

УДК 338:504

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**© 2019 г. Д. Ф. Ильясов^{1, *}, Е. О. Кузнецова^{1, **}¹*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук,
Москва, Россия***e-mail: idf@ibrae.ac.ru****e-mail: kuznetsova@ibrae.ac.ru*

Поступила в редакцию 15.08.2019 г.

После доработки 21.10.2019 г.

Принята к публикации 23.10.2019 г.

В статье обсуждаются подходы к оценке эффективности мероприятий по повышению уровня безопасности объектов использования атомной энергии, а также радиационно загрязненных территорий в пределах населенных пунктов. Согласно современным подходам при подборе комплекса мероприятий необходимо руководствоваться принципом ALARA: снижение рисков для здоровья населения до такого низкого уровня, насколько это разумно достижимо. При этом на загрязненных территориях помимо радиационного риска, на наш взгляд, следует учитывать и социально-экономические. В связи с этим разработан универсальный подход к обоснованию эффективности мероприятий различной направленности, в том числе определены перечни статистических показателей, необходимых для оценки последствий реализации мероприятий, предложены критерии эффективности и методы ранжирования. В рамках подхода описаны возможные механизмы применения современных расчетных кодов для анализа эффективности мероприятий обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Предложенные методы целесообразно использовать для оценки и обоснования эффективности федеральных и региональных программ и мероприятий радиационной безопасности.

Ключевые слова: радиационная безопасность, ядерно- и радиационно опасные объекты, радиоактивные отходы, радиационно загрязненные территории, радиационные риски, социально-экономические риски, экологические программы, выгоды, затраты, эффективность

DOI: 10.1134/S0002331019050078

ВВЕДЕНИЕ

Осуществление мероприятий, направленных на обеспечение безопасности человека и охрану окружающей среды, в том числе по радиационным и радиоэкологическим аспектам, требует привлечения большого объема финансовых ресурсов. При этом численным образом корректно оценить позитивные эффекты для качества жизни населения от таких мероприятий достаточно сложно. В то же время польза, например, от проектов по развитию инфраструктуры населенных пунктов или медицинской поддержке населения представляются весьма очевидной.

В научных кругах регулярно обсуждаются проблемы обоснования эффективности работ по повышению безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), а также по реабилитации территорий (населенных пунктов), загрязненных в результате

радиационных аварий. При этом обычно используют различные вариации агрегированного комплексного показателя, учитывающего объем затрачиваемых средств, эффектов (выгод) от мероприятия и рисков.

В настоящей работе изучены предлагаемые в современной литературе подходы к оценке таких показателей, а также предложены универсальные показатели для рационализации финансовой поддержки в рамках программ обеспечения безопасности.

Предлагаемый в работе подход применим для мероприятий преодоления последствий радиационных аварий и предотвращения их возникновения в будущем при обращении с ОИАЭ (далее – Мероприятия обеспечения безопасности, МОБ). Такие мероприятия можно с достаточной степенью условности классифицировать на 4 группы: экономические, социальные, экологические и работы по повышению ядерной и радиационной безопасности (далее – мероприятия ЯРБ).

Экономические мероприятия направлены на повышение доходов или снижение расходов (напрямую или косвенно) населения, организаций и муниципалитета в регионах, пострадавших или понесших убытки в результате аварийных ситуаций. К числу таких мероприятий следует относить компенсационные выплаты населению, льготы, субсидии предприятиям, увеличение закупок, производимых организациями и подсобными хозяйствами товаров и т.п.

Основной целью социальных мероприятий является улучшение качества жизни населения. В состав таких мероприятий входит развитие инфраструктуры населенных пунктов путем строительства школ, больниц, газификации региона и т.п.

В рамках экологических мероприятий предполагается проведение процедур по улучшению экологической обстановки в регионах проживания населения и снижению рисков воздействия вредных веществ на здоровье. В качестве примеров таких мероприятий можно рассмотреть реабилитацию загрязненных территорий, ограничение потребления загрязненных продуктов питания и воды, внедрение новых технологий производства продуктов питания, переселение населения в более экологически чистые районы и т.д.

