

11. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику, ч. 2. М.: Наука, 1978.
12. Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ-импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984.

Поступила в Редакцию 8.11.95

УДК 621.039.75

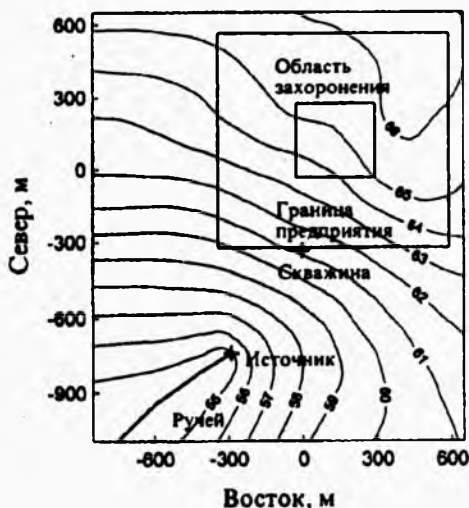
ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Серебряков Б.Е. (ГНЦ РФ — Институт биофизики)

Настоящая работа является естественным продолжением публикации [1], в которой по заданию МАГАТЭ рассчитана миграция радионуклидов из приповерхностных ПЗРО в водоносный горизонт. В ней рассчитана миграция радионуклидов в водоносном горизонте за границу ПЗРО и оценена доза облучения населения при использовании грунтовых вод теми же радионуклидами (^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{230}Th и его дочерние продукты: ^{226}Ra , ^{210}Pb и ^{210}Po). В расчетах использованы оценки выхода радионуклидов в водоносный горизонт из бетонных могильников и земляных траншей, представленные в работе [1].

Содержание радионуклидов в грунтовых водах рассчитывалось по модели, разработанной в Институте биофизики. Модель миграции радионуклидов основана на численном решении уравнения переноса [1]. Задача позволяет использовать двумерные решения в горизонтальной плоскости для концентрации, проинтегрированной по мощности водоносного горизонта.

Особый интерес задания МАГАТЭ по расчету дозы состоит в том, что в нем были указаны реальные параметры одного из трех ныне действующих региональных могильников США, расположенного в графстве Барнуэлл (шт. Южная Каролина): геологическое строение района, данные о геохимии, гидрологии, гидрогеологии, географии, демографии и метеорологии. В задании по расчету выхода радионуклидов в водоносный горизонт параметры были однозначно определены, в рассматриваемом же случае оценки дозы некоторые величины не заданы, о других же имелись отдельные экспериментальные данные.



Р и с. 1. Карта пьезоизогипс рассматриваемого района

Пьезометрический напор полагался равным уровню грунтовых вод. К заданию прилагалось около 2 тыс. измерений уровня грунтовых вод 145 скважин. Для расчета эти данные усредняли, полученная таким образом карта пьезоизогипс в локальных географических координатах, принятых в задании, приведена на рис. 1.

В гидрогеологическом строении участка расположения могильника выделяют несколько зон, сложенных различными песчаными породами, которые разделены линзами слабопроницаемых глин. Полагалось, что миграция нуклидов в водоносном горизонте происходит только в верхней зоне 1 мощностью 10 м.

По коэффициентам фильтрации K были даны две группы результатов измерений для отдельных скважин, различающиеся между

собой примерно в 10 раз. Для оценки репрезентативности данных проведены расчеты расхода воды (q) для источника, в районе которого наблюдается дренирование зоны 1 и верхней части зоны 2 (см. рис. 1):

$$q = \int -\operatorname{div}(V_1 + V_2) dx dy, \quad (1)$$

где V_1 , V_2 — суммарный фильтрационный поток в зоне 1 и 2, $\text{м}^2/\text{с}$. Численное интегрирование проводилось в окрестности источника, откуда происходит его питание за счет высачивания грунтовых вод.

