

Н. И. Проскура<sup>1</sup>, В. М. Шестопапов<sup>2</sup>,  
Л. И. Зинкевич<sup>1</sup>, Ю. А. Шибецкий<sup>2</sup>,  
З. М. Алексеева<sup>3</sup>, Е. И. Жебровская<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Государственное агентство Украины по управлению Чернобыльской зоной отчуждения, г. Чернобыль, Украина

<sup>2</sup> Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины, г. Киев, Украина

<sup>3</sup> Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

<sup>4</sup> ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев, Украина

## Схема классификации радиоактивных отходов для обеспечения долгосрочной безопасности захоронения

Представлена разработанная в рамках проекта INSC U4.01/08-C «Усовершенствование системы классификации РАО в Украине» схема классификации радиоактивных отходов, применение которой позволит обеспечить как следование целям и критериям безопасного захоронения, так и экономически эффективные маршруты захоронения отходов с использованием оптимальных типов хранилищ.

**Ключевые слова:** классификация радиоактивных отходов, классы, типы и категории радиоактивных отходов, типы хранилищ, критерии безопасности.

**Н. І. Проскура, В. М. Шестопапов, Л. І. Зінкевич,  
Ю. О. Шибецький, З. М. Алексєєва, К. І. Жебровська**

### Схема класифікації радіоактивних відходів для забезпечення довгострокової безпеки захоронення

Наведено розроблену в рамках проекту INSC U4.01/08-C «Удосконалення системи класифікації РАВ в Україні» схему класифікації радіоактивних відходів, застосування якої дасть змогу забезпечити як слідування цілям і критеріям безпечної захоронення, так і економічно ефективні маршрути захоронення відходів з використанням оптимальних типів сховищ.

**Ключові слова:** класифікація радіоактивних відходів, класи, типи і категорії радіоактивних відходів, типи сховищ, критерії безпеки.

© Н. И. Проскура, В. М. Шестопапов, Л. И. Зинкевич, Ю. А. Шибецкий, З. М. Алексеева, Е. И. Жебровская, 2014

Современная практика обращения с радиоактивными отходами (РАО) базируется на применении различных вариантов обработки и кондиционирования отходов, их кратковременного и длительного хранения, а также возможных способов захоронения. Для достижения конечной цели обращения с радиоактивными отходами — безопасного захоронения — на государственном уровне определяются стратегия и последовательная политика обращения с РАО (с учетом объемов и характеристик потоков отходов), а также устанавливаются пути их захоронения. В связи с этим особую актуальность приобретает задача внедрения классификации РАО как элемента целостной системы обращения с отходами, которая учитывала бы долговременные риски захоронения отходов в используемых типах хранилищ.

В последние годы в Украине были предприняты шаги по оптимизации системы обращения с радиоактивными отходами, в том числе направленные на совершенствование схемы классификации РАО для захоронения [1].

В 2011–2012 годах в Украине, при поддержке Еврокомиссии в рамках Программы международного сотрудничества по ядерной безопасности, экспертами консорциума DBE TECHNOLOGY GmbH (Германия), ANDRA (Франция), COVRA (Нидерланды), ENRESA (Испания) и SKB International AB (Швеция), с широким привлечением украинских экспертов, реализовывался проект INSC U4.01/08-C «Усовершенствование системы классификации РАО в Украине» [2]. Бенефициарами проекта выступили министерства и ведомства, ответственные за безопасное обращение с РАО: Государственное агентство Украины по управлению зоной отчуждения, Министерство энергетики и угольной промышленности Украины, Министерство здравоохранения Украины.

Целью настоящей статьи является ознакомление широкого круга заинтересованных лиц с разработанными в рамках проекта INSC U4.01/08-C предложениями по модификации действующей классификации РАО для их захоронения. Предложения основаны на анализе практики обращения с РАО в Украине, положениях действующих законодательно-нормативных документов, опыте стран с развитой атомной энергетикой по разработке и внедрению схем классификации, нацеленных на захоронение РАО в хранилищах разного типа. В основе предложений по модификации схемы классификации лежат практические потребности реализации наиболее экономичного способа изоляции отходов при условии соблюдения требуемого уровня безопасности.

Приведены основные предложения по изменению действующей в Украине классификации РАО (в части, касающейся их захоронения) [2], рассмотрены преимущества и выгоды внедрения данных изменений в практическую деятельность по обращению с РАО.

### Предпосылки к усовершенствованию схемы классификации РАО для захоронения

Принятая большинством стран с развитой атомной энергетикой стратегия обращения с РАО направлена на их удержание и изоляцию от окружающей среды на период потенциальной опасности отходов. С этой целью проводятся сбор и сортировку РАО на потоки с близкими радиологическими характеристиками, их переработку и кондиционирование, а также, при необходимости, хранение для последующего освобождения РАО от регулирующего контроля либо их захоронение, которое должно обеспечить пассивную изоляцию РАО, защиту здоровья человека и окружающей природной среды [3–5].