Мероприятия ЯРБ направлены на снижение рисков возникновения техногенных аварий и распространения радиоактивных веществ в окружающей среде. К таким мероприятиям относятся замена старого оборудования, обновление технологий, сооружение защитных барьеров, консервация, поддержание в безопасном состоянии и вывод из эксплуатации остановленных ОИАЭ и т.п.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

Согласно действующим рекомендациям система безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на территориях, загрязненных в результате инцидентов, связанных с выбросом в окружающую среду канцерогенов или радиации, базируется на следующих принципах [1]:

- принципы обоснования и оптимизации (ALARA: необходимость снижения рисков для здоровья населения до такого низкого уровня, насколько это разумно достижимо);

- принцип нормирования (принцип использования пределов доз: прописаны в санитарных правилах и нормативах обеспечения радиационной безопасности [2], а также во многих других законодательных актах РФ:).

Некоторые реализуемые в настоящее время подходы к оценке эффективности в своих расчетных алгоритмах используют преимущественно экспертные оценки [3, 4]. В работе [4] для оценки эффективности и выбора приоритетных реабилитационных мероприятий по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС предлагается использовать метод анализа иерархии (МАИ), учитывающий направленные иерар-

хические взаимосвязи между альтернативными мероприятиями, критериями, факторами, целями, расположенными на разных уровнях соподчиненности.

Алгоритм МАИ позволяет целенаправленно проанализировать достаточно сложную совокупность взаимосвязанных работ и определить наиболее эффективные для достижения конечной цели мероприятия, однако реализация такой процедуры по понятным причинам может иметь достаточно субъективный характер.

В работе [5] для обоснования эффективности стратегий предлагается использовать следующие методы принятия управленческих решений (“decision-aiding techniques”), предполагающие оптимизацию по некоторым критериям:

- метод анализа изменения предельного показателя “затраты–выгоды”;
- метод анализа показателя “затраты–выгоды” и минимизация совокупных издержек (суммы затрат на рисковоснижающие мероприятия и ущерба от остаточного риска);
- метод многофакторного анализа полезности.

Первый метод предполагает анализ зависимости прогнозных оценок коллективных доз облучения населения после реализации защитного мероприятия от затрат. Защитные меры ранжируются по мере роста затрат и представляются в табличной форме, между близкими по стоимости мероприятиями рассчитываются разности затрат на реализацию (ΔC) и прогнозных оценок коллективных доз (ΔD). Далее лица, принимающие решения, анализируют отношения ($\Delta C/\Delta D$), устанавливают границу значения для данного показателя, основываясь на принципах экономической целесообразности (т.е. дополнительные инвестиции и более “дорогие” мероприятия принесут необоснованно низкий эффект в виде снижения коллективной дозы), и рекомендуют реализацию наиболее результативного мероприятия, для которого $\Delta C/\Delta D$ не превысит граничного значения.

Согласно второму методу, прогнозные оценки коллективных доз облучения населения представляются (на основе различных функций перевода) в виде стоимостных оценок ущерба здоровью населения (D_{cost}). Наиболее эффективным защитным мероприятием считается то, у которого функция суммы затрат на реализацию (C) и D_{cost} будет принимать минимальное значение.

Третий метод относится также к группе экспертных методов и по своей сути аналогичен алгоритму МАИ, описанному выше. Он позволяет анализировать эффекты, связанные не только со снижением рисков здоровью и жизни населения от радиационного фактора, но и социальные, экономические и иного характера. Алгоритм многофакторного анализа полезности предполагает, что для всего спектра мероприятий будет сформирован перечень количественных характеристик при реализации (стоимость мероприятия, количество затрагиваемого населения, средние индивидуальные остаточные дозы и т.д.), каждой характеристике дана оценка значимости (k_j) по шкале от 0 до 2 (чем более значим, тем выше оценка), и рассчитано значение, переведенное в 10-балльную шкалу полезности (u_{ji}). В итоге для каждого i -го мероприятия необходимо оценить суммарную полезность (U_i) равную:

$$U_i = \sum_{j=1}^n k_j u_{ji}. \quad (1)$$

Мероприятия приоритизируются согласно величине показателя U_i , рассчитанному на основе выражения (1).

