

Послание коллегам в гидрогеологии и нефтяной геологии. Новый поворот.

Исаак Марк Гершанович

Д.т.н. в гидрогеологии; Кандидат г-м наук в геофизике

Научно-техническое объединение «Ecology Imperative»

Исаак Марк Гершанович,

Тель-Авив, Aplaton St., 4, 68069. Э.п.: isgersh@yahoo.com

Д.т.н. в гидрогеологии; Кандидат г-м наук в геофизике



Независимый исследователь, Тель-Авив, Израиль

Работа в СССР до 1991 года: Главный научный сотрудник ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Москва

Профессор в Институте Повышения Квалификации Инженеров Министерства геологии СССР (1983-1990). Профессор Московского геологоразведочного института (1988-1989).

Эксперт Государственной Комиссии по запасам полезных ископаемых СССР (1972-1990).

Работа в Израиле с 1992 года: Water Planning for Israel (TAHAL). National Water co. of Israel (Mekorot), National Resources Development (NRD)

Предисловие

Уважаемые коллеги, гидрогеологи и геологи-нефтяники. Эта записка была предназначена для информирования вас о том, что я завершил свои исследования в области подземной гидродинамики, разработав новую методологию определения гидравлических и гидродинамических свойств водоносных горизонтов и нефтяных пластов. Я достиг желаемого результата и предполагал закончить свою деятельность в этой области и уйти на отдых. Мой возраст не дает мне возможности продвигать его дальше, чтобы увидеть его реализацию. В то же время я не могу сделать решение доступным для всех. Я был бы счастлив, если бы мои правнуки продолжили мою работу. Но они еще слишком малы для таких проблем. Когда придет время, они выберут свой собственный путь, как и их родители.

Я оказался исследователем-одиночкой в этом вопросе. Я достиг основного результата этого исследования в очень поздний период моей жизни. Мои попытки привлечь молодежь в качестве партнеров для разработки программного обеспечения для профессионального сообщества закончились неудачей. К моему сожалению. Моя страница на сайте LinkedIn активно посещается. Я думаю, что это связано с пилотной версией, которая выставлена там. Этот факт говорит о том, что данная тема представляет интерес для многих гидрогеологов и специалистов в этой области. Это вполне понятно. Современные знания в этой области гидродинамики соответствуют тем какими они были предложены пятьдесят и даже более лет назад. Настало время обновить их. Посетители надеются увидеть новое программное обеспечение пользователя. Увы, такого продукта для них пока нет. Инвестиционная компания ВНСО (Swiss) выступила спонсором запуска пользовательского программного обеспечения в 2007 году. Первая версия была показана на Международной выставке Watec в Тель-Авиве в 2007 году и на Международном симпозиуме по подземным водам в Стамбуле в 2008 году. К

сожалению, глобальный кризис 2008 года заставил спонсора оставить все его проекты. Я продолжил эти разработки сам, на свои средства, но моих собственных денег было недостаточно.

Прорыв в науке не зависит от бюджета, он зависит от человека, который проявит интерес к решению проблемы. Я оказался таким человеком. Много лет назад. Для дальнейшего продвижения новой идеи нужны деньги. Значительные деньги. Я не смог их привлечь. Мне не хватает такого таланта. Итак, путешествие моей Одиссеи в науку окончено.

Я начал свой поиск в полной темноте, на ощупь, без каких-либо ориентиров. Только решение Theis (195). Это «порт приписки» для подземной гидродинамики и различных методов, следующих из него. Я отверг все эти известные методы, как не соответствующие моему интересу, чтобы сделать решение Тейса полностью соответствующим любой реальности. Это была революционная идея с нулевым уровнем предыстории. Поэтому у меня нет ссылок на предшественников. Я взялся за эту проблему на свой страх и риск. Мало кто верил в эту идею. Сейчас я предлагаю новую методологию, содержание которой таково: «Набор обычно регистрируемых данных в одинокой скважине является достаточным ресурсом для определения полного набора гидродинамических и гидравлических свойств водоносного горизонта, скважины и окружающей среды для различных проектов». Она предназначена для различных коллекторов, скважинных условий как в гидрогеологии, так и в нефтяной геологии, но отсутствует для использования.

