

УДК 504.064+614.31

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ

А. В. ЧИКАЛКО

(Представлено: Е. С. БОРОВКОВА)

Данная статья представляет результаты разработки программы для наглядного изображения глубины распространения радионуклидов в различных типах почвы. В ходе работы получена программа для моделирования миграции радионуклидов в почвенных слоях.

Введение. Радиационное загрязнение — серьезная экологическая проблема, возникающая из-за ядерных испытаний, аварий на АЭС и неправильного обращения с радиоактивными отходами. Одним из известных примеров является Чернобыльская катастрофа 1986 года, которая затронула Беларусь, получившую около 70% радиоактивных осадков.

Основные радионуклиды, такие как цезий-137 и стронций-90, представляют опасность для здоровья человека и экосистемы. Цезий-137 имеет полураспад около 30 лет и накапливается в почве и растительности, что угрожает сельскому хозяйству. Стронций-90 может накапливаться в костной ткани, повышая риск онкологических заболеваний. Долгосрочные последствия радиационного загрязнения включают мутации ДНК и ухудшение здоровья населения, а также негативное влияние на экосистемы и биоразнообразие. Для борьбы с этой проблемой необходим мониторинг уровней радиации и разработка стратегий очистки загрязненных территорий, а также информирование населения о рисках.

Компьютерное моделирование играет ключевую роль в оценке загрязненности радиоактивными изотопами, предоставляя мощные инструменты для анализа и прогнозирования распространения радиации в окружающей среде. С помощью математических моделей ученые могут симулировать различные сценарии загрязнения, учитывая такие факторы, как метеорологические условия, география местности и свойства радиоактивных изотопов. Это позволяет не только выявлять зоны с высоким уровнем загрязнения, но и оценивать потенциальные риски для здоровья населения и экосистем.

В ходе работы было принято решение создать программу для моделирования миграции радионуклидов в почвенных слоях. Результатом стало приложение, позволяющее визуализировать процесс распространения цезия-137, стронция-90 и радона-222 в почве.

Теоретическая часть. Радиация представляет собой процесс излучения энергии в форме волн или частиц от радиоактивных источников. Она делится на ионизирующую, которая способна ионизировать атомы и молекулы, и неионизирующую, не обладающую этой способностью. Радионуклиды — это атомы с нестабильным ядром, которые в ходе радиоактивного распада выделяют радиацию, например, цезий-137, стронций-90 и другие.

Радионуклиды могут попадать в почву из различных источников, и это происходит несколькими путями. Радиоактивные частицы могут осаждаться на землю с атмосферными осадками, такими как дождь или снег. Это случается, когда радионуклиды, находящиеся в атмосфере, конденсируются и выпадают на поверхность. Примеры таких осадков включают радиоактивные частицы, выброшенные в результате ядерных испытаний или аварий на атомных электростанциях. Кроме того, промышленные предприятия, использующие радиоактивные материалы, могут выбрасывать их в атмосферу, что приводит к загрязнению окружающей среды. Аварии на атомных электростанциях или других объектах, связанных с ядерной энергетикой, также могут приводить к значительным выбросам радионуклидов. Некоторые сельскохозяйственные практики могут включать использование радиоактивных удобрений или пестицидов, что может привести к накоплению радионуклидов в почве. Кроме того, строительные материалы, содержащие радионуклиды (например, гранит), также могут способствовать их попаданию в почву.

Методы исследования. Одной из основных математических моделей, применяемых для изучения перемещения радионуклидов в почвенной среде, является уравнение диффузии. Это уравнение описывает процесс распространения радионуклидов в почве под воздействием градиента их концентрации.

Общий вид уравнения диффузии можно записать следующим образом [2]:

$$R = \sqrt{4 \cdot D \cdot t}, \quad (1)$$

где R – глубина распространения (м), t – время (с), D – коэффициент диффузии (m^2/c).

Это уравнение позволяет предсказывать глубину распространения в почвенной среде в зависимости от времени, что является важной информацией для разработки стратегий мониторинга и контроля за радиационной обстановкой в окружающей среде.

Коэффициент диффузии же вычисляется по формуле [3]:

$$D = \left(\frac{q}{\rho_A A}\right)^2 \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии ($\text{м}^2/\text{с}$), q – плотность потока выбранного радионуклида с поверхности грунта ($\frac{\text{Бк}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$), A – удельная активность радионуклида (Бк), ρ – пористость грунта (отн. ед.), λ – постоянная распада (с^{-1}).

Удельная активность радионуклида высчитывается по следующей формуле:

$$A = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (3)$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада (с), m – масса радионуклида (г), μ – молекулярная масса (г/моль), N_A – постоянная Авогадро (моль^{-1}), t – время распространения (с).

Учитывая, что при выборе радионуклида и почвы, у нас появляются значения половины из указанных переменных, нам остается только узнать массу образца и время распространения. Эти данные считаются начальными и набираются вручную для вычисления требуемого результата.

