

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»**

Актуальность избранной темы

Одним из важнейших этапов создания численных геофильтрационных и геомиграционных моделей является калибрация. Исходными данными при создании таких моделей служат результаты мониторинга (наблюдения за уровнями подземных и поверхностных вод, их расходами и химическим составом), а также результаты опытно-фильтрационных, опытно-миграционных и гидрологических работ. Такие данные не позволяют создать «точную» математическую модель, так как фильтрационные и миграционные условия неоднородны в плане и разрезе, связаны с геологическим строением массива горных пород, а имеющаяся информация характеризуют лишь локальные участки.

В такой ситуации решение серии обратных задач и корректировка (ручная или автоматическая) геофильтрационных и геомиграционных параметров и граничных условий является наиболее надежным способом доказать адекватность модели.

Методам калибрации посвящено большое число научных публикации, в несколько монографий включены объемные главы, посвященные калибрации (например, Anderson M.P. Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport, 2015). Достаточно часто обновляется и программное обеспечение для автоматической калибрации - например, появился код GeoPEST (параллельная версия PEST). Вместе с тем, единой методики для

калибрации геофильтрационных и геомиграционных параметров не существует, поэтому использование метода совместной калибрации представляется актуальным и весьма перспективным.

Научная новизна основных результатов диссертационной работы

Автором диссертационной работы разработана принципиально новая методика совместной полуавтоматической калибрации моделей для геофильтрационных и геомиграционных задач. Методика реализована на программном уровне в виде модернизации стандартных кодов PEST, Modflow и MT3DMS. Эта модернизация позволяет выполнять совместную, а не последовательную калибрацию фильтрационных и миграционных параметров.

Предложен новый подход к определению весовых коэффициентов целевой функции через введение поправки, учитывающей разницу в количестве замеров различных характеристик (например, малое количество замеров уровней подземных вод и большое относительных концентраций).

На примере Сибирского химического комбината проведено тестирование методики совместной калибрации геофильтрационной и геомиграционной моделей. Показано, что последовательная и совместная калибрации одинаково «точные» для решения фильтрационной задачи (невязки между «наблюденными» и расчетными уровнями минимальны), при этом последовательная калибрация дает неверные результаты при решении миграционной задачи (большое расхождение между «наблюденными» и расчетными концентрациями). Совместная калибрация дает гораздо более близкие значения к «наблюденным».

На примере второй тестовой задачи – калибрации профиля проводимости в однородном геофильтрационном и геомиграционном потоке (по схеме слепого эксперимента) исследовалась возможность калибрации модели с априорным и без априорного выделения зон неоднородности и при изменении весовых коэффициентов целевой функции. Показано, что имея только данные наблюдений за уровнями и концентрациями можно

охарактеризовать пространственную неоднородность водоносного горизонта (при известной активной пористости).

В целом, решением двух синтетических тестовых задач показана более высокая точность совместной калибровки.

Апробация методики выполнена при совместной обработке данных откачек и режимных наблюдений для переоценки запасов водозабора ВПС-4 города Воронежа и при создании геофильтрационных моделей подземного стока малых рек (р. Хворостань и Судогда).

По результатам применения совместной калибровки при корректировке трех моделей водозабора ВПС-4 была уточнена методика, в частности, был сделан вывод о необходимости введения пространственной неоднородности калибруемых параметров.

Для бассейна реки Хворостань была выполнена совместная калибровка по данным гидрологических работ (гидрометрических замеров расходов рек) и режимных наблюдений (за уровнями подземных вод), установлена высокая зависимость ущерба речному стоку от неоднородности фильтрационных свойств русловых отложений.

При совместной калибровке для бассейна реки Судогда использовались данные гидрологических работ (замеры расходов рек), замеров уровней подземных вод и величины эвапотранспирации. Подобраны весовые коэффициенты целевой функции (включающие оценку веса априорной информации о величине сокращения эвапотранспирации). Откалиброванная модель позволила с более высокой точностью оценить балансовые составляющие бассейна р. Судогда.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Все выдвигаемые научные положения достаточно хорошо обоснованы, достоверность полученных диссертантом результатов, выводов и рекомендаций подтверждается как путем решения синтетических задач по схеме слепого эксперимента, так и повышением адекватности моделей

реальных объектов с различными типами наблюдаемых характеристик и плотностью наблюдений.