Хорошие научные идеи иногда живут независимо от автора. Внезапно Ecology Imperative Association (Израиль) предложила мне свое партнерство, чтобы двигаться дальше. Отлично. Это стоит того, чтобы задержать мой уход на отдых.

Введение

Много лет назад я был увлечен разработкой альтернативной методологии определения гидравлических и гидродинамических свойств водовмещающих пород. Водоносные горизонты стоят ближе к моему базовому образованию и научному интересу, поэтому исследование было направлено в первую очередь на эти объекты. В качестве возможного следствия рассматривается применение полученного результата к нефтедобывающим объектам. Под термином "альтернативная методология" я имею в виду новую методологию интерпретации обычных переходных гидродинамических процессов на насосной скважине. Они могут быть инициированы оператором в качестве гидродинамического испытания или возникать в результате различных действий на скважине. Например, это может быть связано с прерывистым графиком откачки или остановками или включениями насоса в связи с профилактическими или ремонтными работами.

Фундаментальное решение Thies (1935) и его упрощенная версия Купера и Джейкоба (1946) являются основным шаблоном для оценки проницаемых горных пород на основе данных испытаний насосной скважины. Они широко используются с середины

40-х годов прошлого века. Основное требование к использованию указанных решений заключается в необходимости соответствия испытуемого объекта физической модели решения Theis-Cooper-Jacob. Локальные условия могут удивить исполнителя различными расхождениями с базовой моделью. Эти расхождения привели к разработке нескольких технологий гидродинамических испытаний, при которых одно или иное ограничение можно было преодолеть без изменения теоретической сущности источника. Следуя этому принципу, все известные методы стремились учесть отличия рассматриваемого объекта от требований базовой теоретической модели. Например: геометрия водоносного горизонта в плане; напорный или безнапорный характер водоносного горизонта; безграничный или ограниченный водоносный горизонт, и несколько других. Были также предложены методы, которые лишь гипотетически удовлетворяют таким требованиям. Красноречивым примером является метод Хорнера, обычно используемый для интерпретации кривой восстановления давления/уровня в скважине. Строго говоря, он действителен при следующих условиях: водоносный горизонт/слой неограничен в плане; кровля и подошва непроницаемы; водоносный горизонт/слой вскрыт фильтром на полную мощность; отложения удовлетворяют закону Гука. Не существует никаких шансов для наличия таких идеальных условий. Невыполнение хотя бы одного из перечисленных условий приводит к ошибке в результате, в данном случае при определении водопроводимости. Это сообщение не имеет цели более полно анализировать этот метод. Поэтому я приведу заключение Уолтона (Watson, 1983), чтобы закончить это введение: “Diverse results and vexations will arise if attempts are made to force the application of formulas to aquifer situations differing greatly from ideal conditions” (Разные результаты и неприятности возникнут, если будут предприняты попытки форсировать применение формул в ситуациях водоносного горизонта, сильно отличающихся от идеальных условий). После этого заявления можно сделать вывод: все применяемые методы не дают полной оценки объекта с помощью известных методов гидродинамических исследований, а параметры и характеристики, которые формально рассчитаны, не имеют достаточной точности. Это прямое следствие анализа Уолтона. Предлагаемый мною метод уменьшает эту неопределенность путем виртуализации области вокруг насосной скважины как гидравлически однородной по виду гидродинамических данных испытаний и дает результаты, которые относятся к ней. Метод определяет гидравлический тип водоносного горизонта (ограниченный или неограниченный) по умолчанию и адаптирует результат с учетом этой функции. И так далее со всеми другими ограничениями, принятыми в базовом решении Тейса-Купера-Джекоба.

