

УДК 556.013

Օ. Ա. ՏԱՐԳՏՅԱՆ, Ա. Օ. ԱԳԻՆՅԱՆ

### О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ГЕОФИЛЬТРАЦИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ШИРАКСКОЙ КОТЛОВИНЫ

В статье рассмотрены современные подходы к моделированию геофильтрации, а также приводится описание концептуальной трехмерной геофильтрационной модели Ширакской котловины. При построении модели использовались топографическая основа исследуемой территории масштаба 1:100000, гидрогеологическая карта того же масштаба, данные скважин, пробуренных за последние 60 лет. Особенностью построенной модели является ее гибкость к модификациям, позволяющая при получении новых данных исследуемого района за короткое время внести необходимые изменения.

**Введение.** Моделирование геофильтрации представляет собой отображение основных особенностей естественной гидрогеологической системы и основано на закономерностях гидрогеологии и математики.

Концептуальная (понятийная) модель представляет собой упрощенное описание главных особенностей физической системы и ее гидрогеологическую характеристику [1]. Модель должна быть достаточно детальной для решения поставленной задачи, но не настолько упрощенной, чтобы искусственно выдавать результаты в ограниченном интервале [2].

Математическая модель представляет собой систему уравнений, которая в зависимости от определенных предположений рассчитывает физические процессы в моделируемой водоносной системе [2].

Любая модель не может в точности отображать естественную систему подземных вод, но дает усредненную характеристику гидрогеологической среды. Она может быть представлена достаточно детально и являться инструментом прогноза количественных изменений гидрогеологической системы от внешних воздействий (стрессов): откачек, ирригации и др.

Модели могут быть использованы в различных целях: для лучшего понимания гидрогеологической системы (синтез данных), динамических расчетов водоносных систем (оценка поведения водоносного горизонта), оптимизации экономически целесообразных проектов и геоэкологических прогнозов, для оценки питания, движения и разгрузки подземных вод, предсказания изменений при различных сценариях воздействия, визуализации в

различных режимах (3-мерный, плоскостной, в виде разрезов и т.д). Подходы к моделированию должны быть выбраны в соответствии с имеющимися данными. Модель должна быть достаточно гибкой для ее изменения в более сложную по мере увеличения данных [2].

**Методика моделирования.** При построении концептуальной геофильтрационной модели существуют ограничения и неопределенности на всех стадиях моделирования. Сомнения возникают в достоверности гидрогеологической информации местности, при решении обратных задач, т.е при калибровке модели, и т.д. Существуют также ограничения в возможностях используемых компьютерных программ.

Моделирование геофильтрационной системы производится в 3 стадии: концептуализация, калибровка, прогноз. Во время первой стадии обозначаются задачи исследований, по имеющимся данным дается гидрогеологическая интерпретация местности, выбирается компьютерная программа моделирования (аналитическая, цифровая), подготавливается детальный план разработки модели (грид-сетка, слои, граничные условия, интервалы времени для неустановившегося движения, интервалы точности, требуемые ресурсы и т.д). Во время второй стадии строится модель по сетке, граничным условиям, производится калибровка по установлению параметров до такой степени, чтобы расчетные и полевые данные приблизились до допустимых пределов, производится проверка модели. Во время третьей стадии выверяется модель по программам анализа (sensitivity and uncertainty analyses) [2].

Большинство математических моделей используют аналитические (простые) и цифровые (сложные) программы для решения основных дифференциальных уравнений. Аналитические модели представляют собой уравнения для точного решения плоских задач потока с вводом широкого спектра упрощающих предположений, обычно принимающих водоносные горизонты однородными. Эти уравнения возможно решать вручную или с помощью простых компьютерных программ (напр. WinFlow, TwoDan), которые не учитывают изменения физической системы в пространстве и во времени.