В результате исторически сложившейся практики, обращение с РАО на площадках атомных станций Украины, в частности сбор и сортировка, не было ориентировано на необходимость удовлетворить требования безопасности на последующих этапах обращения, в том числе при долговременном хранении и захоронении. Аналогичная ситуация сложилась и на предприятиях неядерных отраслей. До последнего времени РАО и отработанные источники ионизирующего излучения (ОИИИ) захоранивались на площадках межобластных специализированных комбинатов УкрГТО «Радон» без учета и оценок возможных долговременных радиологических последствий захоронения.

Отметим, что помимо РАО, возникающих при практической деятельности, в Украине в результате аварии на Чернобыльской АЭС возникли большие объемы РАО аварийного происхождения. Последние характеризуются повышенным содержанием альфа-излучающих радионуклидов (РН) и сосредоточены, главным образом, в Чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО).

На государственном уровне программными и стратегическими документами Украины [6, 7] предусмотрено строительство установок по переработке, хранилищ для долговременного хранения РАО и ОИИИ, а также хранилищ для захоронения всех типов и категорий РАО, определенных действующим законодательством. При этом фактически все РАО Украины, включая отходы чернобыльского происхождения, планируется захоронить на территории ЧЗО.

Законом Украины «Об обращении с радиоактивными отходами» [8] введено разделение отходов на два типа: краткосуществующие и долгосуществующие. Захоронение краткосуществующих РАО может осуществляться в приповерхностных и наземных хранилищах. Долгосуществующие РАО подлежат захоронению в стабильных геологических формациях. Это положение детализировано в нормативных документах [9, 10].

Согласно «Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработанным ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами», ратифицированной Законом Украины [11], при обращении с РАО должен соблюдаться принцип обеспечения защиты здоровья человека и окружающей среды с учетом потенциальной радиологической опасности РАО в отдаленном будущем.

Риски для человека от существования захоронений, в том числе в отдаленном будущем, связаны с надежностью изоляции РАО от доступной среды системой природных и искусственных барьеров [3, 5, 12]. Другими словами, требования к эффективности барьеров должны быть соразмерны радиологической опасности захораниваемых отходов. Поскольку обращение с отходами включает ряд взаимосвязанных операций, для обеспечения согласованного процесса и исключения повторной сортировки и дополнительного кондиционирования потоков отходов важно уже на этапе образования РАО учитывать требования захоронения. Этим определяется актуальность внедрения схемы классификации РАО как элемента целостной системы обращения с отходами. Такая схема классификации должна обеспечить выбор экономически оправданной последовательности обращения с РАО, ориентированной на достижение целей безопасности при их захоронении.

В [2] обращается внимание на тот факт, что в Украине накоплены (прогнозируются) большие объемы РАО низкого уровня активности, которые могут быть захоронены более экономичным способом — в хранилищах без сложной системы инженерных барьеров, как принято многими

западными странами. Это является одной из причин модификации действующей в Украине классификации РАО в целях захоронения, в частности введения класса очень низкоактивных РАО.

### Цель новой схемы классификации РАО

Приведенной в [2] модифицированной схемой классификации РАО в целях захоронения предполагается разделять их на классы по критериям приемлемости для захоронения в хранилищах четырех типов:

- поверхностных (аналог полигонов, которые используются для захоронения бытовых отходов);
- приповерхностных с системой инженерных барьеров;
- подземных на промежуточных глубинах;
- глубинных геологических.

С учетом этого радиоактивные материалы предлагается разделить на следующие классы (рис. 1):

- нерadioактивные отходы;
- отходы, содержащие природные радионуклиды, которые в терминологии МАГАТЭ называют отходами природных радиоактивных материалов (далее — ПРМ-отходы);
- низкоактивные отходы (НАО);
- среднеактивные отходы (САО);
- высокоактивные отходы (ВАО);
- отработанные источники ионизирующего излучения (ОИИИ).

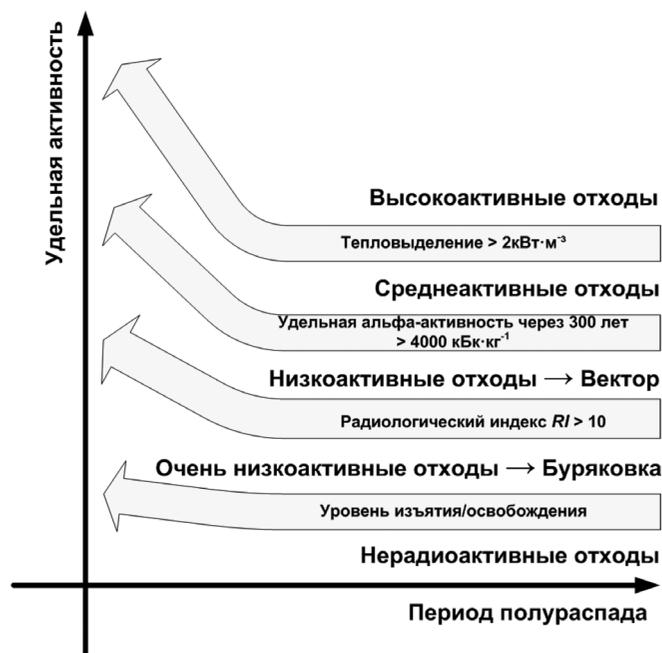


Рис. 1. Графическое представление схемы классификации РАО Украины для их захоронения