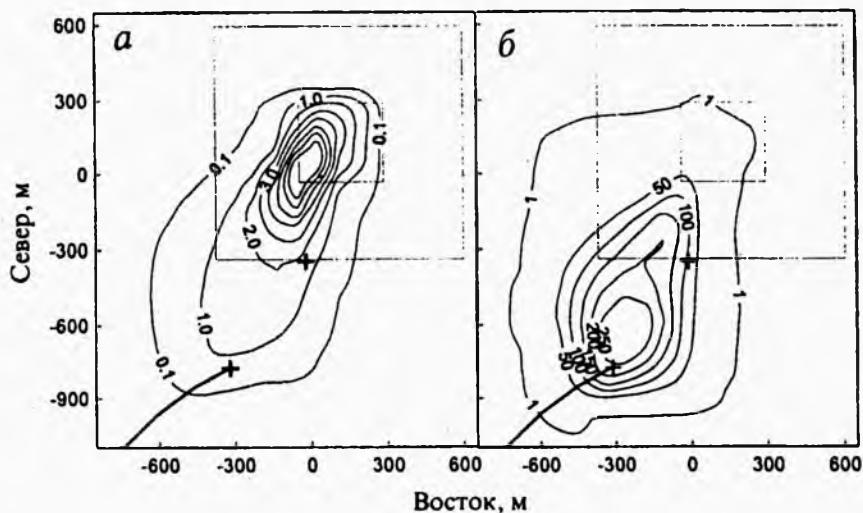
В результате было получено, что заданный расход источника $q = 0,011 \text{ м}^3/\text{с}$ может быть обеспечен при $K = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ для зоны 1 и $K = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ для зоны 2 (проницаемость зоны 2 примерно в 5 раз больше, чем зоны 1). Эти значения в 10—100 раз больше средних, приведенных в задании МАГАТЭ (имеются отдельные измерения, превышающие полученные).

Поскольку при оценке дозы облучения населения используется консервативный подход, т.е. рассчитывается максимально возможная доза, был использован рассчитанный коэффициент фильтрации. При этом предполагалось, что 20% воды, загрязненной нуклидами, поступает в источник из зоны 1, 80% из зоны 2.

Коэффициенты распределения для водоносного горизонта задавались такими же, как и для естественных грунтов зоны аэрации при расчете выхода радионуклидов из ПЗРО [1]. Вынос радионуклидов из водоносного горизонта учитывался аналогично формуле (1). Активная пористость предполагалась равной 0,2, т.е. меньше общей пористости 0,3, приведенной в задании, поскольку согласно данным [2] «застойная» пористость для песков составляет 0,2 общей.

Параметры гидродинамической дисперсии не задавались. Согласно данным [3] для песчано-гравийных отложений при масштабе фильтрации от сотен метров до нескольких километров продольная дисперсность составляет десятки метров. В монографии [2] указано, что поперечная дисперсность примерно в 5 раз меньше продольной. Поэтому предполагалось, что продольная дисперсность равна 50, поперечная 10 м.

На рис. 2 приведены изолинии распределения трития в водоносном горизонте для моментов времени, когда наблюдается его максимальная концентрация в воде источника. Видно, что для бетонных могильников максимум концентрации расположен в области захоронения. Для захоронения же в земляные траншеи наблюдается движение вышедших в водоносный горизонт радионуклидов в виде расплывающегося импульса.



Р и с. 2. Интегральная концентрация трития в водоносном горизонте ($\text{кБк}/\text{м}^2$) для захоронения в бетонных могильниках через 100 (а) и в земляных траншеях через 50 лет (б)

В районе источника происходит высачивание воды, а вместе с ней и радионуклидов из зоны 1 в ручей. Дальше радионуклиды фактически не распространяются.