В цифровых моделях непрерывные величины в основных дифференциальных уравнениях заменены конечными. Компьютер подсчитывает итоговые алгебраические уравнения с помощью матричной алгебры. Этим методом можно с большой точностью решать задачи со сложной геометрией, получать ответные гидродинамические эффекты в пространстве и времени. Для облегчения ввода данных, симуляции потока, вывода результатов многие компьютерные программы имеют графический интерфейс пользователя (GUI). Цифровая компьютерная программа моделирования подземных вод, которая получила мировое признание (public domain), разработана МакДональдом и Гарбухом и называется Modflow [3].

Калибровка представляет собой процесс, где независимые переменные в модели рассчитываются в реалистичных пределах для того, чтобы симулированные и полевые данные наилучшим образом приблизились друг к другу. Другими словами, методы калибровки решают обратную задачу, меняя неизвестные величины (параметры и потоки) до тех пор, пока решение совпадет с известным параметром (напоры, уровни, расходы). Калибровка

необходима, но недостаточна, потому что полученные результаты имеют степень достоверности прогноза модели.

Успех калибровки модели должен быть оценен по количественным (статистические) и качественным показателям для выявления степени соответствия между результатами симуляции и полевыми данными.

Количественная оценка обычно включает математические и графические сравнения между измеренными и симулированными уровнями водоносных горизонтов и расчет статистики относительно остатков (разность между измеренным и расчетным уровнями). Количественные меры могут также включать сравнение симулированных и измеренных компонентов водного баланса, особенно таких, как поверхностные потоки, откачка и эвапотранспирация. Качественная оценка калибровки включает сравнение различных данных о подземных водах, основанных на картах гидроизогипс и гидроизопьез.

Настройка математической модели включает распределение параметров водоносного горизонта: коэффициента фильтрации, удельной водоотдачи и коэффициента перетекания [4]. В процессе калибровки значения вышеотмеченных параметров последовательно изменяются до тех пор, пока параметры полевых наблюдений и расчетные параметры достигнут разумного соответствия. Обычно границы зоны питания также неточны и устанавливаются во время калибровки.

В настоящее время практикуется автоматическая калибровка (в отличие от метода проб и ошибок) благодаря программе обратной оценки (напр. PEST) с удобным графическим интерфейсом.

Проблема неоднородности заключается в том, что часто различные параметры ввода модели могут дать одинаковые выводы результатов. Другими словами, возможны различные калибровки одной и той же системы при использовании различных комбинаций граничных условий и параметров водоносных горизонтов, потому что точные решения невозможно рассчитать, когда в калибровке участвуют множество переменных. Приемлемость калибровки может быть оценена по тому, соответствуют ли параметры расчета определенным установленным нормам.

Цифровые модели обычно используют итерации для решения уравнения движения подземных вод, в котором приводится термин остаточной ошибки итерации. Эта ошибка обычно вычисляется как максимальное изменение уровня в модели в любом узле между последовательными итерациями модели. Существуют предписания, которые дают исполнителю возможность создать обоснованную, устойчивую, тщательно разработанную модель, основанную на концептуальной модели и проведении калибровки.

**Результаты и обсуждение.** Ширакская котловина занимает бассейн среднего течения р. Ахурян с абс. отметками 1500–1600 м. С севера и востока она ограничена складчато-глыбовыми хребтами, с юга – вулканическим массивом г. Шарайлер, а с запада – р. Ахурян (рис. 1).

Основным речным бассейном является р. Ахурян с ее левобережным притоком р. Джаджур. Непосредственно в г. Гюмри за счет разгрузки грунтовых и напорных вод формируются ручейки Гюмри, Кехтотджур и Черкезидзор [5].

В геологическом разрезе принимают участие нижнечетвертичные мощные озерные отложения, которые покрыты маломощными (3–8 м) средне-четвертичными туфами и верхнечетвертично-современными аллювиально-пролювиальными и делювиальными образованиями мощностью до 30 м (рис. 1). Озерные отложения представлены чередующимися глинистыми и песчанистыми слоями. В южной части котловины широкое распространение имеют андезитобазальты и базальты, которые к северу, в языковой части, чередуются с озерными глинами (рис. 1, скв. № 133).

