

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук
Самарцева Всеволода Николаевича
на тему: «Обоснование геофильтрационных и геомиграционных моделей
участков загрязнения и эксплуатации подземных вод с использованием
метода совместной калибрации»
по специальности 1.6.6 – «Гидрогеология»

В диссертационной работе В.Н.Самарцева рассматриваются вопросы использования компьютерных технологий для калибрации математических моделей геофильтрации и геомиграции.

Применение автоматических методов решения обратных задач имеет уже довольно длительную и, в целом (по крайней мере, в отечественной гидрогеологии) не очень успешную историю. Следует учитывать также, что прямые доказательства достоверности прогнозов (и, следовательно, "успешности" калибрации моделей) могут быть получены только при фактической реализации проектных решений. Поэтому отметим, что автор диссертационной работы взялся за весьма сложную задачу: обосновать преимущества применения автоматической калибрации и разработать методику её эффективного применения на материалах реальных гидрогеологических объектов.

В название работы вынесен термин "метод совместной калибрации", подразумевающий одновременную обработку нескольких типов данных. Представляется необходимым подчеркнуть, что фактически в диссертации развивается "метод *полуавтоматической* совместной калибрации".

Актуальность представленной работы несомненна. Избранная тема актуальна уже несколько десятилетий и останется таковой в обозримом будущем, поскольку включает в себе основное содержание гидрогеологии как прикладной науки: обеспечение достоверного прогнозирования

состояния природно-техногенных систем для обоснования оптимальных инженерных решений.

По мере накопления информации и привлечения все больших объемов исходных данных, возрастают требования к возможностям их обработки. Наличие большого объема разнообразных по характеру и качеству фактических материалов, накопленных за длительный период проведения геологоразведочных работ и эксплуатации подземных вод, приводит к необходимости их взаимоувязанного анализа и согласования в рамках единой концептуальной модели и соответственно, комплексного подхода к интерпретации полученных данных.

Указанные факторы стали причиной все большего распространения в практике геологоразведочных работ компьютерных технологий, предоставляющих новые возможности анализа и обработки информации.

При этом обратные гидрогеологические задачи априори некорректны. Геологическая информация дискретна, неоднородна, имеет разную степень достоверности. Более того, она имеет случайный характер, даже при проведении наблюдений по специально спроектированной системе мониторинга. Как справедливо отмечает автор, при решении некорректных задач возникают проблемы неединственности и неустойчивости решения, а ручная калибровка позволяет перебрать сравнительно небольшое количество вариантов с ограниченным числом определяемых параметров.

Сказанное выше свидетельствует о необходимости разработки методики совместной калибровки моделей гидрогеологических процессов с использованием существующих инструментов автоматизации решения обратных задач, что и является целью выполненного исследования.

Стержневая идея работы – использование всей имеющейся информации по объекту – хорошо коррелирует с основным методологическим принципом построения моделей (и не только в геологии) – они должны не противоречить всей совокупности имеющихся данных об объекте. Важным достижением автора является предложенный метод реализации этого принципа.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из 5-ти глав, общий объем 216 страниц, список литературы включает 161 наименование. Текст сопровождаются многочисленными иллюстрациями и таблицы.

Первая часть работы (главы 1-2) посвящена обобщению и анализу существующих подходов к калибровке моделей и обоснованию предлагаемых автором подходов к ее совершенствованию. Во второй части (главы 3-5) приводится описание применения авторской методики на различных гидрогеологических объектах (участках загрязнения и эксплуатации подземных вод).

В первой главе "Современные подходы и проблемы калибровки моделей гидрогеологических процессов" рассматриваются понятия модели, калибровки и эффективных параметров, этапы разработки моделей и методы моделирования, прямые и приближенные методы решения обратных задач и используемые типы данных.

На основе тщательного анализа литературных источников формулируется "рабочая гипотеза" о преимуществе совместного анализа разнородных данных наблюдений в процессе калибровки и проводится постановка задач исследований, направленные на поиск доказательств ее справедливости.

Во второй главе "Методика полуавтоматической калибровки моделей гидрогеологических объектов", подготовленной на основе анализа зарубежных руководств и публикаций, содержится краткое описание основных этапов калибровки. Подробно рассматриваются понятие целевой функции, оценка чувствительности модели к изменению параметров, использование ручной и математической регуляризации для устранения проблемы неединственности решения.

Предложены обобщенная формула для вычисления весовых коэффициентов для обеспечения равенства долей разных групп наблюдений в целевой функции и типизация задач совместной калибровки.

