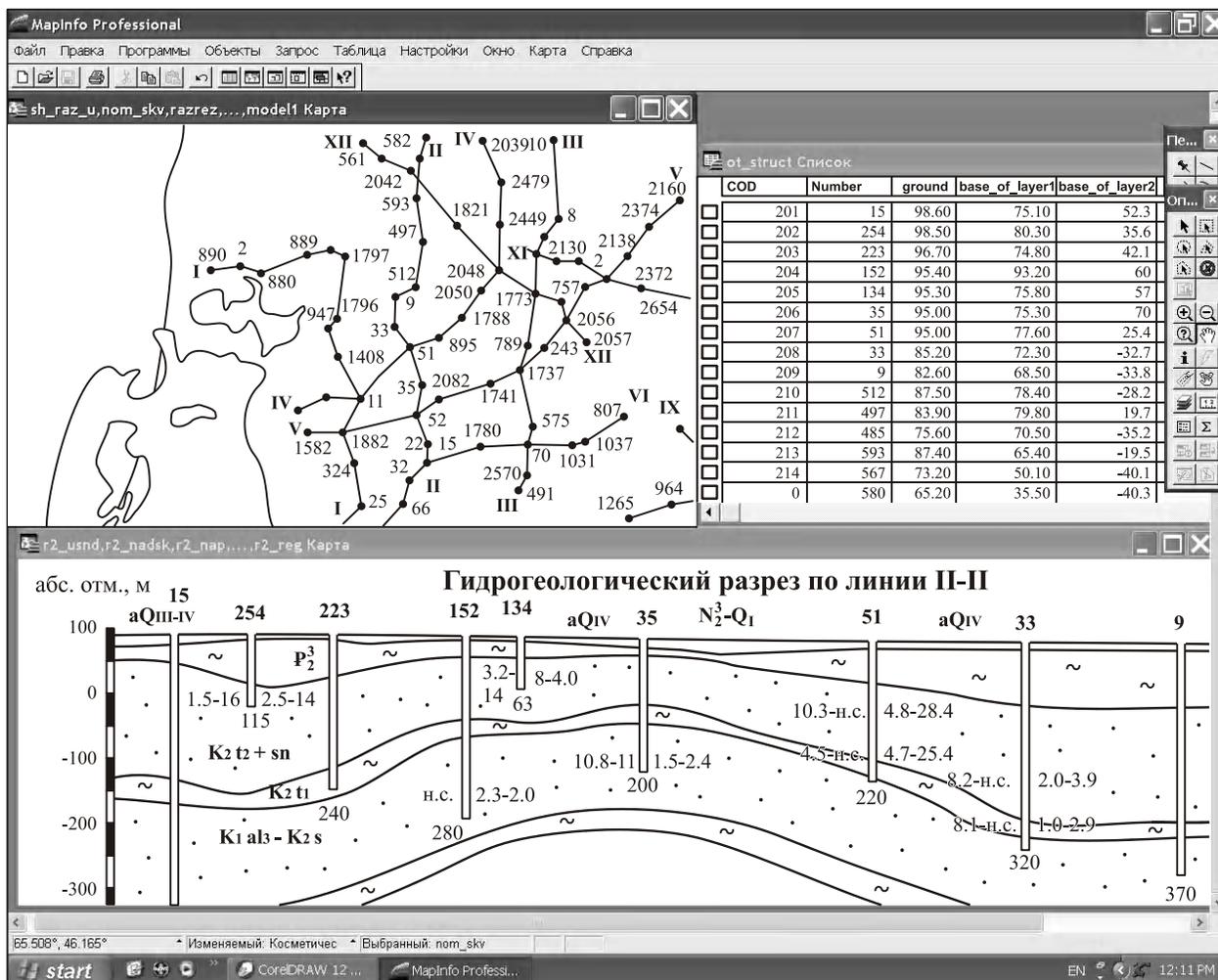


Рис. 2. Вид экрана при работе с MapInfo 6.0. Задание абсолютных отметок кровли и подошвы выделенных на модели слоев

схематизируется в виде набора гидрогеологических тел. Считается, что тело заполнено однородным материалом, т.е. значения параметров, характеризующие свойства водовмещающих пород, в пределах тела не изменяются. Следовательно, если при моделировании необходимо учесть неоднородность свойств гидрогеологического тела в плане или в разрезе при схематизации, оно должно быть представлено в виде нескольких тел, каждое из которых имеет однородные свойства. При подготовке исходных данных вручную, как правило, строится система пересекающихся гидрогеологических разрезов, на которых показываются границы гидрогеологических тел, выделенные по фактическим данным, и результаты их схематизации на модели.

