

УДК 621.039.743 + 621.039.7...16

**РАНЖИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ***Веселов Е.И., Коренков И.П. (МосНПО «Радон», г. Москва)*

Целью настоящей работы является разработка геоэкологических критериев оценки степени опасности радиационных объектов.

Опасность объекта для окружающей среды и человека определяют массив радиоактивных отходов, состояние матрицы, контейнера, конструкции хранилища, а также вмещающих пород и грунтовых вод. Рассматриваемые факторы взаимодействуют между собой и определяют радиоактивное загрязнение ближней зоны объекта, которое становится источником вторичного загрязнения и формирует дозовую и психологическую нагрузку на человека [1—3].

Для оценки каждого элемента и происходящих событий разработано дерево факторов и событий. Для каждой ветви дерева предложены критерии, характеризующие основные параметры или процессы опасности объекта и среды. В зависимости от фактора опасности критерии подразделены на группы А, Б, В, Г, Д. Поскольку не все критерии в равной степени отвечают за опасность объекта, они подразделены на определяющие A_1 — A_2 , B_1 — B_4 , V_1 — V_2 , Γ_1 — Γ_3 , D_1 — D_2 и дополнительные A_3 — A_4 , B_5 — B_6 , D_3 .

Критерии группы А включают следующие показатели: удельная активность радионуклидов A_1 , количество урановых и трансурановых элементов A_2 , физико-химическая форма нахождения радионуклидов A_3 , наличие токсичных веществ A_4 . Удельная активность принята в качестве критерия опасности в связи с тем, что именно она влияет на выщелачивание, сорбцию и миграцию радионуклидов. Физико-химическая форма определяет скорость и полноту перехода радионуклидов в подвижное состояние, в основном, в водный раствор. Поскольку локализованные радионуклиды находятся в нерастворимой и слаборастворимой форме или включены в матрицу, то указанный критерий может быть отнесен к дополнительным показателям опасности объекта.

Критерии группы Б характеризуют современное состояние защитных барьеров — матрицы, контейнера отходов, конструкции сооружения и вмещающих пород ближней зоны объекта. К числу критериев этой группы отнесены про-

ницаемость конструкции объекта и материала матрицы или массива отходов B_1 , скорость выщелачивания радионуклидов B_2 , фильтрационные B_3 и сорбционные параметры вмещающих пород приконтурной зоны объекта B_4 , обводнение массива отходов B_5 , водонасыщение вмещающих пород приконтурной зоны объекта B_6 . Проницаемость конструкции объекта является определяющим критерием опасности, поскольку оценивает выход жидкой фазы. Скорость выщелачивания радионуклидов из матрицы характеризует выход изотопов из массива отходов и также является определяющим критерием опасности. Фильтрационные показатели вмещающих пород оценивают скорость миграции радионуклидов. Как показали исследования, она может изменяться в широких пределах — от 0,001 до 10 м/сут [4, 5]. Данный критерий отнесен к определяющим. Сорбционные параметры характеризуют способность вмещающих пород снижать миграцию радионуклидов и являются определяющими показателями опасности. Обводнение объекта и водонасыщение вмещающих пород отнесены к дополнительным критериям.

Критерии группы В включают скорость миграции радионуклидов в окружающей среде V_1 и объемную активность в грунтовых и поверхностных водах V_2 . Оба критерия отнесены к определяющим.

Критерии группы Г включают масштаб загрязнения радионуклидами вмещающих пород Γ_1 , загрязнение вмещающих пород радионуклидами Γ_2 , мощность эквивалентной дозы на поверхности объекта, территории зоны возможного загрязнения, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения Γ_3 . Критерий Γ_1 показывает отношение объема загрязненных пород к объему отходов, локализованных в объекте. Загрязнение пород определяется превышением концентрации i -го радионуклида в грунте над его фоновым содержанием для пород изучаемой территории. Для ближней зоны объекта он может быть рассмотрен и с точки зрения отношения концентрации i -го радионуклида в грунте к удельной активности в массиве отходов изучаемого объекта. Мощность эквивалентной дозы

характеризует воздействие γ -излучения на человека, находящегося в зоне воздействия радиоактивных материалов. Все критерии группы Г отнесены к определяющим.