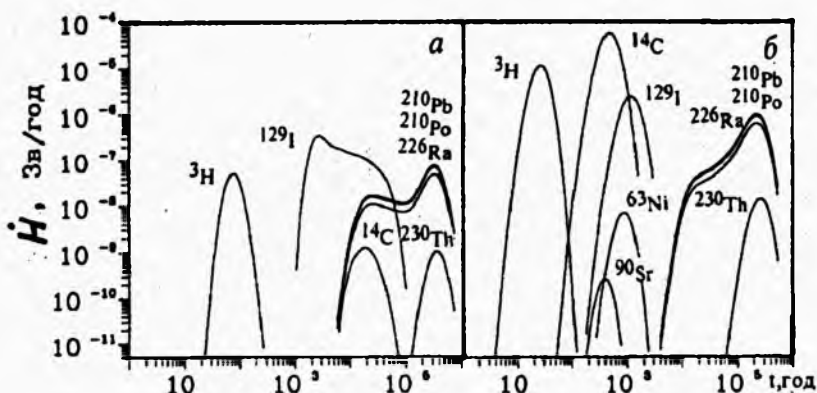
В задании МАГАТЭ предлагалось рассчитать возможную эффективную дозу на население при использовании грунтовых вод из скважины, расположенной на границе с ПЗРО, и поверхностных вод из источника (см. рис. 1). Для расчета дозы была применена разработанная в США модель GENII [4], учитывающая рекомендации Публикации № 26 МКРЗ [5]. Использовались только средние параметры по рациону питания и другим величинам, входящим в расчеты дозы по пищевым цепочкам.

Рассчитывались возможные пути внешнего и внутреннего облучения, учитываемые моделью GENII, исключая дозу от потребления злаковых культур (даже при самом консервативном подходе трудно полагать, что вода из ручья или скважины идет на полив злаковых, и эти продукты потребляются местным населением). При расчете эффективной дозы принимались дозовые коэффициенты согласно Публикации № 61 МКРЗ [6]. Различия в сценариях использования грунтовых и поверхностных вод по модели GENII заключаются только в том, что для поверхностных вод добавляется доза от потребления рыбы и моллюсков, а также доза внешнего облучения, связанная с отдыхом на воде.

На рис. 3 представлены изменения со временем эффективной дозы для случая использования грунтовых вод из скважины. Видно, что сравнительно короткоживущие ^{90}Sr и ^{63}Ni для случая бетонных могильников дают дозу облучения несоизмеримо малую по сравнению с остальными рассматриваемыми нуклидами (они даже не показаны на рисунке). В то же время тритий в грунтовых водах появляется раньше других нуклидов, а связанная с ним доза достаточно велика. Это происходит потому, что по условиям задачи предполагается, что тритий не сорбируется грунтами (его коэффициент распределения равен нулю).

Для сценария использования воды из источника приведем максимальную эффективную дозу (Зв/год) и время максимума (год) при захоронении в бетонные могильники: ^3H 10^{-9} , 100; ^{14}C 10^{-9} , 20 000; ^{63}Ni $8 \cdot 10^{-27}$, 3500; ^{90}Sr $3 \cdot 10^{-25}$, 1300; ^{129}I $3 \cdot 10^{-8}$, 3700; ^{230}Th 10^{-11} , $6 \cdot 10^5$; ^{226}Ra $6 \cdot 10^{-10}$, $5 \cdot 10^5$; ^{210}Pb 10^{-8} , $5 \cdot 10^5$; ^{210}Po $7 \cdot 10^{-10}$, $5 \cdot 10^5$ и земляные траншеи: ^3H $2 \cdot 10^{-7}$, 50; ^{14}C $4 \cdot 10^{-5}$, 90; ^{63}Ni $3 \cdot 10^{-13}$, 2000; ^{90}Sr $2 \cdot 10^{-18}$, 770; ^{129}I $2 \cdot 10^{-7}$, 2000; ^{230}Th $2 \cdot 10^{-10}$, $5 \cdot 10^5$; ^{226}Ra $7 \cdot 10^{-9}$, $4 \cdot 10^5$; ^{210}Pb 10^{-7} , $4 \cdot 10^5$; ^{210}Po $9 \cdot 10^{-9}$, $4 \cdot 10^5$. В обоих случаях доза в основном обусловлена пероральным поступлением радионуклидов в организм человека, внешнее облучение и ингаляционный путь составляют менее 1%.

