

Верификация численных моделей ненасыщенной фильтрации и геомиграции в зоне аэрации

Сускин Виктор Викторович

Аспирант

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия

E-mail: suskinvictor@mail.ru

Данная работа возникла в связи с сотрудничеством института проблем безопасного развития атомной энергетики (ИБРАЭ) РАН и института радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN, Франция). В рамках этого сотрудничества производилась кросс-верификация расчётных кодов GeRa (ИБРАЭ) и Melodie (IRSN) для задач ненасыщенной фильтрации.

Фильтрация в верификационных тестах описывалась уравнением Ричардса, сформулированном с учетом упругостей среды и жидкости, проявляющихся в насыщенном режиме (в терминах влагосодержание-высота всасывания). Уравнение переноса в зоне аэрации с учетом сорбции и радиоактивного распада учитывает изменение влагосодержания.

В рамках сотрудничества были выполнены следующие тесты: 1) одномерная ненасыщенная фильтрация в сухой грунт, 2) задача о капиллярном барьере, 3) одномерная насыщенно-ненасыщенная фильтрация и массоперенос, 4) двумерная насыщенно-ненасыщенная фильтрация и адвективно-дисперсионный перенос в неоднородной зоне аэрации с учетом радиоактивного распада, 5) течение от линейного источника в ненасыщенной области, 6) фильтрация в дренированной насыщенно-ненасыщенной области.

Подробнее в данных тезисах остановимся на тесте 4. Он интересен присутствием в зоне аэрации неоднородной линзы.

Разрез тестовой задачи показан на рисунке 1, на котором отражена расчетная область, имеющая размеры 6,47 м x 4,06 м. Как следует из рисунка 1, зона аэрации сложена неоднородными породами. Голубым цветом показаны хорошо проницаемые пески, а розовым - менее проницаемые пылеватые грунты. Коэффициент фильтрации песка при полном насыщении равен 12,4 м/сут, пылеватого грунта - 0,7 м/сут. В левом и правом нижних углах задано граничное условие первого рода со значением напора $H = -4,5$ м. Отметка -4,5 м соответствует нулевому давлению, и выше этой отметки начальные давления были заданы гидростатическими. На верхней границе задано инфильтрационное питание 0,01 м/сут. В углублении, которое можно интерпретировать как хранилище отходов, концентрация инфильтрата 1000 мг/л, в остальной области на верхней границе она равна нулю. Расчетное время 110 суток.

Для моделирования данного теста использовалась треугольно-призматическая расчетная сетка со средним шагом в плоскости X-Z 0,1 м, содержащая 4522 ячейки. Моделирование потребовало 1809 шагов по времени, шаг варьировался от 0,000125 дня в начале расчета до 1 дня в конце расчета (шаг был ограничен сверху 1 днем) с увеличением в процессе расчета. Отметим, что параметры пылеватого грунта таковы, что с самого начала моделирования область, занятая им, близка к насыщению. В процессе моделирования, несмотря на более высокие фильтрационные свойства песков в насыщенном состоянии, именно эта зона становится наиболее проводящей благодаря высокому насыщению пор водой. Зона пылеватых грунтов становится проводящим коллектором, направляя основную часть потока в правую часть области. При этом на нижней границе пылеватого грунта и песка образуется капиллярный барьер, препятствующий прохождению жидкости непосредственно под зону, занятую пылеватым грунтом.