Альтернативные знания

Я считаю, что читатель хорошо знаком с современными методами испытания водоносных горизонтов и нефтяных пластов и скважин для параметрической оценки этих объектов. Поэтому позвольте мне прямо сейчас показать итоговую информативность разработанной методологии.

Отчет для пользователя программного обеспечения состоит из двух частей. Первая часть представляет полный набор гидродинамических параметров и характеристик для трех гидравлических режимов фильтрации, которые имеют место в пространстве конуса депрессии во время испытания. Они печатаются в одной таблице в трех частях для трех режимов или в виде трех отдельных форм таблицы. Режимы фильтрации получают идентификационный символ. Для упругого режима водоотдачи пласта благодаря свойству компрессии-декомпрессии принят символ (j), для упруго-гравитационного режима водоотдачи принят символ (jg), а для гравитационного режима это (g). Каждая форма таблицы имеет три столбца для трех номинаций водоносного горизонта. Они отображаются в понятиях пользователя.

Таблица 1. Отчет, часть 1. Гидродинамические особенности

Свойство	Символ	Размер	Целевой Интервал водоносного горизонта	Эффективный Интервал водоносного горизонта	Водоносный горизонт Подлинный
Водопроводимость	T	$m^2 d^{-1}$	+	+	+
Коэффициент фильтрации	K	md^{-1}	+	+	+
Коэффициент фильтрации эффективный	K_{ef}	md^{-1}	+	+	+
Уровне/Пьезопроводность	D	$m^2 d^{-1}$	+	+	+
Водоотдача	S		+	+	+
Удельная водоотдача	S^*	m^{-1} modes	+	+	+
Пористость эффективная	m_{ef}		+	+	+
Гидравлический тип			+	+	+
Мощность (гидравлический образ)	Mh	m	+	+	Geo
Пористость общая	m_{tot}		+	+	+
Радиус однородности	R_j	m	+	+	+
Радиус дренажной зоны	R_{jg}	m	+	+	+
Радиус активной области стока	R_g	m	+	+	+
Реакция на водозабор			+	+	+

Таблица 2. Отчет, часть 2. Гидравлические особенности скважины, фильтра и его окрестностей

Свойство	Символ	Размер	Формула
Водопроницаемость эффективная	T_w	$m^2 d^{-1}$	
Водопроницаемость фильтра	T_f	$m^2 d^{-1}$	
Коэффициент фильтрации фильтра	K_f	md^{-1}	
Радиус турбулентности	R_t	m	
Эффективный радиус скважины	R_{wef}	m	
Гидравлический индекс несовершенства	Z_h	<i>share</i>	
Гидравлическое несовершенство (потери напора)	ΔS_{hd}	m	
Несовершенство по степени вскрытия пласта	Z_p	<i>share</i>	
Потеря напора на несовершенство по степени вскрытия	ΔS_{pp}		
Скин-фактор строительный	F_{st}	<i>share</i>	
Скин-фактор эффективный	F_{ef}	<i>share</i>	
Коэффициент потери напора на формации	α	dm^{-2}	
Коэффициент потери напора на скважине	β	$d^2 m^{-5}$	
Гидравлическая эффективность скважины	E_{ef}	%	

Примечание 1. Конечно, может показаться, что такой отчет перегружен информацией, которая не нужна гидрогеологу, занятому в каком-то узком сегменте гидрогеологии. Большой торт всегда можно разделить на части. Как требуется. Это задача программирования - настройка отчета по запросу пользователя. Этот подробный отчет будет храниться в файле для другого проекта с другой информацией, без необходимости повторения работы физически.

Примечание 2. Пожалуйста, обратите внимание на эффективную и полную пористость коллектора. Они определяются *in situ*. Это особенно важный параметр для нефтедобычи, чтобы планировать лучший способ добычи. Полная пористость определяется только с помощью метода ступенчатой откачки. Это дополнительная характеристика для всех других определений.