По заданию МАГАТЭ для каждого нуклида указан путь облучения, дающий максимальную рассчитанную дозу, и его вклад в процентах. При использовании грунтовых вод основной вклад в дозу вносят следующие продукты питания: ^3H — питьевая вода



Р и с. 3. Временные вариации эффективной дозы для захоронения в бетонных могильниках (а) и земляных траншеях (б)

(47%), ^{14}C — молоко и мясо (по 32%), ^{63}Ni — листовые овощи, корнеплоды, мясо и молоко (по 22%), ^{90}Sr — корнеплоды (39%), ^{129}I — молоко (68%), ^{230}Th — мясо (42%), ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po — питьевая вода (33, 38, 35%). Для поверхностных вод: ^3H — питьевая вода (47%); ^{14}C , ^{63}Ni — рыба (90, 42%), ^{90}Sr — корнеплоды (32%), ^{121}I — молоко (62%), ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb — рыба (35, 27, 94%), ^{210}Po — питьевая вода (26%).

Делать какие-либо выводы о безопасности регионального могильника в графстве Барнуэлл по приведенным расчетам нельзя, так как содержание радионуклидов в захоронении и многие параметры в задании МАГАТЭ приняты произвольно.

Из представленных данных следует, что основной проблемой при оценке дозы облучения населения от приповерхностного захоронения радиоактивных отходов является надежное определение параметров, контролирующего распространение радионуклидов в окружающей среде. В данном случае это в основном фильтрационные и сорбционные свойства грунтов и защитных барьеров. Важным является также изменение этих свойств со временем. Надежный расчет миграции радиоактивных загрязнений в окружающей среде и обусловленной ими дозы может стать такой же однозначно решаемой задачей, как, например, инженерные расчеты конструкций или сооружений, только при наличии соответствующих коэффициентов.

В России при проведении мониторинга окружающей среды в местах захоронения радиоактивных отходов основное внимание уделяется измерению содержания радионуклидов в различных объектах. Сорбционные же свойства, в частности, коэффициенты распределения в настоящее время измеряются не во всех организациях, хотя без этих данных невозможно оценить дозу облучения населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебряков Б.Е. Расчет миграции радионуклидов из мест захоронения. — Атомная энергия, 1995, т. 79, вып. 5, с. 381—386.
2. Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М.: Мир, 1971. 452 с.
3. Konikov L., Bredehoeft J. Modeling flow and chemical quality changes in an irrigated stream aquifer system. — Water Resource Res., 1974, v. 10, p. 546—562.
4. Napier B., Peloquin R., Strenge D., Ramsdell J. GENII — The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System. V. 1: Conceptual Representation. Pacific Northwest Laboratory. Washington, 1988. 176 p.
5. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ. Публикация № 26. (Пер. с англ.). М.: Атомиздат, 1978. 88 с.
6. ICRP Publication 61. Annual limits on intake of radionuclides by worker based on the 1990 recommendations. — Annals of the ICRP, 1991, v. 21, № 4, p. 1—41.

Поступила в Редакцию 21.11.95

Рефераты статей

УДК 621.039.588

Масагутов Р.Ф., Сорокин А.П., Богатырев И.Л. Моделирование физических эффектов взаимодействия расплава топлива с теплоносителем. — Атомная энергия, 1996, т. 80, вып. 1, с. 3—10.

Анализируются сценарии развития тяжелой аварии в ВВЭР, связанные с взаимодействием расплавленного топлива с теплоносителем внутри корпуса и в бетонной шахте реактора. Описана физическая модель процесса термической детонации. Анализируется перечень исходных данных для расчета паровых взрывов и диапазон их изменения. Представлены результаты расчетных оценок интенсивности процессов парового взрыва внутри корпуса и в

бетонной шахте ВВЭР и анализ факторов, определяющих этот процесс. Рис. 8, список лит. 2 назв.

УДК 621.039.54:536

Богословская Г.П., Матюхин Н.М., Михин В.И., Сорокин А.П., Степанов И.А. Переходные теплогидравлические процессы в активной зоне быстрого реактора. — Атомная энергия, 1996, т. 80, вып. 1, с. 11—15.

Представлена методика поканального теплогидравлического расчета нестационарных режимов ТВС, учитывающая влияние их формоизменения, результаты численных исследований нестационарных температурных полей в центральных зонах и данные верификационных расчетов. Рис. 4, табл. 1, список лит. 8 назв.