Таким образом, вместо деления РАО на два типа (кратко- и долгосуществующие), для захоронения которых согласно действующей в настоящее время классификации предполагалось использовать приповерхностные хранилища и хранилища в глубоких стабильных геологических формациях [9, 10], в новой схеме классификации радиоактивные отходы подразделяются на четыре класса: ОНАО, НАО, САО и ВАО. Помимо этих четырех классов РАО, выделяется класс отходов, при обращении с которыми можно

не учитывать радиологические характеристики (так называемые нерадиоактивные отходы\*). Как отдельные классы рассматривают также ПРМ-отходы и ОИИИ.

Внедрение новой схемы классификации РАО в целях их захоронения не предполагает введения изменений в разделение РАО на категории (критерий — мощность дозы или удельная активность), группы (критерий — уровни изъятия) и виды (критерий — агрегатное состояние), как это установлено в [9, 10], а также каких-либо изменений радиационно-гигиенических регламентов, установленных в [9, 13].

### Описание новой схемы классификации РАО

**Нерадиоактивные отходы.** В этот класс отходов предложено относить объекты и субстанции: а) активность которых не превышает уровни изъятия; б) освобожденные от регулирующего контроля. Такие отходы могут захораниваться без учета их радиологических свойств. В качестве верхней границы отнесения отходов к данному классу могут служить уровни изъятия и освобождения, установленные национальными нормативными документами [9, 13]. Для аварийных отходов чернобыльского происхождения (далее — чернобыльские отходы) рекомендуется ввести специальные уровни освобождения, которые обосновываются исходя из особых условий локализации РАО в ЧЗО, чем определяются специфические сценарии облучения человека и, соответственно, допустимые граничные уровни активностей радионуклидов в составе отходов.

**ПРМ-отходы.** Содержат только естественные радионуклиды (например, отходы от добычи, переработки и обогащения урановых руд, отходы нефтегазодобывающей промышленности). Обычно характеризуются низкими уровнями активности, но высоким содержанием долгоживущих радионуклидов (далее — РН). В Украине накоплены большие количества ПРМ-отходов, которые исторически не перерабатывались как радиоактивные. В настоящее время на международном уровне нет консенсуса в подходах к обращению с ПРМ-отходами. Как правило, регулирование обращения (в том числе захоронения) с большей частью ПРМ-отходов во многих западных странах осуществляется вне ядерного законодательства, при полном соблюдении норм радиационной безопасности. Учитывая большие объемы таких отходов, обычно ПРМ-отходы не захораниваются как РАО. В отдельных случаях, с учетом результатов анализа безопасности, некоторые партии ПРМ-отходов могут быть захоронены в хранилищах для НАО или САО.

**ОНАО.** В действующей классификации Украины [9, 10] этот класс отходов не выделен. К ОНАО относят радиоактивные отходы, активность радионуклидов в которых превышает уровни изъятия или освобождения (нижняя граница отнесения отходов к ОНАО), однако по своим радиологическим характеристикам не требуют захоронения в сложных системах с многобарьерной защитой. ОНАО могут захораниваться в простейших поверхностных хранилищах, подобных полигону промышленных отходов. При этом предполагается, что длительность административного контроля не будет превышать 100 лет. В большинстве стран, имеющих развитые программы ядерной энергетики,

наблюдается тенденция введения класса ОНАО. В настоящее время уже накоплен значительный международный опыт создания и эксплуатации хранилищ для захоронения ОНАО.

По оценкам, проведенным в [2], как ОНАО может быть классифицирована большая часть отходов, образующихся в результате эксплуатации (в западных странах — до 70 %) и демонтажа ядерных реакторов (в западных странах — до 50 %). Основная доля чернобыльских отходов (до 60 %) также может быть отнесена к ОНАО, например РАО, сосредоточенные в пунктах сбора отходов дезактивации вне ЧЗО и в некоторых пунктах временной локализации.