Примечание 3. Пилотная версия программного обеспечения была разработана только для исследовательских целей и не предназначалась для коммерческого использования. Тот, кто хочет видеть результат этой версии приглашается посетить ссылку <http://www.elektron2000.com/article/2056.html> Версия программного обеспечения пользователя ждет своего разработчика. Как показывает практика, объем работ с интерференционными методами сокращается по указанным и другим причинам. В то же время, количество разведочных скважин и эксплуатационных скважин растет по всему миру.

Альтернативная технология

Какие технологии предлагаются и какие становятся ненужными показывают Рис. 1. и Рис.2. Сеть наблюдательных скважин для мониторинга динамики уровня воды во время откачки и после ее остановки больше не требуется. Только одна насосная скважина.

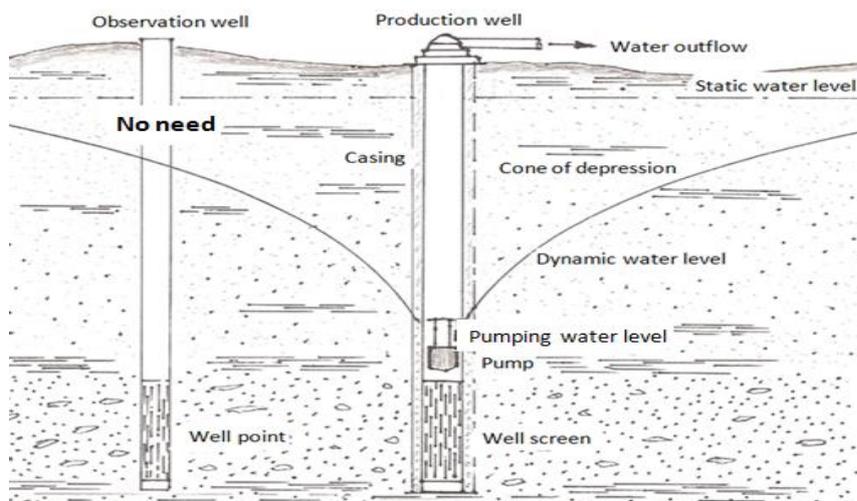


Рис.1. Пьезометрическая скважина теперь избыточна

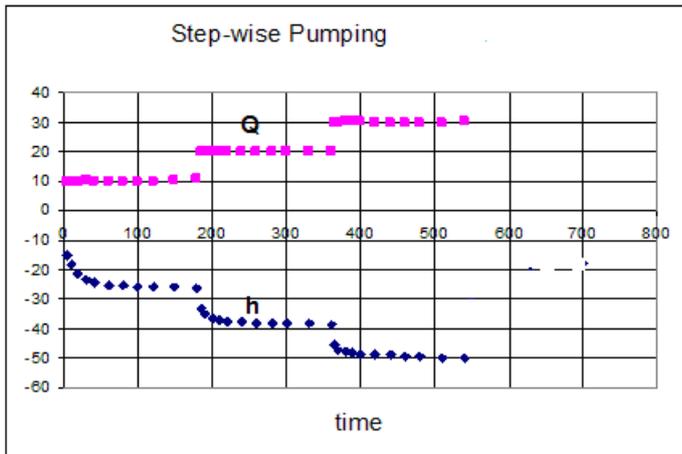


Fig.4. Ступенчатая откачка.

Этот случай представляет собой ступенчатый набор плановой производительности скважины. Функция восстановления, которая отсутствует, воспроизводится виртуально благодаря новым теоретическим выводам. Все остальное, включая результат, остается таким же, как и в базовой версии.