Подготовка исходных данных, необходимых для создания моделей гидрогеологических

объектов и их идентификации, является достаточно трудоемкой процедурой. В настоящее время система моделирования GMS имеет лишь минимальный набор средств *концептуального моделирования* и создания трехмерных моделей гидрогеологических тел в случае использования подхода *grid approach*. В Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК разработаны автоматизированная методика и технология создания гидрогеологических моделей с использованием геоинформационной системы MapInfo и системы управления базами данных FOXPRO.

Геоинформационные системы и базы данных применяются для автоматизированного построения и хранения числовых моделей карт гидрогеологических параметров, а также гидрогеологических разрезов, для визуализации и анализа исходной информации в процессе схематизации

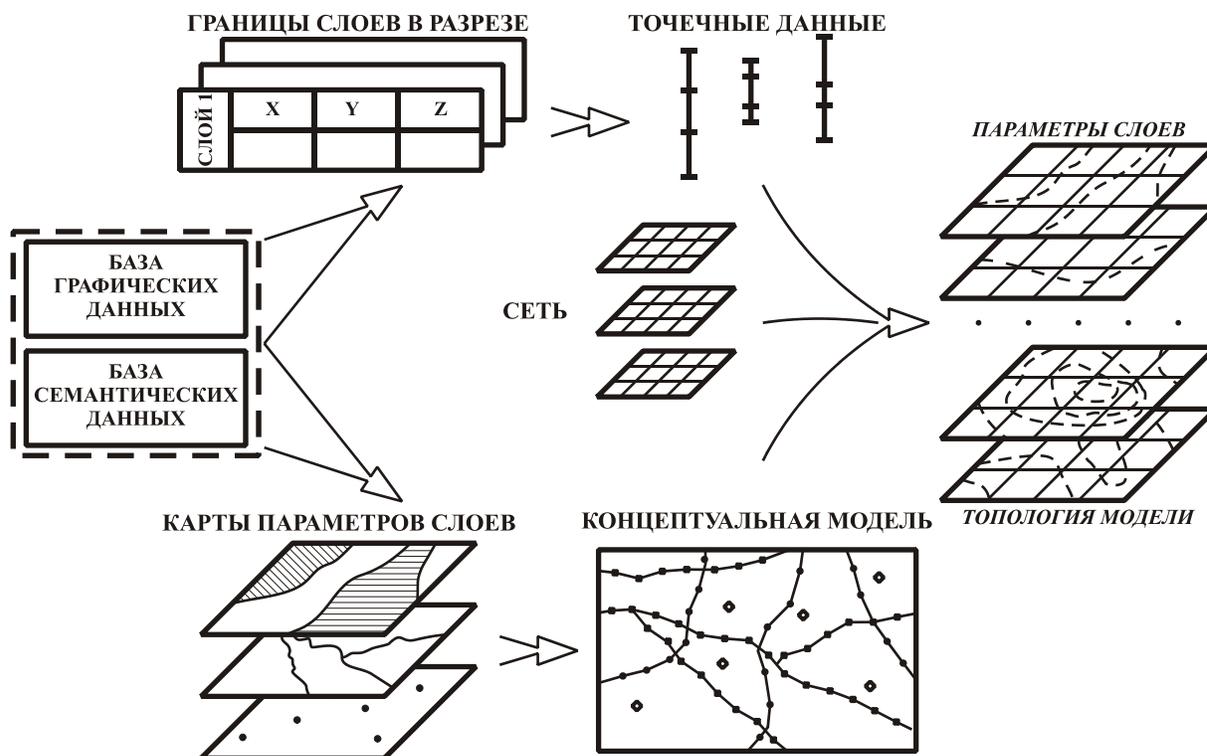


Рис. 3. Использование подхода *conceptual modeling approach* в процессе создания математической модели гидрогеологического объекта

области геофильтрации, хранения и визуализации результатов схематизации. Для преобразования результатов схематизации в форматы, используемые системой моделирования GMS, разработаны специальные программные средства.