**НАО.** Это радиоактивные отходы, при захоронении которых в приповерхностных хранилищах, оборудованных системой многобарьерной защиты, могут быть достигнуты цели безопасности при длительности административного контроля не более 300 лет. Класс НАО приблизительно соответствует типу «краткосуществующие отходы», выделенному действующей в Украине классификацией [9, 10]. Такие отходы возникают при эксплуатации атомных станций и демонтаже ядерных реакторов. Значительная часть чернобыльских отходов (около 40 %), радиологические характеристики которых аналогичны РАО в ПЗРО «Третья очередь ЧАЭС», также может быть отнесена к НАО.

Имеется большой международный опыт строительства и эксплуатации приповерхностных хранилищ для НАО.

Подчеркнем, что в отходы класса НАО попадут далеко не все РАО, которые согласно [9, 10] относились к краткосуществующим отходам, поскольку значительные объемы последних после введения модифицированной схемы классификации будут классифицированы как ОНАО.

**САО.** Это радиоактивные отходы, которые требуют захоронения в хранилищах на промежуточных глубинах или на больших глубинах вместе с ВАО. Класс САО приблизительно соответствует типу «долгосуществующие отходы» [9, 10]. В Украине объемы САО значительны, например отходы объекта «Укрытие», ПЗРО «Подлесный» в ЧЗО.

Международный опыт строительства и эксплуатации хранилищ САО очень ограничен (хранилища WIPP, США, и Конрад, Германия). Создание специальных хранилищ для САО планируют в настоящее время Франция и Швеция.

**ВАО.** Это радиоактивные отходы, которые могут быть захоронены исключительно в глубинных хранилищах. Они характеризуются высокой удельной активностью ( $10^4 \dots 10^6 \text{ТБк}\cdot\text{м}^{-3}$ ), тепловыделением, превышающим  $2 \text{кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ , и высоким содержанием долгоживущих РН. К классу ВАО могут быть отнесены остеклованные отходы от переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ), а также ОЯТ, если оно будет рассматриваться как отходы.

Данный класс отходов выделен и в действующей классификации РАО Украины [9, 10], однако включает также часть РАО с высокой удельной активностью и тепловыделением не более  $2 \text{кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Международный опыт по строительству и эксплуатации хранилищ для ВАО отсутствует.

**ОИИИ.** МАГАТЭ определяет ОИИИ как «особый тип отходов» [14]. В Украине существует большое количество ОИИИ, и оно постоянно растет. Выделение ОИИИ в отдельный класс обосновано высокими потенциальными рисками, связанными с их захоронением. При этом захоронение ОИИИ может проводиться в хранилища для ОНАО, НАО, САО или ВАО в зависимости от параметров ОИИИ и результатов оценки безопасности хранилища.

\* В Публикации МАГАТЭ 2009 года «Classification of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards, No. GSG-1» эти отходы получили название «изъятые отходы».

### Определение границ классов

Для установления границ между классами необходимо разработать критерии приемки отходов (КПО) для всех типов хранилищ, где эти отходы будут захораниваться. Разработка КПО является итерационным процессом, опирающимся на оценки безопасности, которые должны учитывать реальные характеристики отходов, площадки и проекта хранилища.

Критерии приемки РАО должны содержать численные пределы для общей и удельной активности отдельных радионуклидов или групп радионуклидов. Эти пределы — фактически численные границы между отдельными классами. Принципиальная зависимость упомянутых численных границ от активности и периода полураспада радионуклидов показана на рис. 1.

Уровни освобождения и изъятия представляют собой нижнюю численную границу для ОНАО, а критерии приемки хранилищ для ОНАО определяют численную границу между классами ОНАО и НАО. КПО хранилищ для НАО определяют, в свою очередь, численную границу между классами НАО и САО. В случае совместного захоронения САО и ВАО в глубоком геологическом хранилище численная граница между ними может утратить практическое значение.

Принимая во внимание, что в Украине не планировалось использование всех перечисленных систем захоронения, а также учитывая отсутствие соответствующих концепций захоронения, в рамках проекта INSC U4.01/08-C [2] были разработаны общие критерии приемки РАО (ОКПО) для разделения отходов на предложенные классы, основанные на аналогичных международных программах по захоронению отходов. Представленные в [2] границы классов РАО (общие критерии приемки отходов) отражают реальные данные, полученные для типовых конструкций хранилищ, разработанных с учетом передовой международной практики. ОКПО могут использоваться в качестве важного параметра при долгосрочном планировании экономических и финансовых аспектов деятельности по обращению с РАО. Цель установления ОКПО — обеспечить сортировку и предварительную подготовку накопленных и генерируемых РАО, чтобы полученные в результате отходы, в конечном счете, были приняты для захоронения как только будет установлен соответствующий способ.

Предложенная схема классификации РАО охватывает все радиоактивные отходы, существующие в Украине. Применение в будущем новых ядерных технологий может вызвать необходимость повторного обоснования границ классов по дополнительным параметрам.