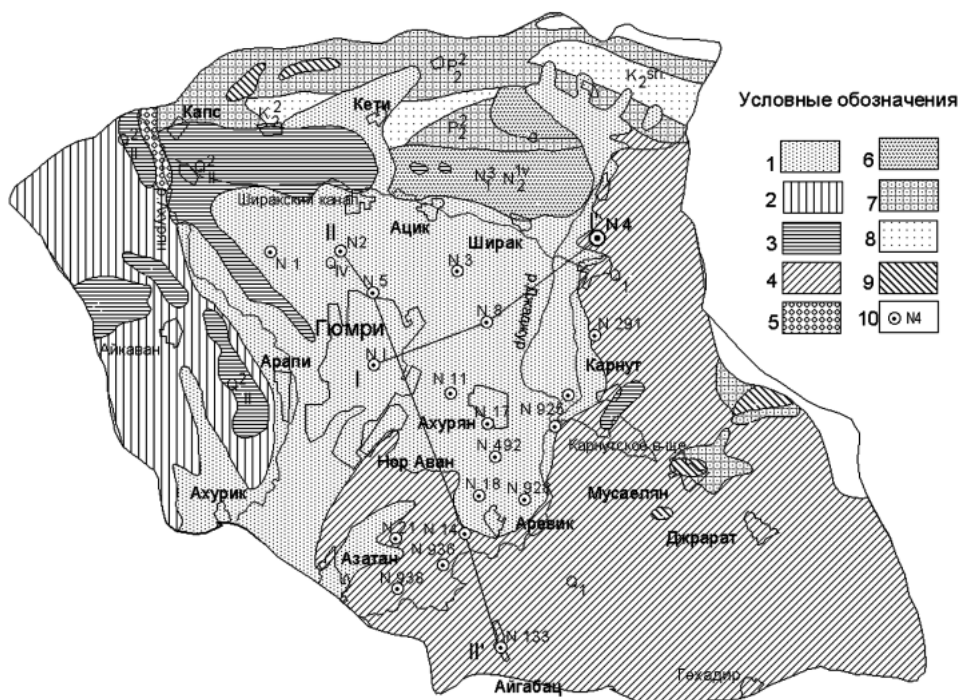


Рис. 1. Геологическая карта исследуемого района.

1 – Современные аллювиально-пролювиальные, элювиально-делювиальные отложения гравий, галька, песок, обломки пород, глины. 2 – Нижнечетвертичные аллювиально-пролювиальные озерные отложения: глины, песок, песчаники. 3 – Четвертичные туфы, туфолавы. 4 – Верхнеплиоценовые андезиты, андезитодациты, местами гравийные отложения. 5 – Верхнеплиоценовые долеритовые андезитобазальты, их брекчии, туфы, пемзы (Канакерская свита). 6 – Верхнемиоценово-нижнеплиоценовые вулканогенно-осадочные породы андезитовые, андезитодацитовые туфобрекчии, туфоконгломераты и туфы с межформационными лавовыми потоками (Вохчабердская свита). 7 – Среднеоценовые фельзитовые туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты и туфы (Ширакская свита). 8 – Меловые мраморизованные известняки, песчаники с глинистыми прослоями. 9 – Верхнеолигоценно-нижнемиоценовые порфиридные гранодиориты, граносиениты и кварцевые диориты. 10 – Скважины и их номер.

В различных интервалах геологического разреза выявлены горизонт грунтовых и два горизонта напорных вод. Горизонт грунтовых вод залегает на глубине 4–50 м и представлен песчано-гравелистыми отложениями и трещиноватыми базальтами общей мощностью 10–15 м. Горизонты напорных вод в озерной толще залегают на глубинах 40–80 и 120–130 м с суммарной мощностью соответственно 10–13 и 2–5 м. Водовмещающие породы представ-

лены песчаными и песчано-гравелистыми отложениями, которые чередуются с мощными глинистыми слоями.