Критерии группы Д — расстояние до населенного пункта, источников водоснабжения и сельскохозяйственных угодий D_1 , отношение населения к радиационному объекту D_2 , наличие физической защиты и ограничения доступа на территорию объекта D_3 . Критерий D_1 оценен с точки зрения показателей миграции радионуклидов в окружающей среде. Критерий D_2 чрезвычайно сложно определить количественно. Вероятно, он будет характеризоваться двумя показателями — принимает или не принимает население размещение объекта на территории их проживания. Оба критерия приняты как определяющие.

Наличие физической защиты и ограничение доступа на территорию объекта рассматриваются как дополнительные факторы опасности, поскольку за редким исключением на всех объектах создана физическая защита и несанкционированный доступ на территорию закрыт.

По степени опасности все критерии подразделяются на пять категорий. За основу количественной оценки критериев A_1 и A_2 принято их отношение к минимально значимой активности. Предложенный показатель в соответствии с НРБ-99/2009 устанавливает нижнюю границу удельной активности i -го радионуклида, при превышении которой любой материал должен быть отнесен к радиоактивным отходам [6].

Критерий A_1 —

$$A_1 = \sum \frac{A_{vi}}{MZA_i},$$

где A_{vi} — объемная активность i -го радионуклида в массиве отходов или воде, Бк/кг или Бк/м³; MZA_i — соответствующий минимально значимый уровень активности i -го радионуклида, Бк/кг или Бк/м³.

Критерий A_2 —

$$A_2 = \sum \frac{A_{tpi}}{MZA_{tpi}},$$

где A_{tpi} , MZA_{tpi} — соответственно объемная активность i -го трансуранового радионуклида в массиве отходов или воде и его минимально значимый уровень активности, Бк/кг или Бк/м³ [6].

При этом предлагается за безопасный уровень принять показатели $A_1 \leq 1$, $A_2 \leq 1$, при которых материал не должен быть отнесен к радиоактивным отходам (табл. 1). Критерий A_3 определяется степенью растворимости радионуклида в воде. Его безопасный уровень обеспечивается при условии, что радионуклид находится в химической форме, при которой он полностью нерастворим (см. табл. 1). В основу критерия A_4 положены санитарно-гигиенические показатели — предельно допустимая концентрация вещества. Он может быть отнесен к безопасному уровню, если содержание токсичных веществ в отходах меньше или равно установленному для данных элементов предельно допустимой концентрации.

За безопасный уровень критерия B_1 принята стандартная проницаемость цементного камня (бетона) $n \cdot 10^{-4}$ м/сут, B_2 — $n \cdot 10^{-3}$ г/(см²·сут), что регламентируется ГОСТом (см. табл. 1). Безопасный уровень критерия B_3 установлен [5] и определен при исследовании миграции радионуклидов во вмещающих породах ближней зоны. Безопасный уровень критерия B_4 установлен на основе натурных исследований, результатов физического и математического моделирования распространения радионуклидов во вмещающих породах и сорбционной емкости различных горных пород. Максимальной сорбционной емкостью характеризуются глинистые породы (глины и суглинки) на уровне $n \cdot 10^6$ Бк/кг [4, 5]. Критерии B_5 и B_6 оценивают возможность выщелачивания радионуклидов из матрицы радиоактивных отходов, разрушение материала матрицы и миграции радионуклидов. Безопасный уровень рассматриваемых показателей установлен на основании многолетних исследований состояния радиационных объектов и математического моделирования миграции радионуклидов [4, 5].

Безопасный уровень критерия B_1 обусловлен скоростью потока грунтовых или поверхностных вод (см. табл. 1).