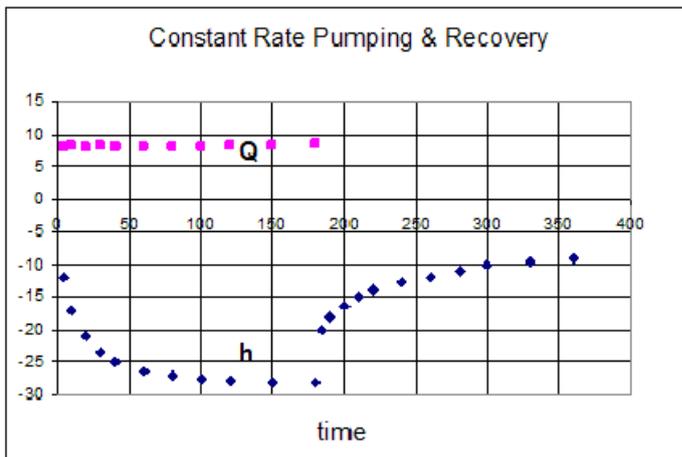


Fig.5. Откачка с постоянным дебитом с последующим восстановлением.

Это базовая версия. Эта технология состоит из переходного периода снижения уровня воды после начала откачки с заданной производительностью, а также восстановления уровня воды после остановки откачки.

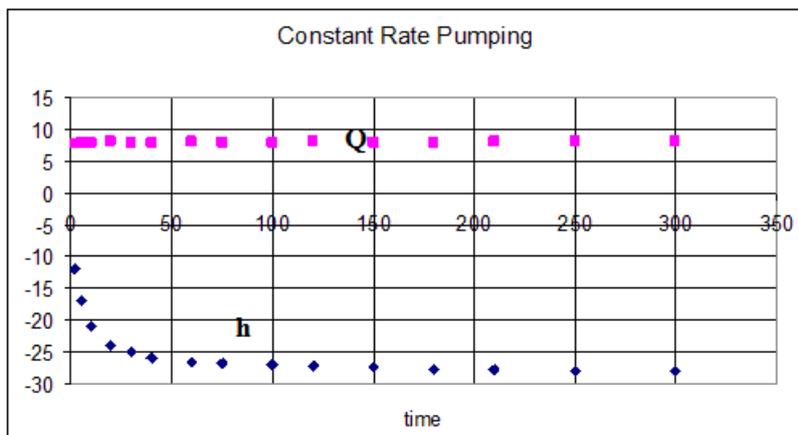


Рис.6. Откачка с постоянной производительностью (переходный период в начале).

Эта версия технологии представляет собой переходный процесс на продуктивной скважине после включения насоса. Данные, которые отсутствуют, воспроизводятся виртуально с помощью новых теоретических выводов. Все остальные, включая результат, остается таким же, как и в базовой версии.

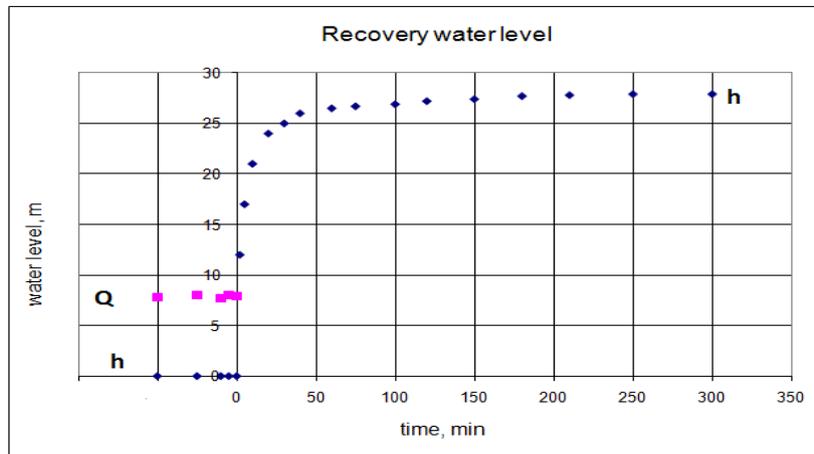


Рис.7. Восстановление уровня воды после длительной откачки (переходный период в начале).