Таблица 1

Геологический разрез по линии I-I' (скважины I-8-4)

№ скважины	Нас. пункт	Глубина залегания, м	Мощность слоя, м	Описание пород	Уровень воды, м
I	в центре г. Гюмри, 1546,0 м	0–7,4	7,4	глина с обломками изверженных пород	6,6–6,8
		7,4–12,4	5	туф черный и желтый	
		12,4–14,34	1,94	глина	
		14,34–37,1	22,76	песок (I напорный горизонт)	
		37,1–122,8	85,75	глина	
		122,8–125,5	2,65	песок (II напорный горизонт)	
		125,5–238	112,5	глина	
		238–239	1	рыхлые песчаники	
	>239		глина		
8	3 км к северу от с. Ахурян, 1568,7 м	0–0,4	0,4	глина	
		0,4–23,2	22,8	галька, песок (надтуфовый горизонт)	7,9
		23,2–27,8	4,6	туф	
		27,8–74,5	46,7	глина	
		74,5–85,6	11,1	галька, гравий	
		85,6–100	14,4	глина	
4	0,7 км к Ю-ЮЗ от с. Камо, 1603,0 м	0,0–14,8	14,8	валунно-галечные отложения	
		14,8–62	47,2	глина песчанистая	
		62–77,1	15,1	глина озерная	
		77,1–84,5	7,4	галька, гравий с м/з песком	29,1
		84,5–89,2	4,7	глина озерная	
		89,2–93	3,8	андезиты плотные, массивные	

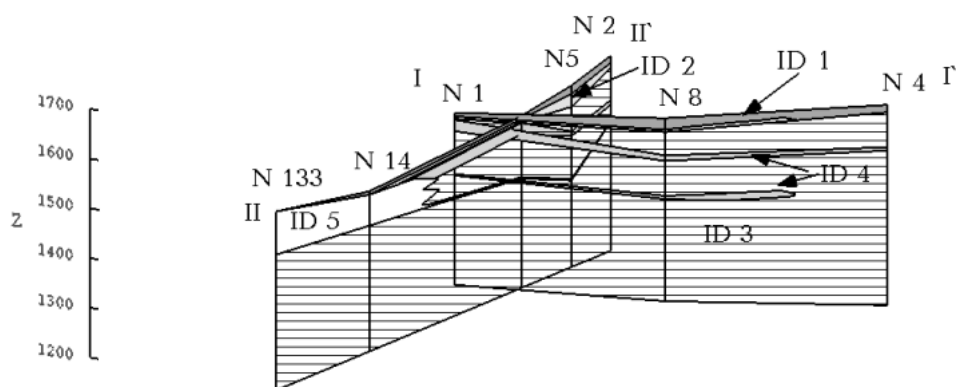


Рис. 2. Геофильтрационные разрезы по линиям I-I' и II-II' (см. рис.1).

В Ширакской котловине за последние 60 лет пробурено множество скважин, описания которых взяты из фондовых материалов. Их расположение и номера приводятся на рис. 1. Большинство скважин пробурено в центральной части котловины на абс. отметках 1500–1560 м. А.П. Демехиным

детально описан литологический разрез скважины № I глубиной 340 м в г. Гюмри, во дворе текстильного комбината. По данным скважин в меридианальном и широтном направлениях составлены геологические разрезы I-I' и II-II' (табл. 1 и 2, рис. 1).

Таблица 2

Геологический разрез по линии II-II' (скважины 2-5-14-133)