В главе, на основе практического алгоритма проведения калибровки,

приводится авторская модификация существующей методики, включающей подготовку наблюдений, выбор параметров (в т.ч. анализ чувствительности), проведение автоматической калибровки (в т.ч. выбор настроек), оценку результатов калибровки (верификацию модели).

Третья глава "Тестирование методики совместной калибровки" посвящена обоснованию преимуществ методики совместной калибровки моделей геофильтрации и геомиграции. Анализ выполнен на тестовых моделях, при заранее известном распределении калибруемых параметров.

В первом примере рассматривается калибровка миграция загрязнения из бассейна промстоков (за основу взят участок одного из шламохранилищ Сибирского химического комбината), во втором - калибровка профиля проводимости в одномерном потоке.

На основании полученных результатов автор делает вывод, что последовательная калибровка с отдельным рассмотрением моделей геофильтрации и геомиграции не позволяет (в отличие от совместной) подобрать удовлетворительный набор значений параметров.

В четвертой главе "Применение многомодельной совместной калибровки для переоценки запасов подземных вод на участке водозабора ВПС-4 (г. Воронеж)" рассматривается типичная ситуация совместной обработки данных разведочных работ и материалов эксплуатационного мониторинга.

Задача заключалась в согласовании результатов трех разномасштабных типов полевых исследований (две опытные откачки и режимные наблюдения), для чего были созданы три модели, имеющие общий набор параметров, но у каждой при этом отдельный набор наблюдений.

На основе результатов исследований по участку ВПС-4 методика совместной калибровки, изложенная в главе 2, была усовершенствована.

В пятой главе "Применение метода совместной калибровки при разработке геофильтрационных моделей подземного стока бассейнов малых рек" рассматривается создание моделей бассейнов р.Хворостань

(Воронежская обл.) и р.Судогда (Владимирская обл.).

Исходными данными являются уровни подземных вод и расходы (приращения расходов) рек, а также – для второго примера – изменение эвапотранспирационной разгрузки. Автор относит моделирование данных объектов к применению метода совместной одномодельной калибровки разных типов наблюдений.

Проведено определение параметров взаимосвязи поверхностных и подземных вод и показана эффективность предложенной методики.

Научная новизна представленной диссертационной работы заключается в разработке методики полуавтоматической совместной калибровки численных моделей гидрогеологических процессов, позволяющей более эффективно использовать данные наблюдений и оптимизировать процесс обоснования прогнозных моделей.

Автором предложена типизация условий эффективного применения совместной калибровки моделей. Обоснован метод корректного совместного использования различных типов данных (опытные откачки, эксплуатационный мониторинг и др.) при переоценке запасов действующих водозаборов подземных вод с применением численного моделирования.

Соискателем получена новая зависимость для расчета весовых коэффициентов, необходимого для корректного учета и сравнения наблюдений различных типов. Показана принципиальная возможность в полуавтоматическом режиме оценивать пространственную изменчивость параметров по имеющимся наблюдениям.

Высокая степень **обоснованности и достоверности** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется:

- систематизацией и обобщением современных публикаций, посвященных разработке численных моделей гидрогеологических процессов;
- детальным анализом фактических материалов геологического изучения и эксплуатации рассматриваемых месторождений подземных вод;

- широким использованием современного программного обеспечения для разработки численных моделей и их калибровки;

- апробацией основных научных положений на профессиональных конференциях и публикацией в рецензируемых журналах.

Характеризуя работу в целом, следует отметить, что диссертация является законченным исследованием, посвященным актуальной в научном и практическом отношении проблеме. Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в тексте работы и в защищаемых положениях, являются **новыми и достоверными, обоснованными** анализом фактических данных и подтвержденными модельными решениями.

Автором систематизированы и тщательно обработаны многочисленные литературные источники и материалы, характеризующие геологические, гидрогеологические, водохозяйственные особенности рассматриваемых объектов. Работа насыщена логическими построениями и обоснованием предлагаемых шагов, что свидетельствует об эрудиции и изобретательности автора. Несомненным достоинством работы является многообразие рассмотренных в ней проблем и возможность дальнейшего развития предлагаемых подходов к их решению.

Диссертация написана хорошим литературным и специальным языком. Список литературы свидетельствует о всестороннем учете современного состояния рассматриваемой проблемы. Автореферат соответствует диссертации, опубликованные в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и других изданиях работы в полной мере отражают ее основные положения. Содержание многократно докладывалось на различных конференциях и совещаниях.