В современных научных работах при обосновании решений рекомендуется применять комплексный многофакторный анализ эффектов от реализации мероприятий. Опыт аварий на Чернобыльской АЭС и ФГУП “ПО “Маяк” [6] показывает, что помимо минимизации экологических рисков для повышения качества жизни населения, проживающих на загрязненных в результате аварии территориях, следует также анализировать возможности снижения социально-экономических рисков. В связи с этим

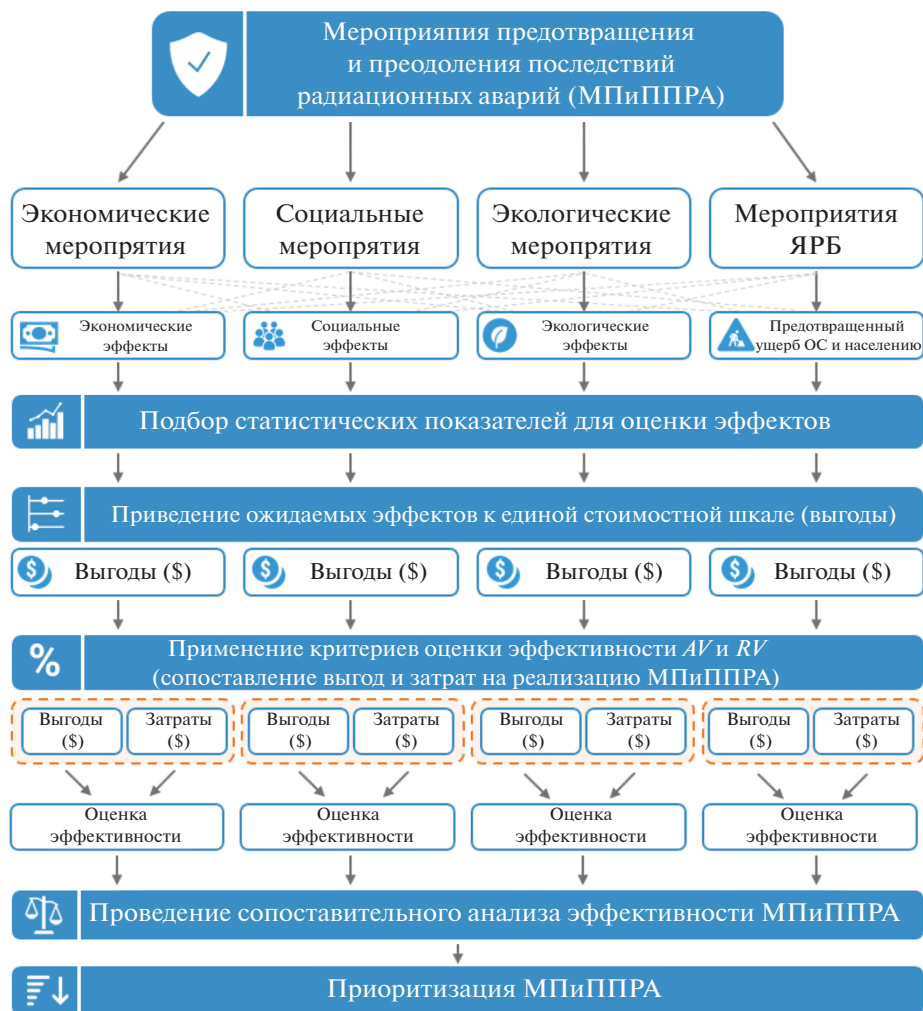


Рис. 1. Общая схема авторского подхода к оценке эффективности МОБ.

целесообразно разработать комплексный показатель, учитывающий возможные направления выгод для населения и государства.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В БУДУЩЕМ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОИАЭ

В настоящей работе разработан универсальный подход к оценке эффективности МОБ, базирующийся на сопоставлении эффектов, достигаемых за счет реализации защитных мер и объема ресурсов, затрачиваемых на их выполнение. Схематическая структура предлагаемых алгоритмов расчета эффективности представлена на рис. 1.

Для оценки эффективности мероприятий в качестве основных показателей предлагается использовать абсолютную (разность выгод (эффектов, выраженных в денежном

эквиваленте) и затрат) — аналог из инвестиционного менеджмента *net present value*, NPV) и относительную (отношение выгод и затрат — аналог из инвестиционного менеджмента *rate of investment*, ROI) ценности:

$$AV = \text{Выгоды} - \text{Затраты}, \quad (2)$$

$$RV = \frac{\text{Выгоды}}{\text{Затраты}}, \quad (3)$$

где AV — абсолютная ценность, RV — относительная ценность.