Критерий B_2 —

$$B_2 = \sum \frac{A_{bodi}}{KV_i},$$

где A_{bodi} , KV_i — соответственно удельная активность и контрольный уровень удельной активности i -го радионуклида в воде, установленный

Таблица 1. Ранжирование радиационно опасных объектов по категории опасности в зависимости от геоэкологических критериев

Критерий	Степень опасности				
	неопасная	низкая	опасная	очень опасная	чрезвычайно опасная
A ₁	≤ 1	1—5	5—10	10—50	> 50
A ₂	≤ 1	1—5	5—10	10—20	> 20
A ₃ , % содержания радионуклида	0	0—5	5—20	20—50	≥ 50
A ₄ , ПДК	≤ ПДК*	1—20	20—30	30—50	≥ 50
B ₁ , м/сут	< n·10 ⁻⁴	n·10 ⁻⁴ —n·10 ⁻³	n·10 ⁻³ —n·10 ⁻²	n·10 ⁻² —n·10 ⁻¹	> n·10 ⁻¹
B ₂ , г/(см ² ·сут)	< n·10 ⁻⁴	n·10 ⁻⁴ —n·10 ⁻³	n·10 ⁻³ —n·10 ⁻²	n·10 ⁻² —n·10 ⁻¹	> n·10 ⁻¹
B ₃ , м/сут	< n·10 ⁻³	n·10 ⁻³ —n·10 ⁻¹	n·10 ⁻¹ —n·10 ⁰	n·10 ⁰ —n·10	> n·10
B ₄ , Бк/кг	> n·10 ⁶	n·10 ⁶ —n·10 ⁵	n·10 ⁵ —n·10 ³	n·10 ³ —n·10 ²	< n·10 ²
B ₅ , % объема отходов	Не обводнен	< 20	20—50	50—80	> 80
B ₆ , %	Естественная влажность пород	< 20	20—50	50—80	> 80
V ₁ , м/сут	< n·10 ⁻³	n·10 ⁻³ —n·10 ⁻²	n·10 ⁻² —n·10 ⁻¹	n·10 ⁻¹ —n·10 ⁰	> n·10 ⁰
B ₂	< 1 по КУ	1—2	2—5	5—10	> 10
	< 1 по УВ	1—1,3	1,3—1,7	1,7—2	> 2
Г ₁ , %	0	0—5	5—20	20—50	> 50
Г ₂	A _{фон} ≤ 1	1—50	50—200	200—1000	≥ 1000
	A _{РАО} < 10 ⁻³	10 ⁻³ —10 ⁻²	10 ⁻² —10 ⁻¹	10 ⁻¹ —1	≥ 1
Г ₃ , фон	≤ фона	1—5	5—50	50—100	> 100
Д ₁ , км от объекта	> 30	30—15	15—5	5—1	< 1
Д ₂ , % населения, не одобряющего объект	< 1	1—10	10—25	25—50	≥ 50

*Для мышьяка.

для зоны возможного загрязнения, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения каждого объекта, Бк/л. Для этого показателя должно соблюдаться условие: $KУ > УВ$ (уровень вмешательства). При отсутствии установленных показателей контрольных уровней можно использовать уровень вмешательства

$$B_2 = \sum \frac{A_{bodi}}{УВ_i},$$

где A_{bodi} — удельная активность i -го радионуклида в поверхностной воде на границе зоны возможного загрязнения, санитарно-защитной зоны или зоны наблюдения в точке сброса в систему водоотведения, приведенная к группе А или Б, Бк/л; $УВ_i$ — уровень вмешательства i -го радионуклида в соответствии с НРБ-99/2009, Бк/л [6].

Контрольные уровни используются при рассмотрении вод на территории объекта, уровни

вмешательства — в случае отбора для нужд водоснабжения. Оба эти критерия отнесены к определяющим.

Критерий $Г_1$ —

$$Г_1 = \frac{V_{заг}}{V_{РАО}} 100\%,$$

где $V_{заг}$, $V_{РАО}$ — соответственно объем загрязненного грунта и отходов, размещенных в объекте, м³.

Критерий $Г_2$ характеризуется двумя параметрами:

по отношению к фоновым показателям радионуклидов в грунте ближней зоны объекта

$$Г_2 = \frac{A_{грунт}}{A_{фон}};$$

по отношению к удельной активности радионуклидов в массиве отходов

основном этапе ранжирования одинаковую сумму баллов, классифицируются по дополнительным критериям для определения наиболее опасного среди них (табл. 4). Таким образом, для сравнения результатов при ранжировании разных объектов должны быть применены одни и те же критерии опасности (не обязательно все).