При определении верхней границы ОНАО использован примененный в установлении КПО подход для установки Морвиле (Франция) по захоронению ОНАО. Он основан на расчете радиологического индекса для партии захораниваемых РАО:

$$RI = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{10^{group_k}},$$

где  $A_i$  — удельная активность  $i$ -радионуклида в РАО;  $group_k$  — номер группы (принимает значения от 0 до 3), к которой отнесен  $i$ -радионуклид.

Считается, что радиационная безопасность будет обеспечена, если радиологический индекс не будет превышать 1 в среднем для партии отходов (для отдельной партии допускается значение  $RI$  до 10). Основной особенностью изложенного подхода является установление принадлежности радионуклида к определенной группе. Номер группы соответствует десятичному порядку величины максимально допустимой удельной активности (МДУА) радионуклида в партии захораниваемых отходов.

Значения МДУА определяются из условия не превышения радиологических критериев безопасности для сценариев облучения персонала и населения в период эксплуатации хранилища и после его закрытия. Принимается, что длительность административного контроля не превышает 100 лет, после чего доступ на площадку захоронения не ограничивается.

В [2] определены МДУА для 143 нуклидов и приведена информация по разделению РН на группы. Для определения МДУА рассматривались последствия аварий транспортного средства, пожар в траншее и другие сценарии облучения в период эксплуатации хранилища, а также сценарии облучения после закрытия хранилища и освобождения площадки от регулирующего контроля (дорожно-строительные работы, строительство жилья на площадке бывшего хранилища и др.). Оказалось, что ограничения предельно допустимых активностей радионуклидов в РАО определяются сценариями облучения в период эксплуатации. Это означает, что верхняя граница класса ОНАО фактически не зависит от условий площадки размещения хранилища и может применяться для любых установок по захоронению таких РАО.

В качестве верхней границы НАО, согласно рекомендациям МАГАТЭ [14], принято значение максимально допустимой суммарной удельной активности альфа-излучающих РН в РАО  $4000 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (в отдельной упаковке) в конце периода административного контроля при  $400 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$  в среднем по хранилищу.

В международной практике [14] для разделения РАО на САО и ВАО, как правило, руководствуются критерием уровня тепловыделения  $2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ , а не пределами общей и удельной активности отдельных радионуклидов, исходя из анализа безопасности для хранилищ САО. Как нижнюю границу отнесения к САО [2] рекомендуется использовать значение удельной активности альфа-излучающих РН (не менее  $4000 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ). Верхняя граница определяется уровнем тепловыделения менее  $2 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Особую проблему представляет собой классификация отходов, возникших вследствие аварии на ЧАЭС. Чернобыльские отходы характеризуются более высоким содержанием в составе РАО долгоживущих РН по сравнению с эксплуатационными отходами атомных станций. Хотя объемы чернобыльских отходов весьма значительны, считается нецелесообразным выделять их в специальный класс [2]. Вместо этого предлагается распределять чернобыльские отходы по классам с учетом специфики их характеристик и того, что они будут захоронены в ЧЗО.

Проблему можно решить захоронением чернобыльских отходов в ЧЗО в хранилищах с менее строгими КПО. Так, ОНАО чернобыльского происхождения могут быть захоронены в ЧЗО в поверхностных хранилищах типа пункта захоронения РАО (ПЗРО) «Буряковка» траншейного типа, НАО — в приповерхностных хранилищах с мультибарьерной системой защиты типа хранилищ на площадке «Вектор» [15]. При этом нижней