Выгоды (S) и затраты (Z) (помимо прямых финансовых затрат целесообразно также учитывать потери и ущерб от мероприятий ограничительного характера) могут возникать на протяжении длительного временного периода, поэтому в выражениях (2) и (3) для сопоставимости денежных эквивалентов, их следует приводить к одному временному периоду (базовому) путем дисконтирования или наращивания. В случае, если расчетное значение показателя AV принимает положительное значение (соответственно RV больше 1), то мероприятие следует считать эффективным.

В процессе расчета оценки эффективности от реализации мероприятий необходимо определить продолжительность периода, в течение которого выгоды могут проявляться, т.е. определить горизонт планирования. Показатель следует установить экспертным путем, базируясь на логических размышлениях и выводах. Для мероприятий экономической и социальной направленности рекомендуется при оценках эффективности использовать период равный 10–15 годам, для мероприятий экологической направленности, связанных со снижением рисков здоровью населения с учетом времени активности (периода полураспада) основных радионуклидов загрязнителей.

Основная сложность, возникающая при проведении расчетов описанного выше алгоритма, заключается в оценке совокупного эффекта (S) и выражении его в денежном эквиваленте. На основе имеющихся источников статистической информации необходимо сформировать перечень показателей, характеризующих эффекты от реализации мероприятий.

В качестве основных показателей, подверженных изменению в результате экономических мероприятий, следует рассматривать:

- изменение бюджета муниципалитета после реализации МОБ;
- изменение доходов предприятий после реализации МОБ;
- изменение доходов подсобных хозяйств после реализации МОБ;
- изменение совокупных годовых доходов населения после реализации МОБ;
- изменение годовых совокупных расходов населения (на продукты питания, здравоохранение и другие социальные сферы).

К основным результатам социальных мероприятий следует отнести:

- показатель личного времени населения, высвобожденного в результате реализации МОБ, ч/год;
- изменение ожидаемой продолжительности жизни населения после реализации МОБ, лет;

- изменение уровня заболеваемости населения после реализации МОБ, год⁻¹;

- изменение уровня безработицы жителей населенных пунктов, %.

Улучшение условий жизнедеятельности населения за счет развития инфраструктуры, строительства дорог, газификации, водоснабжения и так далее влечет за собой увеличение свободного времени местных жителей, образующегося в результате повышения доступности различных учреждений социального характера, а также качества прочих коммуникаций.

Стоимостная оценка эффекта (для i -го эффекта в момент времени t , S_{it}) рассчитывается на основе следующего выражения:

$$S_{it} = \Delta t N \lambda_t, \quad (4)$$

Таблица 1. Оценка прироста личного времени населения, высвобожденного в результате реализации МОБ

МОБ, включенные в группу социальной направленности	Оценка высвобожденно-го времени, мин/чел. день	Оценка высвобожденного времени, ч/чел. год
Строительство газопроводных сетей	30	180
Строительство водопроводных сетей	20	120
Строительство канализационных сетей	20	120
Строительство шоссе и дорог между населенными пунктами	15	90
Строительство внутрипоселковых дорог	15	90
Реконструкция участка автомобильной дороги	10	60

где Δt – прирост свободного времени населения для 1 индивидуума, образующегося в результате реализации i -го мероприятия, ч/чел. год (определяется экспертным путем или из опросов населения); N – численность населения региона, на которое распространяется эффект, чел.; λ_t – стоимостный эквивалент 1 часа свободного времени, рекомендованный диапазон значений от 25 до 75 руб./ч, в среднем 50 руб./ч. Оценка получена из расчета среднедушевого дохода населения РФ в размере около 36 тыс. руб./мес. или 50 руб./ч.

В табл. 1 для выражения (4) представлены рекомендованные значения прироста свободного времени населения в результате проведения некоторых ключевых МОБ социальной направленности в расчете на одного человека (оценено экспертным путем на примере населенных пунктов в Челябинской области). Отметим, что в зависимости от специфики региона и масштабов выполняемых работ, указанные параметры могут быть уточнены или дополнены. Такие эффекты, как повышение качества медицинского обслуживания населения, повышение доступности медицинских услуг благодаря развитию транспортной инфраструктуры, рост комфортабельности проживания и некоторых других факторов могут быть оценены, исходя из увеличения ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) населения по аналогии согласно выражению (4).