Иллюстрации

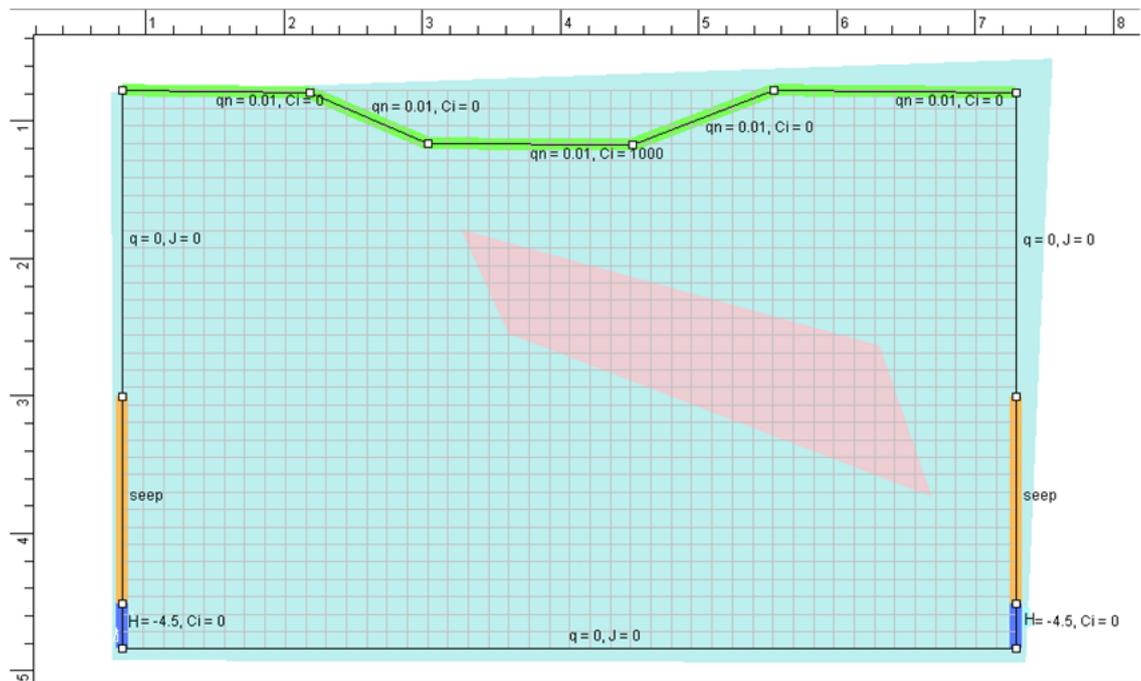


Рис. 1. Дискретизация тестовой задачи 4

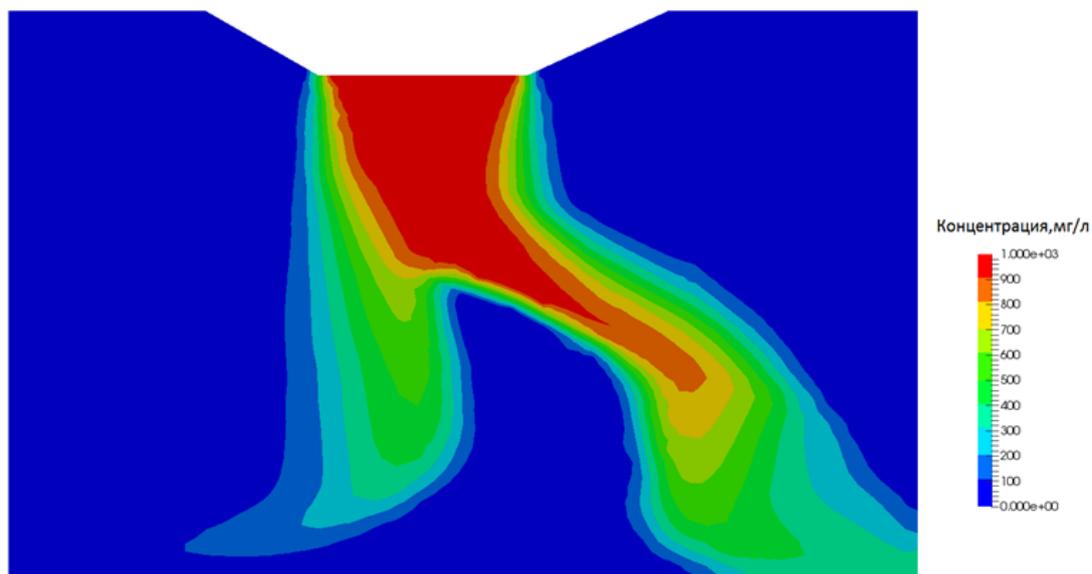


Рис. 2. Ореол загрязнения в расчетной области в момент $T=110$ суток, полученный с помощью GeRa без учета распада

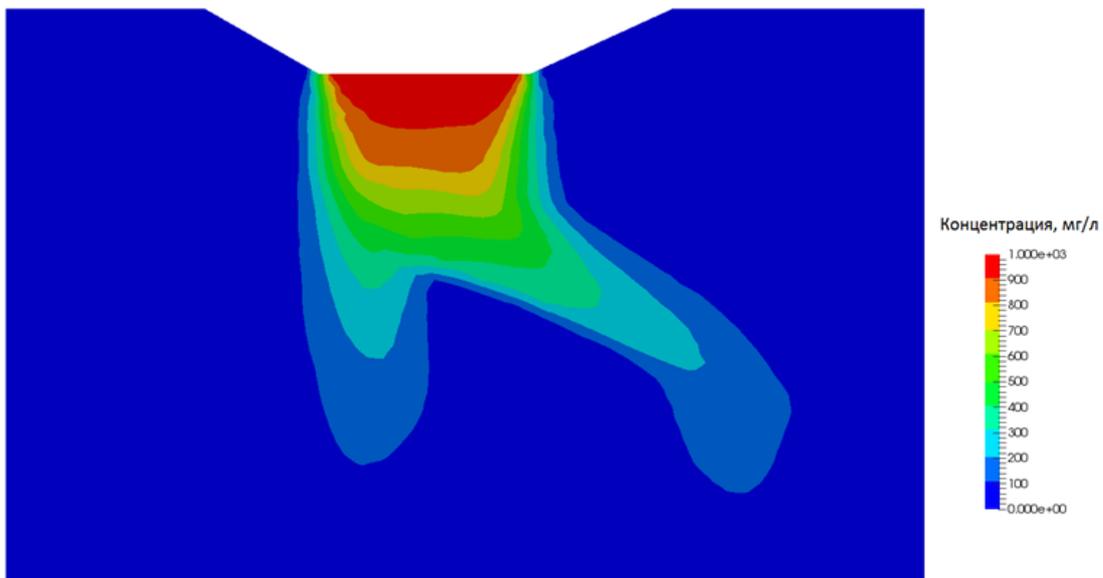


Рис. 3. Ореол загрязнения в расчетной области в момент $T=110$ суток, полученный с помощью GeRa с учетом распада