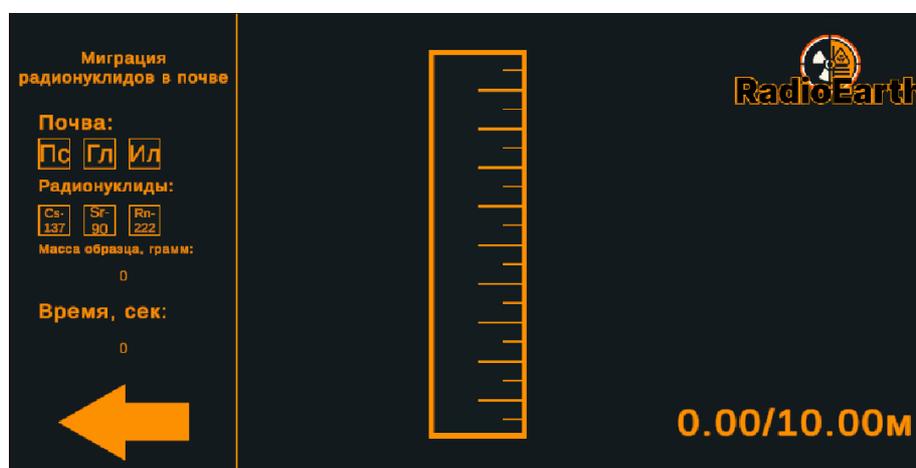


Рисунок 1. – Рабочий интерфейс программы для расчета глубины миграции радионуклидов

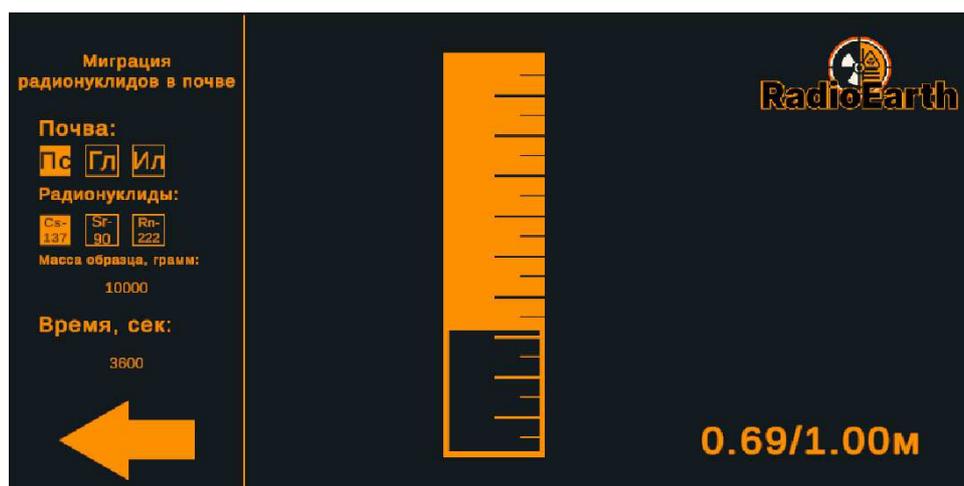


Рисунок 2. – Пример работы программы для расчета глубины миграции радионуклидов

Тип почвы выбирается нажатием на кнопки под соответствующей надписью, где Пс – песчаная, Гл – глиняная и Ил – илистая почвы. Тип радионуклида выбирается нажатием на кнопку под сектором «Радионуклиды». После этого в соответствующие позиции вручную набираются начальные данные – масса и время миграции.

Шкала глубины автоматически масштабируется с посчитанными данными и подстраивается под них, делая визуализацию более комфортной для понимания и заключения выводов о величине загрязнения.

Заключение. В ходе работы мы создали программу, включающую визуализацию данных, что позволяет оценить распределение радионуклидов во времени и пространстве. В будущих работах программу можно расширить, добавив вывод графиков миграции радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-источник: <https://chernobyl.mchs.gov.by/kontrol-radioaktivnogo-zagryazneniya/>
2. Интернет-источник: <https://studfile.net/preview/9367060/page:3>
3. Интернет-источник: <https://gruntovozov.ru>
4. Архангельский В.И., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена: практикум/Учебное пособие М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009, 352 с.
5. Игнатов П.А., Верчеба А.А. Радиогеоэкология и проблемы радиационной безопасности: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений Волгоград: Издательский Дом "Ин-Фолио", 2010, 256 с.
6. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена: учеб. Для вузов М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010, 384 с.
7. Кутьков В.А., Поленов Б.В., Черкашин В.А. Радиационная безопасность и радиационный контроль. Учебное пособие. Том 2. 2 экземпляра Обнинск: НОУ "ЦИПК", 2008, 244 с.
8. Маврищев В.В. Радиозкология и радиационная безопасность: пособие для студентов вузов Минск: ТетраСистемс, 2010, 208 с.
9. Маргулис У.Я., Брегадзе Ю.И., Нурлыбаев К.Н. Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2010, 320 с.