Стоимостная оценка снижения (изменения) уровней заболеваемости в t -ом году в результате реализации МОБ определяется с учетом цены за время нетрудоспособности. Этот показатель в общем случае может рассчитываться на основании выражения (5).

$$S_{it} = \lambda N_p \Delta T_j, \quad (5)$$

где λ – потери работодателя от 1 дня, проведенного сотрудником на больничном, (руб./чел. день), рекомендованное значение 400 руб./чел. день (50 руб. на 1 ч рабочего времени); N_p – численность экономически активного населения региона, на которое распространяется эффект, чел.; ΔT_j – изменение средней продолжительности нахождения рабочего населения на больничном после реализации МОБ. Может быть оценено статистически по итогам 2–5 лет наблюдений.

Показатели, отражающие изменение экологической и радиационной обстановки в населенных пунктах:

- предотвращенная в результате реализации мероприятия средняя годовая доза облучения населения (внешнего и внутреннего), мЗв/год;
- предотвращенное поступление иных токсических или канцерогенных веществ в организм одного среднестатистического индивидуума, мг./чел.

В качестве оценки экологических последствий радиационного воздействия на население рекомендуется “стоимость” коллективной дозы облучения в 1 Зв/год приравнять к стоимости года человеческой жизни, которая, в свою очередь, может быть оценена как среднедушевой показатель ВРП в регионе или ВВП по стране [8].

Таким образом, выраженная в стоимостном эквиваленте оценка снижения дозы облучения населения, проживающего на реабилитируемой территории, в результате реализации мероприятия экологической направленности может быть рассчитана как (исходя из предположения линейной беспороговой концепции воздействия радиации на организм человека) [1, 2]:

$$S_{ii} = \Delta D_i N \alpha, \quad (6)$$

где ΔD_i – средняя предотвращенная в результате i -го мероприятия эффективная доза облучения населения, мЗв./год; N – численность населения региона, для которого снижается доза облучения, чел., множитель $\Delta D_i N$ может быть заменен на предотвращенную коллективную дозу; α – стоимостной эквивалент 1 мЗв предотвращенной дозы, оцениваемый как 0.1% от среднедушевого ВРП региона, руб./чел. Зв.

Эффекты от снижения поступления иных химических и канцерогенных веществ в организм человека оцениваются аналогично предотвращенной эффективной дозе облучения. Стоит отметить, что в этом случае, стоимостной эквивалент от снижения поступления 1 мг некоторого токсического вещества в организм человека оценивается по аналогии с радиационным риском на основе зависимостей “концентрация–эффект”, представленных в руководстве по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду Р 2.1.10.1920-04 [9]. Стоимостной эквивалент снижения канцерогенного риска на 5.5×10^{-5} для индивидуума оценивается в размере 0.1% от среднедушевого ВРП региона.

Реализация мероприятий ЯРБ направлена на предотвращение аварийных ситуаций. В состав таких мероприятий входят: строительные, конструкторские, исправительные и другие виды работ на предприятиях атомной промышленности, направленные на увеличения уровня безопасности, поддержание и перевод в ядерно безопасное состояние остановленных (не используемых по проектному назначению) ядерно- и радиационно опасных объектов, безопасное обращение с РАО и ОЯТ и т.п.

Эффектом от реализации мероприятий ЯРБ является величина предотвращенного ущерба, состоящего из издержек (затрат на ликвидацию последствий, ущерба здоровью населения, штрафов, репутационных рисков и иных потерь) от гипотетической аварии – смоделированного сценария аварийной ситуации с выбросом радиации в окружающую среду. Рассматривается наиболее вероятный сценарий протекания аварийной ситуации, возникающий при отказе от реализации мероприятий ЯРБ.

Оценку предотвращенного от мероприятия ущерба согласно наиболее вероятному сценарию развития аварийной ситуации на ОИАЭ следует проводить в 3 этапа.