Эта версия технологии имеет место на производственной скважине, которая работает в течение длительного времени. Каждый случай, когда откачка останавливается по любой причине, дает возможность получить данные для расчета. Данные, которые отсутствуют для полного набора воспроизводятся виртуально с помощью новых теоретических выводов. Все остальные, включая результат, такие же, как и в базовой версии.

Как это стало возможным?

Фундаментальное решение Theis' сохраняется в качестве гидродинамического шаблона. Но в отличие от известных подходов, ограничения для использования этого фундаментального решения не игнорируются. Ключ к преодолению этого «барьера» был найден путем рассмотрения гидравлической системы скважина-пласт в качестве саморегулирующейся системы. Как закрытая физическая система, она имеет устойчивые законы, которые регулируют ее. Эти законы были обнаружены с помощью нескольких новинок, которые были в нее введены. Некоторые из них:

- Функция притока в скважину была выражена как функция движения переменной массы.
- Силы, действующие внутри насосной скважины и во внешнем пространстве, были соединены (bridged) через введение новой переменной под названием «фильтрационная вязкость».
- Фрагментация конуса депрессии на виртуальные фрагменты различных режимов фильтрации была найдена теоретическими средствами.

- Виртуализация функций понижения и восстановления одно через другое была найдена теоретическими средствами.

- Совместное использование понижения и восстановления было введено в метод как новаторское изобретение в этой области гидродинамических исследований.

- Определение фактора потери напора на формации было введено новым приемом как функциональная характеристика.

Это лишь часть введенных теоретических новинок. Алгоритм анализирует исходные полевые данные и адаптирует их к модели Theis' для сохранения ее в качестве признанного шаблона. Но уже очищенных от ограничений, которые она требует иметь в виду.

Преимущества общие

Преимущества этого нового метода:

- он использует обычные данные дебита откачки и уровня воды внутри насосной скважины;

- он обрабатывает совместно данные за период откачки и после того, как насос выключается;

- он применим к любой геологической среде, типу коллектора, гидравлическому типу водоносного горизонта и т.д.;

- он не зависит от глубины скважины и диаметра скважины.

Дополнительные преимущества к вышеописанным являются следующие:

Метод определяет и оценивает параметрически качественно и количественно:

a) целевой сегмент водоносного горизонта, где установлен фильтр;

b) эффективный сегмент мощности водоносного горизонта, который обеспечивает водоприток к фильтру скважины.

А также: гидравлический тип водоносного горизонта в отношении взаимодействия с поверхностью; санитарно-защитные зоны (гидравлическое определение) для планирования; гидравлические особенности фильтра скважины и его окрестностей *in situ* (гидравлическая проводимость, скин-фактор, область турбулентности и другие). И, наконец, он может быть адаптирован к системам дистанционного мониторинга действующих скважин, чтобы получить тот же набор свойств водоносного горизонта и особенностей скважины он лайн.

Преимущество для пользователя

Новое программное обеспечение (коли будет создано) обеспечит оперативную практическую выгоду для пользователя, если он спросит: "Почему этот метод и

программное обеспечение превосходит другие доступные методы?" Таблица 3 и Таблица 4 ниже ответят на этот вопрос.

Таблица 3. Специальные данные, которые исследователь должен иметь/знать для

Для использования традиционного метода	Для использования предлагаемого метода
Насосная скважина	Насосная скважина
Литологический разрез	Литологический разрез
Наблюдательная скважина	Без нужды
Гидравлический тип водоносного горизонта	Без нужды
Тип коллектора	Без нужды
Граничные условия	Без нужды
Однородная область	Без нужды
Продолжительное время накачки	Короткое время откачки
Бюджет на насосную скважину плюс	Бюджет на насосную скважину и только