Имеющийся опыт указывает на то, что к использованию искусственного интеллекта в геологии следует подходить с большой осторожностью. Подчеркнем, что компьютерные технологии ни в коей мере не могут заменить квалификацию специалиста. Выполненная работа убедительно подтверждает этот тезис. Весьма отраднo, что автор неоднократно

подчёркивает несовершенство сугубо математического (компьютерного) подхода и необходимость постоянного "вмешательства" гидрогеолога - для задания многочисленных настроек автоматической калибровки.

Это, в свою очередь, требует глубокого понимания гидрогеологических процессов в целом и на конкретном объекте в частности, что наглядно демонстрируют приведенные в работе примеры решения обратных задач. Отметим, что полуавтоматическая калибровка включает, в том числе, анализ представительности фактических данных математическими методами.

Переходя к замечаниям, считаем необходимым подчеркнуть, что значительная их часть обусловлена новизной рассматриваемой темы и отсутствием в русскоязычной литературе общепринятого понятийно-терминологического аппарата.

Основные замечания оппонента сводятся к следующему:

1. Автор отошёл от обычного построения диссертационных работ, когда каждый раздел содержит обоснование одного из защищаемых положений. Это понятно, учитывая рассматриваемую тему и характер материалов. Но в результате структуре работы не достаёт чёткости, а защищаемые положения (впрочем, как в любой диссертации) не в полной мере отражают реальный вклад автора в рассматриваемую тематику. Не случайно третье защищаемое положение практически совпадает с так называемой "рабочей гипотезой", принятой уже в первой, обзорной, главе.

В отдельное защищаемое положение следовало выделить разработку методики решения обратных задач с использованием инструментов автоматизации, с кратким перечислением ее основных принципов. Четвёртое защищаемое положение сформулировано общими фразами и, по существу, повторяет типизацию условий применения совместной калибровки, которая фигурирует в первом защищаемом положении.

Наиболее значимая в теоретическом отношении глава 2, в отличие от всех остальных, завершается не выводами, а констатацией подготовки автором типизации условий калибровки и усовершенствования ее методики.

Раздел 2.5, вопреки названию, не содержит методiku совместной калибровки (которой посвящена глава 2 полностью), а является попыткой (на наш взгляд - неудачной) формулирования собственно понятия "совместная калибровка".

2. Значительное внимание уделяется понятийно-терминологическому аппарату, что совершенно оправдано. Тем не менее, содержание работы не дает однозначного ответа на вопрос, в чем автор видит различие между совместной и последовательной калибровкой.

О том, что в названии работы упущено понятие "полуавтоматическая калибровка", уже говорилось выше. Вероятно, это является следствием того, что автор противопоставляет, с нашей точки зрения - неправомерно, последовательную (ручную) и совместную (автоматическую) калибровку.

На самом деле термин "последовательная калибровка" должен означать, что по завершении обработки одного типа данных возврата к ним больше не происходит, дальнейшие изменения в модель вносятся на основе обработки следующего типа данных.

Понятие же "совместная калибровка" подразумевает использование всех имеющихся типов данных в рамках процесса корректировки параметров путем многократных решений обратных задач и сопоставления фактических и модельных результатов. Например, классической схемой совместной калибровки геофильтрационной модели участка действующего водозабора является воспроизведение структуры потока на момент разведки (в естественных условиях), при максимальном водоотборе и на период работ по переоценке запасов.

Соответственно, применение *ручной* совместной калибровки различных данных, характеризующих процесс геофильтрации, подробно изложено во многих работах и геологических отчетах.

Однако, по всей видимости, автор придерживается другой точки зрения. Приведем несколько цитат из работы.

"Распространенной практикой является раздельное использование наблюдений различных типов. Если не удалось откалибровать

геомиграционную модель, приходится возвращаться к геофильтрационной модели и пересматривать принятые решения, например значения параметров или геофильтрационную схему" (раздел 2.5). То есть, данная схема считается последовательной, а не совместной калибрацией.

"Использование различных типов данных совместно в рамках единой функции, определяющей качество воспроизведения моделью (моделями) реальных условий, позволяет ввести понятие совместной калибрации" (Заключение). Из этих цитат следует, что совместная калибрация может быть только автоматической, а ручная – всегда последовательная. При этом автоматическая калибрация может быть как последовательной, так и совместной.

Такой подход представляется несоответствующим сущности гидрогеологических исследований. Именно совместный анализ и интерпретация всей совокупности данных по объекту является необходимым условием создания представительной прогнозной модели, независимо от использования ручной или автоматической калибрации.

Тезис автора «совместное использование различных типов наблюдений остается слабо разработанным приемом при решении обратных задач в гидрогеологии» справедлив применительно именно к автоматической калибрации. Поэтому несомненным достоинством представленной работы является развитие методики калибрации моделей с *использованием инструментов автоматизации*, что и следовало подчеркнуть в ее названии.