Этап 1. Оценка потенциальной опасности ОИАЭ

На первом этапе необходимо оценить величину опасности объекта для персонала и населения. От этой величины будет зависеть уровень загрязнения окружающей в случае аварийной ситуации с разрушением внешних барьеров безопасности и распространением радиации за пределы объекта. На потенциальную опасность объекта могут оказывать влияние следующие факторы:

- суммарная активность радионуклидов внутри ОИАЭ (для пунктов хранения (ПХ) РАО и ОЯТ: суммарная активность размещенных РАО и ОЯТ; для зданий, строительных конструкций и т.п.: суммарная активность РАО, образующихся при выводе из эксплуатации объекта, ядерных материалов и иных радиоактивных веществ (прогнозная оценка). Подобные оценки могут быть получены по результатам комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО), радиационного мониторинга, экспертного оценивания специалистов (при отсутствии КИРО);

- техническое и инженерное состояние объекта, уровень износа конструкций, условия содержания в безопасном состоянии;

- удаленность относительно населенных пунктов и их численность населения;
- сейсмическая опасность региона, климатические особенности и иные внешние факторы, оказывающие негативное воздействие на барьеры безопасности ОИАЭ;
- особенности ОИАЭ и опасных веществ (в том числе морфологический состав радионуклидов), находящихся в нем.

В статьях [10, 11] в качестве оценки потенциальной опасности ОИАЭ предложен комплексный показатель опасности (КП), зависящий от ряда факторов (в том числе описанных выше), который также может быть использован в рамках предлагаемого алгоритма оценки предотвращенного ущерба.

Этап 2. Моделирование распространения радионуклидов в окружающей среде и оценка дополнительных доз техногенного облучения населения при аварийной ситуации

На втором этапе необходимо описать сценарные условия развития аварийной ситуации и составить модель распространения радионуклидов в окружающей среде. На основе расчетных прогнозов модели требуется оценить дополнительные дозы техногенного облучения населения (с учетом удаленности населенных пунктов и численности населения) и персонала. Оценивание может проводиться на основе моделей миграции радионуклидов в окружающей среде, учитывающих следующие факторы:

- активность радионуклидов, распространенных в результате аварийной ситуации в окружающей среде, морфологический состав (оценки из этапа 1);
- особенности среды распространения: (для миграции в атмосфере: географические особенности местности, характерная роза ветров и т.п.; для миграции в водной среде (реках и приповерхностных водоемах): скорость течения, искривленность русла, вязкость воды, глубина водоема и т.п.; для миграции в почве и недрах земли: морфологические особенности местности, геологические особенности участка, выклинивание слоев и т.п.).

При моделировании должны учитываться значимые физические и химические явления и процессы, свойства веществ.

Этап 3. Экономическая оценка предотвращенного мероприятия ущербом

В заключительной стадии необходимо оценить потенциальные негативные последствия от гипотетической аварийной ситуации, выраженные в стоимостном эквиваленте. Издержки, предотвращенные реализацией мероприятия ЯРБ (PC), следует классифицировать по следующим направлениям:

- затраты на ликвидацию последствий аварийных ситуаций, в том числе на реабилитацию загрязненных территорий, населенных пунктов и т.д. (PC₁);
- потери, связанные с утратой готовой продукции, основных фондов и природных ресурсов, выведенных из оборота в результате возникновения аварийной ситуации (PC₂);
- ущерб здоровью населения и персонала, обусловленный дополнительными дозами техногенного облучения (PC₃);
- штрафные санкции за нарушение нормативов безопасности (принципа нормирования), репутационный ущерб организации и отрасли и прочий косвенный ущерб (PC₄).

Таким образом, выгоды от мероприятий будут оцениваться согласно следующей формуле:

$$\hat{S} = PC = PC_1 + PC_2 + PC_3 + PC_4, \quad (7)$$

где PC₁ оцениваются для различных типов поверхностей загрязнения (населенные пункты, сельскохозяйственные территории, промышленные зоны, лесные массивы и т.д.) в зависимости от площади загрязнения, активности загрязнителей и удельной стоимости реабилитации участка [12]; PC₂ оценивается как суммарная стоимость го-