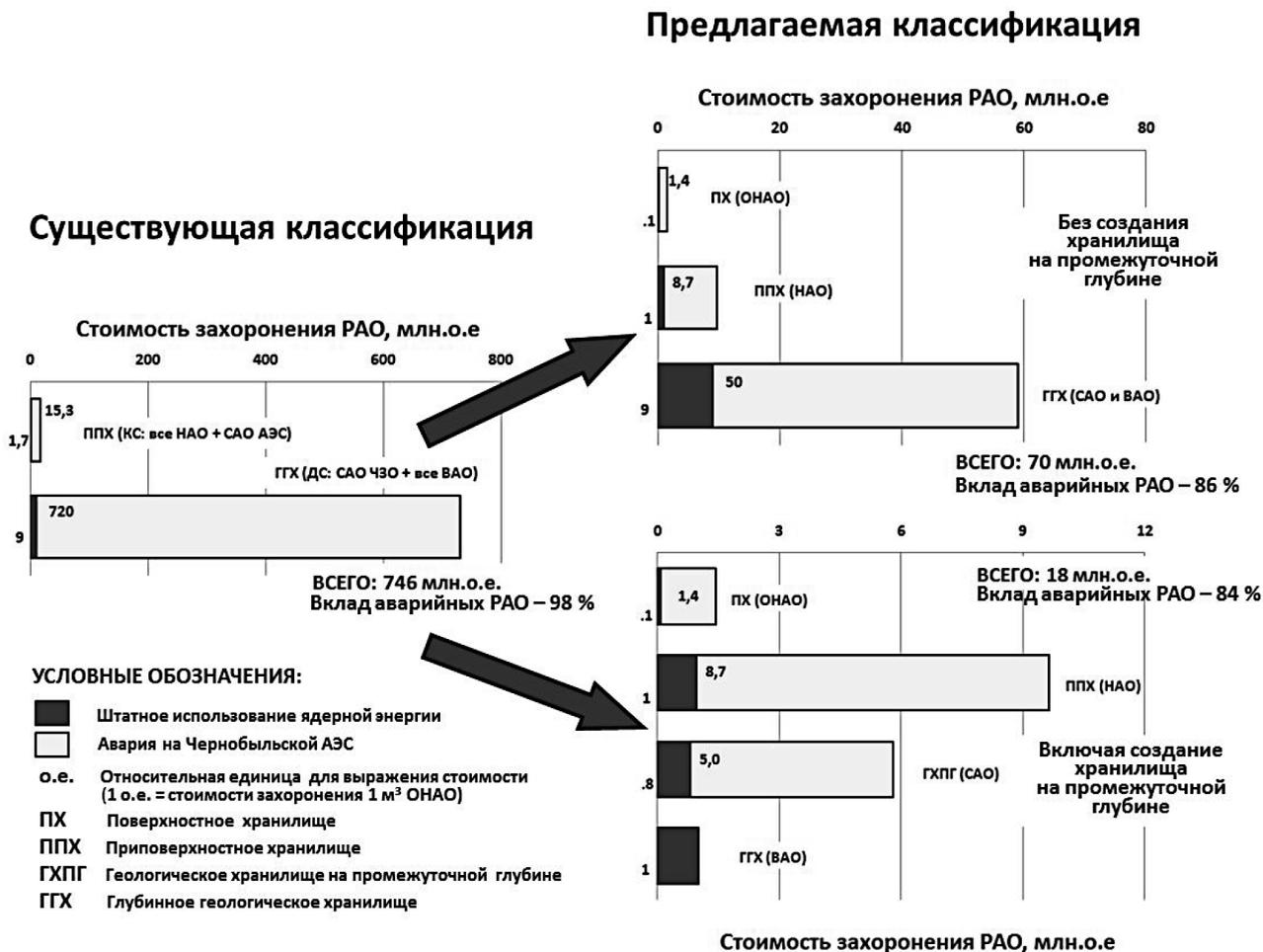


Рис. 2. Оценка экономического эффекта от внедрения новой схемы классификации РАО

границей класса ОНАО будут служить специальные уровни изъятия или освобождения отходов чернобыльского происхождения.

Специальные, менее строгие критерии приемки отходов для ОНАО и НАО чернобыльского происхождения, накопленных в Чернобыльской зоне отчуждения, базируются на ограниченном доступе в ЧЗО [16], что будет исключать ряд сценариев облучения при оценках долгосрочной безопасности [17]. Эти КПО основаны на оценках радиационного воздействия на критические группы населения, живущего за пределами ЧЗО. Специальные КПО для чернобыльских ОНАО могут быть определены на основе КПО для хранилищ ПЗРО «Буряковка», а для НАО — на основе критериев приемки хранилищ на площадке комплекса «Вектор» (специально оборудованного приповерхностного хранилища твердых РАО для отходов Чернобыльской АЭС или хранилищ ТРО-1 и ТРО-2).

В [2] отмечается, что специальные критерии приемки отходов должны применяться только для чернобыльских отходов. При этом в качестве верхней границы ОНАО рекомендуется применять КПО на ПЗРО «Буряковка», которые одновременно служат нижней границей отнесения чернобыльских отходов к классу НАО. Для верхней границы НАО применимы КПО хранилищ комплекса «Вектор».

### Оценка экономического эффекта

Как показано в [2], одно лишь введение класса ОНАО может дать экономию средств на захоронение до 6 млрд € в западных ценах и до 400 млн € в украинских ценах. Вследствие внедрения новой схемы захоронения РАО общая стоимость захоронения РАО в Украине может быть снижена в 10—40 раз (рис. 2).

Таким образом, новая схема классификации способна обеспечить значительную экономию, распределяя РАО в соответствии с оптимальными способами захоронения и типами хранилищ. Чтобы использовать подобные преимущества, определенные работы по сортировке и характеристике РАО должны быть выполнены сразу же после их образования. Это, возможно, временно повлечет за собой дополнительные затраты. Однако провести сортировку и характеристику РАО сразу после их образования намного проще и дешевле, чем гораздо позже сортировать и характеризовать смешанные отходы из общего хранилища. Эти работы и связанные с ними расходы не являются следствием реализации предлагаемой новой схемы классификации. Они неизбежны и предопределены существующими требованиями действующего законодательства [8—10].