Т а б л и ц а 4. Результаты ранжирования объектов 3, 4 по дополнительным критериям

Показатель	Объект	
	3	4
A ₃	3	3
A ₄	1	1
B ₆	5	3
B ₇	5	3
D ₃	3	3
Сумма баллов	17	13
Место в ранжировании по дополнительным критериям	1	2
Место объекта по опасности в общем ранжировании	4	5

Предложенные комплексные геоэкологические критерии для оценки и ранжирования радиационных объектов по степени опасности оценивают массив радиоактивных отходов, состояние инженерных барьеров, миграцию радионуклидов в окружающей среде, виды и степень воздействия на человека и окружающую среду. Разработанный алгоритм ранжирования

позволит на основе комплексной оценки определить наиболее опасные для человека и окружающей среды объекты.

Предложенные критерии и алгоритм ранжирования могут быть использованы при оценке степени опасности разных объектов хранения радиоактивных отходов (отвалов, хвостов и шламохранилищ, приповерхностных хранилищ и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаталов В.В. Анализ количественного состава и качественного состояния накопленных РАО. — Бюл. по атомной энергии, 2002, № 7, с. 15—24.
2. Ушакова О.Н., Корж В.И., Кузнецов Л.А. и др. Проблемы ранжирования объектов хранения—захоронения радиоактивных отходов по опасности и их решение на основе базы данных. — Радиохимия, 2009, т. 51, № 4, с. 379—381.
3. Шарафутдинов Р.Б., Кузнецов Л.А., Денисов В.А. и др. О ранжировании хранилищ твердых радиоактивных отходов предприятий ядерного цикла по потенциальной опасности. — Ядерная и радиационная безопасность, 2010, № 1, с. 10—15.
4. Веселов Е.И. Экологическая оценка состояния защитных барьеров хранилищ при долговременной локализации радиоактивных отходов. — Медицина труда и промышленная экология, 2009, № 3, с. 4—6.
5. Веселов Е.И. Исследование формирования геохимических аномалий во вмещающих породах ближней зоны хранилищ радиоактивных отходов (РАО). — АНРИ, 2011, № 1, с. 42—48.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М., 2009. 100 с.

Поступила в Редакцию 20.06.11

Рефераты статей

УДК 621.039.534.63

Козлов Ф.А., Богданович Н.Г., Загорюлько Ю.И., Матвеев В.П. **Натриевый теплоноситель быстрых реакторов: опыт подготовки и поставки на БН-600, задачи для БН-800.** — Атомная энергия, 2012, т. 112, вып. 4, с. 195—199.

Описан опыт обследования качества натрия при отработке технологии его очистки, производстве и подготовке к поставке на БН-600. Обобщены исследования химического состава натрия разной категории качества. Показана возможность попадания взвесей от коррозии технологического оборудования и примесей из сырья при производстве натрия реакторной чистоты. Кратко рассмотрены пути развития методологии и химико-аналитической базы для контроля натрия на содержание примесей. Особое внимание уделено определению задач обеспечения БН-800 металлургическим натрием реакторной чистоты. Такой анализ и

постановка задач являются актуальными в связи с предстоящими поставками на строящийся БН-800. Табл. 5, список лит. 7 назв.

УДК 621.039.548

Максимов М.В., Пелых С.Н., Гончарь Р.Л. **Основы управления ресурсом оболочки твэла в переменном режиме нагружения ВВЭР-1000.** — Атомная энергия, 2012, т. 112, вып. 4, с. 199—206.

Рассматриваются основы управления ресурсом оболочки твэла в переменном режиме нагружения ВВЭР-1000. Определяется максимально нагруженный аксиальный сегмент оболочки твэла с учетом перестановок ТВС в активной зоне реактора в ходе кампании и размещения регулирующих органов СУЗ. Показано, что управлять ресурсом оболочек твэлов следует за счет оптимизации температурного режима теплоносителя и схемы перестановок ТВС,