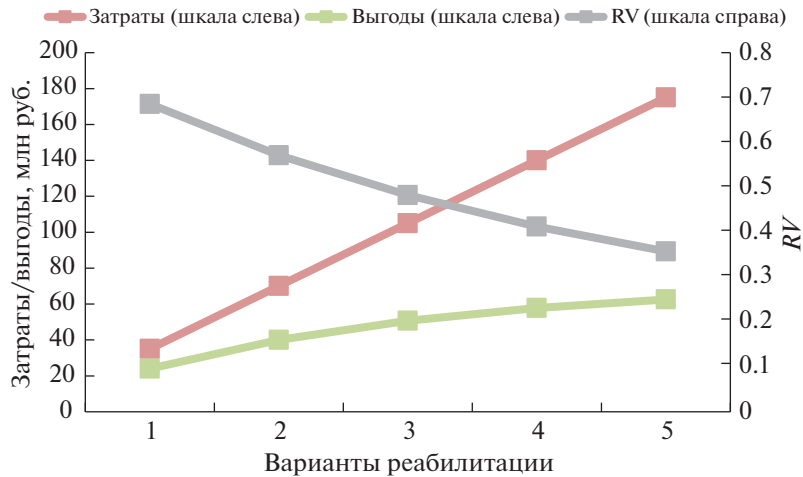


Рис. 2. Оценка эффективности для различных вариантов реабилитации РЗТ береговой линии р. Теча.

товой продукции, например, урожая, загрязненного в результате аварии и не соответствующего критериям безопасности, основных фондов, потерь лесного фонда и земель различного назначения и т.п.; PC_3 оценивается согласно выражению (6), где предотвращенная коллективная доза моделируется в рамках этапа 2; PC_4 оценивается как доля (k) от суммы PC_1 , PC_2 и PC_3 в зависимости от масштаба аварии, где k устанавливается в диапазоне от 0 до 1 экспертным путем, например, локальный характер $k = 0$, муниципальный характер $k = 0.2$, региональный характер $k = 0.5$, федеральный характер $k = 1$.

Некоторые характеристики и методики расчета показателей в выражении (7) могут заимствоваться из источника [13], стоимостные характеристики определяться согласно имеющемуся опыту по проведению аналогичных видов работ, рыночным оценками стоимости имущества и т.д.

Описанный алгоритм по оценке предотвращенного ущерба требует сбора и анализа огромного количества статистических показателей и применения достаточно сложных моделей, реализованных в виде современных расчетных комплексов (кодов), что делает его трудоемким и наукоемким. В связи с этим некоторые расчеты целесообразно осуществлять в рамках гипотез и предположений, позволяющих упростить алгоритм, но при соблюдении требования по снижению точности оценок в допустимых и обоснованных границах.

В качестве примера оценки рассмотрим мероприятие экологической направленности: рекультивация загрязненной береговой линии р. Теча (основные загрязнители цезий 137 и стронций 90) вблизи населенных пунктов. Доступ к радиационно загрязненным территориям (РЗТ) имеет 2000 человек, избыточная годовая доза облучения (при пользовании загрязненной частью береговой линии) в среднем составляет около 2 мЗв/год, что превышает нормативы для населения [2]. Рассматриваются различные варианты реабилитации РЗТ, варьирующиеся по стоимости. На рис. 2 представлены оценки затрат, выгод (согласно выражению 6) и оценок эффективности RV . Результаты расчетов демонстрируют, что реабилитация РЗТ в данной ситуации является неэффективным мероприятием ($RV < 1$). В связи с этим целесообразно рассмотреть другие варианты снижения рисков для населения, например, путем временного ограничения доступа к РЗТ (установка предупреждающих знаков, препятствие доступа за счет уста-

новки заграждений и озеленения территорий), что позволит снизить остаточные риски до нуля. Реализация подобного мероприятия оценивается в размере 55 млн руб. и позволит добиться снижения доз облучения населения до приемлемых значений, что в стоимостном эквиваленте согласно формуле (6) будет выражено в размере 70 млн руб., а $RV = 1.3$.

