

===== **МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ** =====
И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 556.383/388:504(571.1)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ
МИГРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ
КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗОНЕ РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА**

© 2023 г. А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко, К.Г. Власов

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: anabel@iwr.ru, belanna47@mail.ru

Поступила в редакцию 27.02.2023. После доработки 25.05.2023. Принята к публикации 26.05.2023.

Цель статьи – изучение методом математического моделирования процессов миграции различных, от слабо до сильно сорбируемых загрязняющих веществ (ЗВ), включая радионуклиды, из грунтовых в напорные подземные воды через отдельный слой – водоупор различной степени проницаемости. В практике гидрогеологических исследований существует такое направление, как поиски и разведка месторождений подземных вод. Первая стадия – поиск, осуществляется на практически неизученных территориях, а вторая – разведка, ограничивается территориями, где по данным первой стадии выявляют перспективные территории.

Данные исследования можно отнести к первой, поисковой стадии, когда изученность территории в рамках заданной тематики практически отсутствует для выбранной территории Калужской области, пострадавшей от аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС). Поиск был сосредоточен на изучении миграции загрязняющих веществ в грунтовых водах, а из них – через водоупор в напорных водах. Направление поиска определялось способностью водоупоров пропускать через себя ЗВ с одной стороны (самые неблагоприятные для подземных вод условия), а с другой – не пропускать ЗВ (благоприятные условия). В природных и в техногенных условиях оба случая не существуют по отдельности (они сливаются), что требует хорошей геолого-гидрогеологической изученности территории, отсутствующей для изучаемой местности. Наши исследования были проведены по обоим направлениям поисковых исследований, для первого случая водоупор принимался проницаемым, для второго – непроницаемым.

Для каждого типа поисковой стадии были проведены как бы разведочные численно-экспериментальные исследования (численный эксперимент) с применением математического моделирования. Объектом исследований является часть территории Калужской области, наиболее пострадавшая от аварии на ЧАЭС. Исследования по первому направлению были завершены и опубликованы ранее (Белоусова, Руденко, 2021а, б). Результаты второй стадии и обобщающие результаты исследований обоих поисковых направлений приводятся в настоящей статье. На данном этапе продолжается исследование процессов миграции различных ЗВ, включая радионуклиды, из грунтовых вод в напорный водоносный горизонт через непроницаемый водоупор по тем же разрезам, что и для первого направления, но по несколько измененным сценариям и с другим набором коэффициентов распределения сорбции ЗВ (K_d).

Численные эксперименты второго этапа проводилось по следующим сценариям: 1 – (1-3-1), 2 – (1-6-1), 3 – (1-10-1), 4 – (6-60-6), 5 – (26-260-26), 6 – (100-1000-100). Первая цифра – значение K_d (л/кг) в первом слое, вторая – во втором слое, третья – значение в третьем слое. Такой подбор коэффициентов распределения обусловлен заданием их

значений на порядок больше в водоупоре, чем в верхнем и нижнем водоносных горизонтах.

Каждый сценарий проводился для двух условий: с радиоактивным распадом и без распада. За начальные условия была принята степень загрязнения грунтовых вод по аналогии со степенью загрязнения поверхности земли в зоне радиоактивного следа на изучаемой территории, хотя в природных условиях на этой территории в грунтовых водах такого распространения загрязнения ни радионуклидами, ни другими ЗВ не наблюдается. Концентрации ЗВ могут быть заданы в г/л, ПДК, фоновых концентрациях; в нашем случае использовались ПДК. Коэффициенты распределения сорбции различных ЗВ подбирались из известных значений для территорий Брянской области (Белоусова, Руденко, 2021а, 2021б), для радионуклидов значения K_d в основном относятся к ненасыщенной зоне.

Установлено, что главными факторами формирования процессов миграции ЗВ являются в первую очередь радиоактивный распад ЗВ, во вторую – сорбционные свойства ЗВ, а в третью – гидродисперсия потоков подземных вод, которая в свою очередь зависит от геолого-гидрогеологических условий изучаемой территории и степени проницаемости водоупора. Рассмотренная ситуация свидетельствует о том, что водоупоры не являются полной гарантией, обеспечивающей защищенность напорных подземных вод от загрязнения.

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

Благодарности. Авторы выражают благодарность безвременно ушедшей сотруднице Миняевой Ю.В. за подготовку материалов к данной статье.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем РАН: тема № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий».

DOI: 10.24412/2542-2006-2023-2-5-39

EDN: IBYXTQ