Практическая ценность диссертационной работы

Выполненные автором работы по калибровке геофильтрационных моделей водозабора ВПС-4 позволили провести переоценку запасов подземных вод, откалиброванная модель может стать основой для создания постоянно-действующей модели, которая должна использоваться для оперативного прогноза изменения гидродинамической ситуации при различных сценариях эксплуатационной нагрузки на водозаборе.

Калибровка моделей бассейнов рек Хворостань и Судогда показывает ценность совместного использования гидрологических и гидрогеологических данных. Совместная калибровка позволила повысить адекватность геофильтрационных моделей, оценить величину ущерба речному стоку и выполнить оценку запасов подземных вод. Разработанная автором методика успешно апробирована на трех объектах, существенно отличающихся друг от друга по гидрогеологическим условиям.

Замечания

1. В тексте диссертации есть выводы по всем главам, кроме главы 2. По мнению оппонента эта глава является ключевой в диссертации, так как описывает теоретическую часть методики совместной калибровки и практический алгоритм ее реализации. Отсутствие выводов по этой главе является редакционной недоработкой и усложняет понимание сути задач, решаемых в следующих главах.
2. Автор указывает (стр. 211), что в современных пакетах моделирования (таких как Processing Modflow 8 и других) отсутствует возможность калибровки миграционных параметров с помощью инструментов PEST (модуля автоматической оценки параметров). Это утверждение неверно, т.к. в такие пакеты моделирования как, например, GroundWater Vistas 8 включены версии PEST, позволяющие калибровать и фильтрационные, и миграционные параметры. Кроме того, существует версия GeoPEST,

- позволяющая проводить параллельную калибровку одновременно на нескольких компьютерах, объединенных в кластер локальной сети.
3. На странице 116 указано, что калибровка проводилась с помощью программы UCODE. В приложении к диссертации описан принцип модификации PEST для совместной калибровки фильтрационной и миграционной задач. В тексте диссертации указывается (стр. 116, 128), что используются три модели и необходимо сформировать управляющий файл (стр. 138), т.е. косвенно понятно, что был модернизирован код UCODE, однако никаких ссылок на то, как это было сделано, как он применялся и, главное, в чем отличие от модификации PEST, нет.
 4. Из текста диссертации непонятно – почему критерий нормального распределения невязок стал применяться только для задачи, связанной с бассейном р. Хворостань. По мнению оппонента, в тексте диссертации не хватает общей блок-схемы, иллюстрирующей последовательность совместной калибровки, проверки чувствительности, анализа на нормальность и т.д. Рисунок 2.3 ответа на этот вопрос не дает.
 5. Из текста нельзя понять, какая постановка использовалась при решении реальных задач (Воронеж, бассейны малых рек) - не описаны принципы схематизации модельных пластов (напорный, безнапорный, напорно-безнапорный с постоянной/переменной проводимостью).
 6. В главе 5 на рис. 5.18 указаны скважины 1, 2, 1г, 2г и приведены данные по уровням, а на рис. 5.19 указаны скважины с другими номерами. Непонятно, по данным каких скважин осуществлялась калибровка. На рис. 5.20 сложно понять условные обозначения параметров, используемых при оценке чувствительности.
 7. В списке литературы ряд источников оформлен не по правилам – нет количества страниц (это касается элементов списка под номерами: 73, 75, 99, 113, 119, 125, 146).

Общее заключение

В целом диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение важной задачи совместной калибрации геофильтрационных и геомиграционных параметров.

Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, 2 приложений и списка использованных литературных источников, который включает 161 наименование. Объем работы составляет 216 страниц машинописного текста. Диссертация написана ясным, логичным языком, оформление работы отличное.

Материалы диссертации изложены в 11 печатных работах, 7 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, включенных в п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова. Материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в публикациях автора.

Указанные выше 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:

кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
геоинформационных и цифровых технологий в недропользовании
ФГБУН ИГД УрО РАН

Рыбников Пётр Андреевич

04.11.2022

Контактные данные:

тел.: +7(350) 30, e-mail: rybnikovpa@igduran.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

25.00.07 Гидрогеология

Адрес места работы:

620075, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58, каб. 505, лаборатория геоинформационных и цифровых технологий в недропользовании
Тел.: +73433507149; e-mail: direct@igduran.ru

Подпись сотрудника ИГД УрО РАН

Рыбникова Петра Андреевича

Удостоверяю

04.11.2022

И. В. Макашова
отдела



Штамп И. В.