ВЫВОДЫ

В работе описан комплексный подход к оценке эффективности мероприятий по повышению безопасности ОИАЭ и реабилитации территорий (населенных пунктов), загрязненных в результате радиационных аварий, сформированы требования к составу и содержанию исходных данных и их источникам, определены перечни показателей, характеризующих различные аспекты эффективности реализации мероприятий, разработана методика, позволяющая сопоставлять эффективность и результативность мероприятий между собой по отдельным направлениям и в целом. В случае сложности приведения характеристик к стоимостным эквивалентам, используемые в рамках методики статистические количественные показатели могут быть переведены в показатели полезности и оценка эффективности мероприятий может быть осуществлена согласно методу многофакторного анализа полезности по выражению (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МКРЗ. Труды МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 г. Публикация 103 МКРЗ. Утверждена в марте 2007 г. / Перевод с англ. под общей ред. Киселева М.Ф. и Шандалы Н.К. М.: Изд. ООО ПКФ "Алана", 2009. 343 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99). Санитарные правила и нормативы Сан-ПиН 2.6.1.2523–09. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Минздрав России, 1999. 72 с.
3. Пронкин Н.С. Классификация водоемов-хранилищ жидких радиоактивных отходов по опасности // Атомная энергия. 2003. Т. 94. Вып. 6. С. 449–457.
4. Абалкина И.Л., Блинов Б.К., Линге И.И., Симонов А.В. Методика оценки эффективности и выбора реабилитационных мероприятий по ликвидации последствий природных и техногенных катастроф (на примере аварии на ЧАЭС) // Труды ИБРАЭ РАН. Вып. 11: Вопросы радиоэкологии / науч. ред. Линге И.И. М.: Наука, 2009. С. 11–68.
5. Radiation protection. ALARA. From theory towards practice. Final report / P.J. Stokell, J. R. Croft, J. Lochar, J. Lombard. — Commission of the European Communities, 1991. 220 p.
6. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. / Под ред. Ильина Л.А., Губанова В.А. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры: Монография. М.: ИздАТ, 2001. 751 с.
7. Бромвич М. Анализ эффективности инвестиций капиталовложений. М.: ИНФРА—М. 1996. 432 с.
8. Ильясов Д.Ф. Стоимостная оценка ущерба потерь здоровья населения от радиационного воздействия // РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2014. № 3. С. 180–183.
9. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, Р 2.1.10.1920–04, Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации 5 марта 2004 года.
10. Бирюков Д.В., Ведерникова М.В., Савкин М.Н. и др. Практические потребности развития методологии анализ риска для заключительных стадий жизненного цикла // Радиация и риск. 2015. № 3. С. 116–130.
11. Абрамов А.А., Дорофеев А.Н., Комаров Е.А., Большов Л.А., Линге И.И., Абалкина И.Л. и др. К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России. Ядерная и радиационная безопасность. 2014. № 3(73). С. 3–13.
12. Ильясов Д.Ф. Подходы к экономическому обоснованию нормативов радиационной безопасности при аварийных ситуациях // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. М.: Институт ИТКОР. 2015. Вып. № 2. С. 168–173.
13. "Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судовых и портовых гидротехнических сооружений)", утвержденная приказом федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 марта 2016 г. № 120.

Evaluation of the Efficiency of Measures to Enhance the Safety of Nuclear Facilities**D. F. Ilyasov^{a,*} and E. O. Kuznetsova^{a,**}***^aNuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences, Moscow, Russia***e-mail: idf@ibrae.ac.ru****e-mail: kuznetsova@ibrae.ac.ru*

In the scientific paper approaches to assessing the efficiency of measures for improving safety of nuclear facilities, radiation contaminated areas within settlements are discussed. According to modern approaches, the choice of a set of measures should be guided by the principle of ALARA: lower risks to population health to such a level as reasonably achievable. At the same time, in addition to radiation risk we suggest that socio-economic risks should also be taken into account. In this regard, a unified approach to the justification of the effectiveness of different measures was developed, including the lists of statistical indicators necessary to assess the consequences of the implementation of measures; also, the efficiency criteria and ranking methods were proposed. In the approach possible mechanisms for the application of advanced computational codes for the analysis of the efficiency of measures ensuring nuclear and radiation safety were described. The proposed methods should be used to assess and justify the efficiency of Federal and regional programs and measures of radiation safety.

Keywords: radiation safety, nuclear and radiation dangerous facilities, radioactive waste, radiation contaminated areas, radiation risks, socio-economic risks, ecological programs, benefits, costs, efficiency