

УДК 556.383/388:504(571.1)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕТЕКАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД В НАПОРНЫЕ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА¹

© 2021 г. А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

E-mail: belanna47@mail.ru, helenalenaru@gmail.com

Поступила в редакцию 14.07.2021. После доработки 30.08.2021. Принята к публикации 01.09.2021.

Цель статьи – изучение методом математического моделирования процессов миграции различных загрязняющих веществ, включая радионуклиды, от слабо до сильно сорбируемых, происходящих в грунтовых и напорных подземных водах. Объектом исследований является часть территории Калужской области, наиболее пострадавшая от аварии на Чернобыльской атомной станции.

С использованием математической программы MT3D было проведено моделирование процессов загрязнения подземных вод и, главным образом, напорных вод в Калужской области в зоне радиоактивного следа по 3 сценариям развития процессов, с учетом различных загрязняющих веществ и массопереноса.

В процессе моделирования была проведена серия численных экспериментов по возможным сценариям загрязнения подземных вод: 1 сценарий – загрязнение сильно сорбируемыми веществами; 2 сценарий – загрязнение сильно сорбируемыми веществами, включая радиоактивные; 3 сценарий – загрязнения слабо сорбируемыми веществами. При этом рассматривался вариант, неблагоприятный для экологического состояния напорных подземных вод в связи с недостаточной непроницаемостью водоупора по отношению к проникновению загрязненных вод из грунтового водоносного горизонта. Это может быть обусловлено природным литологическим строением (присутствием прослоев, линз песков, супесей, недостаточной мощностью), а также техногенными факторами (плохо изолированные скважины, колодцы и другие инженерные сооружения, вскрывающие напорный водоносный горизонт). Всё вышеперечисленное относится к «быстрым путям миграции», которые приводят к проникновению многих загрязняющих веществ в напорные водоносные горизонты, содержащие пресные питьевые воды.

Для изучения миграции загрязняющих веществ на ранее созданной нами численной модели MT3D мы выбрали два разреза. Они направлены по линиям тока подземных вод от водораздела к области разгрузки – рекам. Анализ экологической ситуации проводился для четырех расчетных сроков: 30, 60, 100 и 300 лет (увязка с периодами полураспада радионуклидов и сроков действия водозаборов), для четырех коэффициентов распределения сорбции (K_p) ЗВ: 6, 26, 200 и 1000 л/кг для радионуклидов с распадом и других токсичных сильно сорбируемых веществ без

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-S52003 «Экологическая безопасность АЭС при штатной и чрезвычайной ситуациях с оценкой неопределенности при захоронении ядерных отходов и надежности инженерных барьерных систем» и по Государственному заданию? номер Программы АААА-А18-118022090104-8 «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности».

распада; и 0,5, 1,0, 3,0 л/кг для слабо сорбируемых веществ. Оценивалась экологическая ситуация в первом слое – грунтовых водах, во втором – водораздельном слое, в поровых растворах, и в третьем слое – напорных подземных водах.

Помимо двух разрезов для анализа экологической ситуации были выбраны несколько точек.

В результате моделирования проведено сравнение всех сценариев развития процессов загрязнения и анализ факторов, их определяющих. Кроме этого рассматривался процесс диффузии загрязняющих веществ с точки зрения его возможностей и влияния на миграцию веществ.

Таким образом, главными факторами формирования процессов миграции загрязняющих веществ являются в первую очередь их радиоактивный распад, во вторую – их сорбционные свойства, а в третью – гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории. Также небольшое значение имеет процесс диффузии.

Рассмотренная ситуация свидетельствует о том, что водоупоры не являются полной гарантией защищенности напорных подземных вод от загрязнения.

Ключевые слова: грунтовые воды, подземные напорные воды, моделирование процессов миграции, загрязняющее вещество, радионуклиды, сорбция, молекулярная диффузия, радиоактивный распад.

DOI: 10.24412/2542-2006-2021-3-156-191