Таким образом, в перспективе, внедрение предлагаемой новой схемы классификации отходов не приведет к какому-либо дополнительному или сверхсметным расходам.

### Шаги по внедрению модифицированной схемы классификации

Согласно [2], внедрение новой схемы классификации состоит из: а) разработки необходимых изменений в законодательных и нормативных документах и включения новой классификации в систему регулирования; б) внедрения новой классификации в практику обращения с РАО.

Главная идея внесения изменений в нормативные документы базируется на том, что нет необходимости принимать отдельный документ по классификации РАО. Целесообразно ввести предлагаемую новую классификацию, внося дополнения в основополагающий документ — Закон Украины «Об обращении с радиоактивными отходами» [8]. Это позволит инициировать цепочку соответствующих изменений в сопряженных законах и нормативных документах, в том числе в ОСПУ-2005 [10] и НРБУ-97/Д-2000 [9]. В переходной период разные классификации будут существовать параллельно. Это даст необходимый резерв времени на уточнение границ классов РАО, когда будут разработаны критерии приемки для всех необходимых хранилищ по захоронению.

Существующая практика характеристики и сортировки отходов на площадках производителей отходов не достаточна для обеспечения выбора оптимального способа захоронения отходов. Часто характеристика отходов ограничивается измерением общей ( $\beta/\gamma$ ) активности и (или) соответствующих мощностей дозы излучения от отходов или упаковок с отходами. Введение же характеристики с определением детального радионуклидного состава переработанных отходов и соответствующей сортировки РАО не только способствует реализации новой схемы классификации РАО, но и обеспечит захоронение всего их разнообразия.

Применяя при характеристике и сортировке требования, исходящие из новой схемы классификации РАО для их захоронения, можно объединить решение основной существующей проблемы в отношении будущего захоронения отходов (получение данных для обоснования безопасности) с существенным экономическим эффектом введения новой схемы классификации.

Предпосылкой для внедрения изменений в процедуры характеристики и сортировки отходов служит разработка предварительных общих критериев приемки для каждого класса отходов. На основании ОКПО должны быть разработаны требования по сортировке и характеристике для последующей переработки отходов и получения данных с целью проверки соответствия отходов критериям приемки для захоронения.

Характеристику и сортировку РАО нужно начинать на месте их образования. Отходы одного потока сходны по составу и содержанию нуклидов, что упрощает и сокращает объем работ по отбору проб и измерениям. Для конкретного потока отходов часто можно установить корреляции между содержанием в них легко измеряемых радионуклидов (например,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ ) и других радионуклидов, которые измерить гораздо труднее. Провести характеристику и сортировку РАО позже, после совместного временного хранения смешанных отходов различного происхождения, очень сложно и дорого. Кроме того, это приведет к значительным неопределенностям при определении радионуклидного состава РАО. В крайнем случае, смешанные отходы должны будут захоронены как САО в геологическом хранилище на промежуточной глубине с соответствующими дополнительными расходами.

### Выводы

Модифицированная схема классификации радиоактивных отходов в целях захоронения, предложенная в рамках проекта INSC-U4/01/08-C, позволяет оптимизировать систему обращения РАО в Украине.

Предложены подходы для установления границ между классами модифицированной схемы классификации.

Показано, что новая схема классификации способна обеспечить значительную экономию, распределяя РАО в соответствии с оптимальными способами захоронения и типами хранилищ. Оценен экономический эффект от внедрения новой схемы классификации.

Намечены шаги по внедрению новой схемы классификации в практику обращения с РАО в Украине.

### Список использованной литературы

1. Загальні положення забезпечення безпеки при поводженні з радіоактивними відходами: Проект : Затвердж. Ген. директором АТ «НДІ РЗ АТН України». — 2012. — 67 с. — (Ідент. код 111U009794).
2. Предложения по внедрению новой системы классификации РАО в регуляторную структуру Украины : проект INSC-U4.01/08-C, ноябрь 2012. — Электронно-оптический диск (CD-ROM).
3. Disposal of Radioactive Waste. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011. — 104 p. — (IAEA Safety Standarts Series No. SSR-5).
4. НП 306.4.133–2007. Загальні положення забезпечення безпеки захоронення радіоактивних відходів у геологічних сховищах // Офіційний вісник України. — 2007. — № 43.
5. НП 306.4.149–2008. Вимоги до вибору майданчика для розміщення сховища для захоронення радіоактивних відходів // Офіційний вісник України. — 2008. — № 95.
6. Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами : Закон України // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № 5. — Ст. 8.
7. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні : Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 № 990-р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/9902009-%D1%80>
8. Про поводження з радіоактивними відходами : Закон України // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 1995. — № 27.
9. Норми радіаційної безпеки України, доповнення : Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи : ДГН 6.6.1-6.5.061-2000. — Офіц. вид. — К. : [б. в.], 2000. — 80 с.
10. Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02: Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005) : Затвердж. наказом МОЗ України № 54 від 02.02.05 // Офіц. вісник України. — 24.06.2005. — № 23. — 197 с.
11. Про ратифікацію Об'єднаної конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами : Затвердж. Законом України від 20.04.2000 № 1688-III // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2000. — № 31. — Ст. 243.
12. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste: Specific Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2012. — 140 p. — (IAEA Safety Standarts No. SSG-23).
13. Гігієнічні нормативи «Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю» // В кн. : Порядок звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю у рамках практичної діяльності: НП 306.4.159–2010. — К. : Державний комітет ядерного регулювання України, 2010. — С. 12–17.
14. Classification of Radioactive Waste : Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2009. — 68 p. — (IAEA Safety Standarts, No. GSG-1).
15. Перша черга комплексу виробництв по дезактивації, транспортуванню, переробці та захороненню радіоактивних відходів