Добавим, что было бы целесообразно рассмотреть также понятия "независимая калибрация" и "метод последовательного определения параметров".

3. Представляется дискуссионным словосочетание «совместная калибрация разномасштабных моделей, описывающих один гидрогеологический процесс». Использование разномасштабных моделей не может рассматриваться как совместная калибрация, если обрабатываются одни и те же данные.

Говоря о «многомодельной калибровке» необходимо разделять *модель объекта* и *модель опыта*, понимая под объектом месторождение, участок загрязнения и т.п. («пространственно ограниченную часть водоносной системы»), а под опытом – источник получения обрабатываемых данных (опытная откачка, эксплуатация водозабора, сведения о структуре потока на определенный момент времени и т.п.).

Если моделируется один процесс (например, геофильтрация), то и прогнозная модель одна (использование врезок не рассматривается как создание нескольких моделей). И на ней должны быть воспроизведены наблюдения по всем типам данных, в соответствии с количеством имеющихся опытов. Например, если на месторождении в процессе разведки было проведено несколько откачек, то прогнозная модель должна удовлетворительно воспроизводить каждую из них.

Применительно к *модели опыта* утверждение автора, что "для многомодельной совместной калибровки стандартную методику требуется изменить для применения к совместному запуску нескольких моделей" не вызвало бы возражений.

4. В соответствии со сказанным выше, суть совместной калибровки не в масштабе и количестве моделей, а в том, чем они отличаются, то есть в гидрогеологических процессах, определяющих их параметрах и типах данных. Поэтому типизация условий применения совместной калибровки нуждается, на наш взгляд, в некоторой корректировке. В авторском варианте рассматривается объединение по трем признакам: процессы (модели различных процессов), модели (различные модели одного процесса), типы наблюдений (различные типы наблюдений в рамках одной модели).

Логичнее было бы использовать в типизации не количество моделей одного процесса, а количество моделируемых воздействий и/или состояний (опытов), объединив 2 и 3 критерия. Представляется целесообразным развитие типизации условий совместной калибровки на основе следующих критериев: процесс (тип модели) – моделируемое воздействие и/или

состояние (тип данных) – определяемые параметры.

5. Третье защищаемое положение – о большей результативности совместной калибрации по сравнению с последовательной – обосновано, главным образом, их сопоставлением на тестовом ("синтетическом") примере, построенном для участка шламохранилища Сибирского химического комбината.

Автор ограничился констатацией, что последовательная калибрация дала неверные результаты. Вполне очевидно, что, не имея данных о миграционных параметрах, не следует рассчитывать на удовлетворительный модельный прогноз качества (движения загрязнения). Но вывод о необходимости решения обратной миграционной задачи для обоснования геофильтрационной модели требует авторского анализа и комментария.

Вследствие недостоверного определения каких именно параметров решение оказалось неудовлетворительным? Почему при калибрации геофильтрационной модели без привлечения данных по концентрациям (первый этап последовательной калибрации) не удаётся добиться столь же близкого совпадения, как при совместной? Почему нельзя было продолжить последовательную (в понимании автора) калибрацию, вернувшись к геофильтрационной модели?

6. По результатам моделирования результатов опытных работ и наблюдений на участке водозабора ВПС-4 автором выделены зоны неоднородности геофильтрационных параметров. Утверждается, что без применения совместной автоматической калибрации не удалось выявить ошибку в принятой первоначально геофильтрационной схеме однородного водоносного горизонта.

По нашему мнению, роль совместной автоматической калибрации в выявлении ошибки, допущенной при схематизации, существенно преувеличена. Если две откачки на разных флангах участка дают разные результаты, то необходимость выделения двух (как минимум) зон ясна без автоматической калибрации и вообще без моделирования.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.6 – Гидрогеология (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Самарцев Всеволод Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6 – Гидрогеология.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,
руководитель геологической службы, главный научный сотрудник
АО "Гидрогеологическая и геоэкологическая компания "ГИДЭК"
Язвин Александр Леонидович

01 ноября 2022 г.

Контактные данные:

тел.: 7() 6, e-mail: alyazvin@hydec.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

25.00.07 – Гидрогеология

Адрес места работы:

105203, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Восточное Измайлово,
ул. 15-я Парковая, д. 10а, этаж 1, помещ. 3

АО «Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «ГИДЭК»

Тел.: 495-965-98-61; e-mail: info@hydec.ru

Подпись сотрудника АО "ГИДЭК" А.Л.Язвина удостоверяю:

Зав. канцелярией

Э.М.Азарова

01 ноября 2022 г.