Таблица 4. Информация, которую исследователь извлекает из

Из традиционного метода	Из предложенного метода
Водопроницаемость неопределенной мощности водоносного горизонта	Водопроницаемость отдельных частей водоносного горизонта для различных типов водоотдачи
Не удастся	Коэффициент фильтрации отдельных частей водоносного горизонта для различных типов водоотдачи
Уровне/пьезопроводность неопознанного происхождения в пространстве водоносного горизонта	Уровне/пьезопроводность отдельных частей водоносного горизонта для различных типов водоотдачи

Водоотдача неопознанного происхождения в пространстве водоносного горизонта	Водоотдача отдельных частей водоносного горизонта для различных типов водоотдачи
Не удается	Удельная водоотдача отдельных частей водоносного горизонта для различных типов водоотдачи
Не удается	Пористость и эффективная пористость для отдельных частей водоносного горизонта и различных типов водоотдачи
Не удается	Мощность водоносного горизонта, относительно типа водоотдачи
Не удается	Гидравлический тип водоносного горизонта
Не удается	Площадь санитарной защиты
Не удается	Набор гидравлических характеристик системы скважина-водоносный горизонт

И, наконец,

Я начал разработку этого научного направления в прикладной гидрогеологии в конце 70-х годов в бывшем СССР и закончил полностью в Израиле с хорошим результатом. Я хотел бы поблагодарить коллег из водной компании Израиля (Mekorot), компании по планированию водных ресурсов для Израиля (TANAL), и Государственную службу водоснабжения Израиля за поддержку моих разработок. Это исследование заняло много времени, как и любая пионерная идея. Это правда, что я был одиноким концептуалистом и разработчиком идеи, но многие помощники сопровождали меня во многих смежных работах, таких как лабораторные исследования и эксперименты, полевые исследования, программирование, вычислительная работа и т.д. Я невероятно благодарен им.

В науке можно сказать "сделано", но нельзя сказать "все закончено". Я вижу несколько новых задач для оценки неоднородности водоносных горизонтов. Мне кажется, концепцию моделирования желательно изменить тоже. Теперь это виртуализация свойств объекта как ответ на наблюдаемый эффект. Возможен и противоположный подход: виртуализация эффекта как отражение естественной картины распределения свойств в пространстве объекта. Сочетание этих двух подходов в одном может внести вклад в надежность интеллектуального моделирования, мне кажется.

Разработанная методология дает возможность переосмыслить старые данные, которые хранятся в архивах без использования.

Или еще одна проблема, которая кажется мне неотложной. Это параметрический мониторинг существующих скважин, оборудованных автоматическими устройствами для записи дебита и уровня воды. Любое изменение режима работы скважины сопровождается переходным процессом. Этого вполне достаточно, чтобы вычислить гидравлическое состояние зоны скважин и самой среды онлайн.

Примечание. Кто-то может спросить, почему я не опубликовал эти результаты для получения признания профессиональным сообществом. Это естественный вопрос. Но ответ не так прост. Я эмигрант в Израиле с 1991 года. Здесь я занимался как фрилансер с очень небольшим доходом. Я не очень искал и у меня не было никакой принадлежности ни к одному университету. В тот период это и было мало вероятно. Это исследование здесь стало моим хобби. Это ограничило меня для поиска и получения грантов или скидки в платежах за публикацию в ведущих журналах. С другой стороны. Вся эта работа была похожа на складывание мозаичного ковра с расплывчатым трафаретом и неполным набором гальки. Как это может быть опубликовано по частям? И кто согласится на это? Когда ковер принял форму, он стал негабаритным. Например, моя попытка опубликовать теоретическую статью по частям в журнале “Water Resources Research” закончилась неудачно. Итак, если кто-то захочет получить полное содержание этой разработки, он найдет дорогу к месту, где оно будет храниться.

Исаак Марк Гершанович, независимый исследователь, Тель-Авив, Израиль
подземная гидродинамика, свойства коллектора, гидравлика системы скважина-пласт-окружающая среда, влияние откачки, фрагментация депрессионной воронки