№ скважины	Нас. пункт	Глубина залегания, м	Мощность слоя, м	Описание пород	Уровень воды, м
2	3 км к С от центра г. Гюмри, 1592,1 м	0-14,1	14,1	суглинки с дресвой	
		14,1-22,9	8,8	туф черный	
		22,9-29,5	6,6	глина	
		29,5-31	1,5	песок (подтуфовый горизонт)	28,8
		31-88	57	глина	
		88-98	10	галька	
		98-131,5	33,5	глина	
		131,5-133,1	1,6	песок (II водоносный горизонт)	
5	северная окраина г. Гюмри, 1564,8 м	>133,1		глина	
		0-17,3	17,3	суглинки	
		17,3-26,1	8,8	туф	
		26,1-75	48,9	глина	
		75-85,4	1,4	галька, гравий, песок	16,6
14	0,75 км к С, ЮЗ от центра с. Аревик, 1522,3 м	>85,4		глина	
		0-6,8	6,8	глина	
		6,8-27,9	21,1	базальт трещиноватый, пористый	
		27,9-31,7	3,8	ошлакованный базальт	
133	с. Айгабац, 1560,1 м	31,7-47,4	15,7	базальт плотный	
		47,4-49,2	1,8	туф плотный	
		49,2-69	19,8	шлаки и обломки с вулканическим песком	21,6
		69-80,2	11,2	глина	
		80,2-100	19,8	глина	
		0-0,5		суглинки с гальками	
		0,5-10,8		обломки базальта, шлака, ошлакованные базальты с глинистым заполнителем	
		10,8-65,8		базальт плотный	
65,8-66,9		туф плотный			
66,9-80,4		шлак и обломки ошлакованных базальтов	50,4		
80,4-88,5		базальт			

Были использованы топографическая основа в масштабе 1:100000 и геологическая карта того же масштаба. Эти исходные материалы послужили основой для составления цифровой карты (рис. 1). На ее основе с помощью программы GIS была разработана 3-мерная концептуальная геофильтрационная модель Ширакской котловины. При этом были опробованы различные варианты интерполяции по составленным разрезам и скважинам. На основе составленного геолого-литологического разреза был построен гидрогеографический разрез, под которым понимается переход от геолого-литологи-

ческих интервалов к гидрогеологическим, т.е. несколько разных литологических слоев, близких по фильтрационным свойствам, были соединены в один слой (табл. 3 и 4, рис. 2).

В результате нами получена 7-слойная 3-мерная модель района исследований. Преимуществом данной модели является ее гибкость к модификациям.

Таблица 3

Гидростратиграфический разрез по линии I-I' (скважины I-8-4)

№ скважины	Абс. отметка кровли, м	Идентификационный номер (ID)	Номер горизонта от подошвы	Описание пород
I	1546	1	7	глина с обломками изверженных пород
	1539	2	6	туф черный и желтый
	1534	3	5	глина
	1532	4	4	песок (I напорный горизонт)
	1509	3	3	глина
	1423	4	2	песок (II напорный горизонт)
	1420	3	1	глина
	1200	3	0	глина
8	1568	1	7	глина, галька, песок (надтуфовый горизонт)
	1545	2	6	туф
	1540	3	5	глина
	1493	4	4	галька, гравий
	1482	3	3	глина
	1412	4	2	песок (II напорный горизонт)
	1405	3	1	глина
	1200	3	0	глина
4	1603	1	7	валунно-галечные отложения
	1588	3	5	глина песчанистая, глина озерная
	1518	4	4	галька, гравий с м/з песком
	1511	3	3	глина озерная
	1200	3	0	андезиты плотные, массивные

Таблица 4

Гидростратиграфический разрез по линии II-II' (скважины 2-5-14-133)

№ скважины	Абс. отметка кровли, м	Идентификационный номер (ID)	Номер горизонта от подошвы	Описание пород
1	2	3	4	5
2	1592	1	7	суглинки с дресвой
	1578	2	6	туф черный
	1569	3	5	глина
	1503	4	4	песок (подтуфовый горизонт)
	1493	3	3	глина
	1460	4	2	галька, песок (II напорный горизонт)
	1458	3	1	глина
	1200	3	0	глина

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
5	1565	1	7	суглинки
	1548	2	6	туф
	1522	3	5	глина
	1473	4	4	галька, гравий, песок
	1463	3	3	глина
	1377	4	2	галька, песок (II напорный горизонт)
	1374	3	1	глина
14	1200	3	0	глина
	1522	1	7	глина
	1515	5	7	базальт, ошлакованный базальт, базальт плотный, туф плотный, шлаки и обломки с вулканическим песком
	1453	3	1	глина
133	1200	3	0	глина
	1560	5	7	суглинки с гальками, обломки базальта, шлака, ошлакованные базальты с глинистым заполнителем, базальт плотный, туф плотный, шлак и обломки ошлакованных базальтов
	1473	3	1	глина
	1200	3	0	глина

С помощью полученной модели можно прогнозировать движение предполагаемых загрязнителей подземных вод от выбранного пользователем очага загрязнения, а также решать различные гидрогеологические задачи.