з територій, забруднених в результаті аварії на ЧАЕС (кодова назва «Вектор». І етап — захоронення радіоактивних відходів): Проект (концептуальний) / МНС України. — 1997.

16. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України // Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР). — 1991. — № 16.

17. Комплексна оцінка безпеки поводження з радіоактивними відходами на майданчику «Вектор» / Алексеєва З. М., Кондратьєв С. М., Николаєв Є. О., Миколайчук О. А., Макаровська О. А., Рибалка Н. В. // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — Вип. 2 (58). — С. 43–48.

## References

1. General Provisions for Ensuring Safety of Radioactive Waste Management: Draft : Approved by General Manager of AT «SRI RP ATH Ukraine». — 2012 — 67 p. — (Ident. Code 111U009794).

2. Proposals for Implementation of New System of Radioactive Waste Classification into Ukrainian Regulations : Project INSC-U4.01/08-C, November 2012. — Electro-optical disk (CD-ROM).

3. Disposal of Radioactive Waste. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011. — 104 p. — (IAEA Safety Standards Series No. SSR-5).

4. NP 306.4.133–2007. General Provisions for Ensuring Safety of Radioactive Waste Disposal into Geological Disposal Facilities // Official Ukrainian Bulletin. — 2007. — № 43.

5. NP 306.4.149–2008. Requirements for site selection for the facility for disposal of radioactive waste // Official Ukrainian Bulletin. — 2008. — № 95.

6. Law of Ukraine «About the State Goal-Oriented Ecological Program for Radioactive Waste Management» // Bulletin of Verhovna Rada of Ukraine. — 2009. — № 5. — P. 8.

7. Strategy for Radioactive Waste Management // Order of CMU. — 2009. — № 990-p.

8. Law of Ukraine «On Radioactive Waste Management» // Bulletin of Verhovna Rada of Ukraine. — 1995. — № 27. — P. 198.

9. Radiation Safety Standards of Ukraine, Supplement: Radiation Protection against Ionizing Radiation Sources (NRBU-97/D-2000). State Hygienic Standards: DGN 6.6.1-6.5.061–2000. — An official publication. — Kyiv, 2000. — 80 p.

10. State Sanitary Rules 6.177-2005-09-02: Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety of Ukraine (OSPU-2005). — Approved by Order of Ministry of Health of Ukraine № 54 from 02.02.05 // Official Ukrainian Bulletin. — 24.06.2005. — № 23. — 197 p.

11. On Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management: Approved by the Law of Ukraine on 20.04.2000 № 1688-III // Bulletin of Verhovna Rada of Ukraine. — 2000. — № 3 1.

12. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste: Specific Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2012. — 140 p. — (IAEA Safety Standards No. SSG-23).

13. Hygienic standards «Clearance levels of radioactive materials from regulatory control» // In book: Procedure for exemption of radioactive materials from regulatory control in the framework of practical activities: NP 306.4.159–2010. — K. : State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine, 2010. — P. 12–17.

14. Classification of Radioactive Waste : Safety Guide. — Vienna : IAEA, 2009. — 68 p. — (IAEA Safety Standards, No. GSG-1).

15. Stage I of Plants for Decontamination, Transportation, Treatment and Disposal of Radioactive Waste from the Territories Contaminated as a Result of the ChNPP Accident (Code Name “Vektor”. I phase — Disposal of Radioactive Waste): The Design (Conceptual) / Ministry of Emergencies of Ukraine. — 1997.

16. Law of Ukraine «On the Legal Order of the Territories Contaminated by the Chernobyl Disaster» / Bulletin of Verhovna Rada of USSR. — 1991. — № 16.

17. Comprehensive Safety Assessment of Radioactive Waste Management on the «Vektor» site / Alekseeva Z. M., Kondratyev S. M., Nikolaiev Ye. O., Mykolaichuk O. A., Makarovska O. A., Rybalka N. V. // Nuclear and Radiation Safety. — 2013. — Number 2 (58). — P. 43–48.

Получено 08.04.2014.