Схематизация ОГФ включает в себя выделение структурных элементов модели (гидрогеологических тел), описание их границ, а также задание их свойств (фильтрационных, емкостных и т.п.). Эта процедура осуществляется в диалоговом режиме средствами геоинформационной системы MapInfo. Границы гидрогеологических тел проводятся на изображениях гидрогеологических разрезов (рис. 2).

Результаты схематизации области геофильтрации в разрезе (абсолютные отметки кровли и подошвы выделенных гидрогеологических тел) записываются в базу семантических данных для каждой гидрогеологической скважины разреза. Иногда в случае неравномерного расположения скважин может потребоваться введение дополнительных точек, для которых с гидрогеологических разрезов считываются значения отметок кровли и подошвы структурных элементов модели области геофильтрации. После завершения

схематизации ОГФ с помощью специальных программных средств, разработанных на языке MapBasic, осуществляются выбор сведений о топологии структурных элементов модели из базы семантических данных и преобразование их в так называемые наборы точечных данных (Tabular Scatter Point), которые используются системой моделирования GMS. Карты параметров, построенные с помощью MapInfo, преобразуются в .shp формат (shape file format), а затем считываются GMS. На основе наборов точечных данных и данных, представленных в формате .shp, средствами системы GMS формируется концептуальная модель гидрогеологического объекта. В диалоговом режиме задаются параметры сети, аппроксимирующей моделируемую область, после чего концептуальная модель автоматически отображается на созданную сеть. Технология, реализующая подход концептуального моделирования, отображена на рис. 3.

Если выбран подход *grid approach*, предполагается, что сетка модели в разрезе не будет совпадать с границами гидрогеологических тел. Как и при концептуальном моделировании, средствами MapInfo в диалоговом режиме на изоб-