Кафедра региональной геологии

Поступила 28.05.2006

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Крамбейн У., Грейбилл Ф.** Статистические модели в геологии. М.: Мир, 1969, 396 с.
2. **Middlemis Н.** Groundwater flow modelling guideline, South Perth 6151, Western Australia: Aquaterra Consulting Pty Ltd, 2001, 133 p.  
www.earthwardconsulting.com/library/MBDC\_Groundwater\_Modeling.pdf
3. **McDonald M., Harbaugh A.W.** A modular three dimensional finite difference ground water flow model, US Geological Survey open-file report 83-875, 1988, 596 p.
4. **Де Уист Р.** Гидрогеология с основами гидрологии суши. М.: Мир, 1969, 310с.
5. **Аветисян В.А., Мартиросян Г.Г.** Ширакская котловина. В кн.: Геология Арм. ССР. Т. VIII. Гидрогеология. Ер.: Изд. АН Арм. ССР, 1974, с. 218-227.

Հ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ա. Հ. ԱԳԻՆՅԱՆ

ԳԵՈՖԻԼՏՐԱՑԻԱՅԻ ՍՈՒԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՈՐՈՇ ՄՈՏԵՑՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ՇԻՐԱԿԻ ԳՈԳԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԿՈՆՑԵՊՏՈՒԱԼ ԳԵՈՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ ՍՈՒԵԼԻ ՆԵՐԿԱՅԱՅՈՒՄ

#### Ա ն փ ո փ ու մ

Հողվածում ներկայացված են գեոֆիլտրացիայի մոդելավորման ժամանակակից մոտեցումները, ինչպես նաև Շիրակի գոգավորության եռաչափ կոնցեպտուալ գեոֆիլտրացիոն մոդելի նկարագրությունը: Մոդելի կառուցման համար



օգտագործվել են տվյալ տարածքի 1:100000 մասշտաբի տոպոգրաֆիական հիմքը, նույն մասշտաբի հիդրոերկրաբանական քարտեզը, ինչպես նաև այն հորատանցքերի տվյալները, որոնք փոխվել են վերջին 60 տարիների ընթացքում: Երկայնական և լայնական ուղղություններով կառուցված կտրվածքների և տարբեր ինտերպոլյացիոն մեթոդների օգնությամբ ստացվել է եռաչափ հիդրոստրատիգրաֆիական մոդել: Նշված մոդելի առանձնահատկություններից է ճկունությունը ձևափոխությունների նկատմամբ, ինչը թույլ է տալիս տվյալ շրջանի վերաբերյալ նոր փաստացի նյութերի ձեռք բերման դեպքում շատ արագ այն ձևափոխել:

H. H. SARGSYAN, A. H. AGHINIAN

ON SOME ASPECTS OF GROUND WATER SIMULATION AND  
REPRESENTATION OF CONCEPTUAL HYDROGEOLOGICAL MODEL  
OF SHIRAK BASIN

Summary

Modern approaches of ground water simulation, and also the description of constructed by authors of 3-D conceptual model of Shirak basin have been discussed in the article. The topographical map of investigated area in scale 1:100000, geological map in the same scale, and also the description of boreholes, drilled in the last 60 years. On constructed longitudinal and lateral cross-sections of the investigated area and by various interpolation methods the conceptual hydrostratigraphic model has been constructed. The feature of the model is flexibility to updating in the process of reception of new authentic actual materials of investigated area.