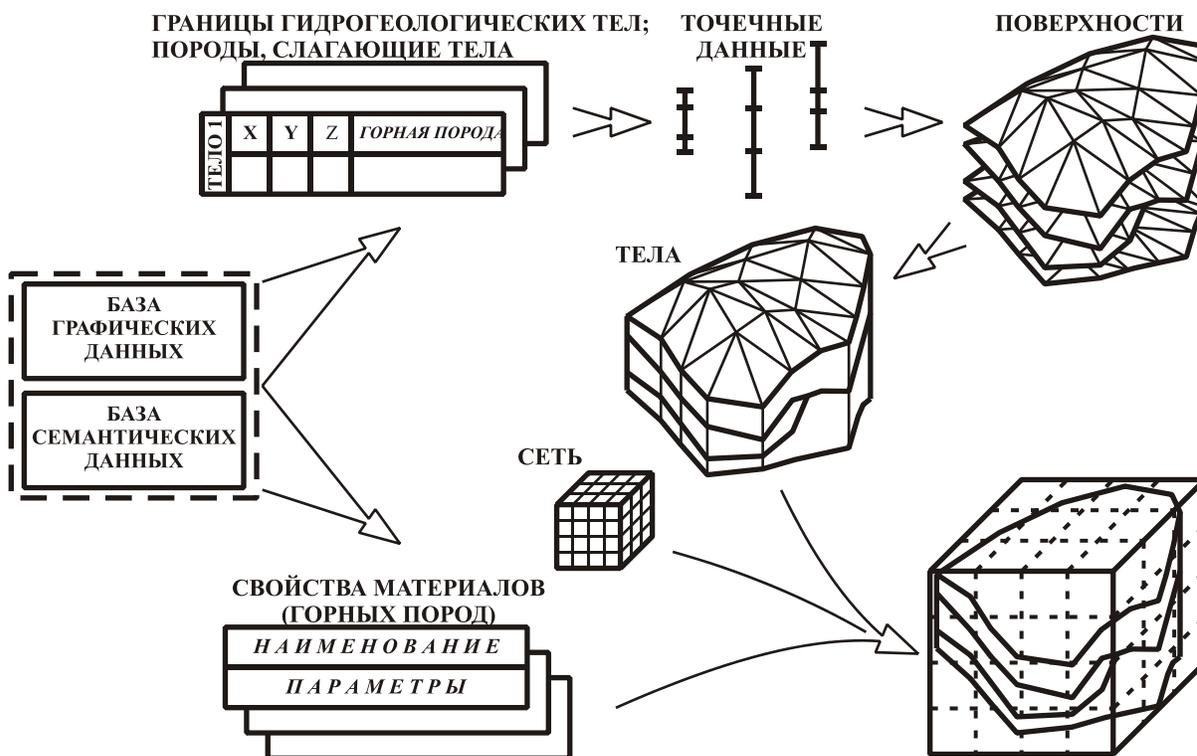


Рис. 4. Использование подхода *grid approach* в процессе создания математической модели гидрогеологического объекта

ражениях гидрогеологических разрезов проводятся границы структурных элементов модели. Результаты схематизации области геофильтрации в разрезе записываются в базу семантических данных для каждой гидрогеологической скважины разреза. С помощью специальных программных средств осуществляются выбор сведений о топологии структурных элементов модели из базы семантических данных и преобразование их в наборы точечных данных (Tabular Scatter Point), которые в этом случае используются системой моделирования GMS для построения трехмерных поверхностей (TIN), ограничивающих гидрогеологические тела. В состав системы моделирования GMS входят также инструментальные средства, позволяющие из этих поверхностей строить трехмерные тела. Над телами можно производить некоторые простейшие действия (объединение, пересечение, вычитание и т.п.). Для каждого тела задается набор соответствующих параметров (коэффициенты фильтрации, упругой водоотдачи, гравитационной водоотдачи и т.п.). Создается трехмерная прямоугольная в плане и разрезе сеть (grid), которой аппроксимируется моделируемая область. Сфор-

мированные тела отображаются на сеть. Технология, реализующая подход *grid approach*, отображена на рис. 4.

Выбор того или иного подхода зависит от особенностей моделируемого объекта и требований решаемых на модели задач. Чаще используется подход концептуального моделирования. Его применяют, когда моделируемая область может быть схематизирована в виде более или менее выдержанных по простиранию слоев. Каждый слой в разрезе аппроксимируется одним блоком. Поэтому, если необходимо на модели проследить распространение загрязняющих компонентов внутри слоя в вертикальном направлении, более эффективным представляется другой подход, допускающий аппроксимацию гидрогеологических тел в разрезе несколькими блоками. При использовании этого подхода гидрогеологические тела могут не иметь повсеместного распространения в пределах моделируемой области.

Разработанные в Институте гидрогеологии и гидрофизики МОН РК методика, технология и инструментальные средства были успешно апробированы в рамках международных проектов

при моделировании распространения ореола ртутного загрязнения подземных вод Павлодарского промрайона (ICA2-CT-2000-10029 Development of cost-effective methods for minimizing risk from heavy metal pollution in industrial cities: A case study of mercury pollution in Pavlodar, 2001-2003), при моделировании гидрогеолого-мелиоративных условий Акдалинского массива орошения (TA-MOU-01-CA20-021 Sustainable development and protection of water resources in the irrigated land of the Ily river delta, Kazakhstan, 2002-2005), а также при прогнозировании методами моделирования распространения ореола

ртутного загрязнения подземных вод на территории г. Киева (2005). Результаты апробации подтвердили высокую эффективность выполненных разработок, а также перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Groundwater modeling system. Version 3.1. Tutorial manual. Environmental Modeling Research Laboratory of Brigham Young University. USA, 2000.
2. *Веселов В.В., Паничкин В.Ю.* Геоинформационно-математическое моделирование гидрогеологических условий Восточного Приаралья. Алматы: ТОО «Комплекс», 2004. 428 с.
3. *Гавич И.К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358с.