

Концептуальные основы радиационной безопасности

Когда для решения экологических проблем и проблем охраны окружающей среды мы говорим о нормировании, то мы отчетливо понимаем, что **нормирование может осуществляться для решения разных задач.**

Наиболее разработанной формой нормирования является гигиеническое нормирование, а в его рамках — радиационное гигиеническое нормирование.

При гигиеническом нормировании человек рассматривается как наиболее важный («ценный») объект природы. Для разработки норм радиационного гигиенического нормирования были организованы, проводились и проводятся радиобиологические исследования биологических объектов всех уровней сложности.

В настоящее время гигиеническое нормирование часто применяется и при оценках воздействия поллютантов на окружающую среду. Это обусловлено тем, что **в большинстве случаев нормы гигиенического нормирования более жесткие, чем нормы экологического нормирования, когда они есть.**

Основная цель гигиенического нормирования заключается в том, чтобы предотвратить появление детерминированных эффектов, ограничивая дозы уровнями ниже тех, которые считают пороговыми для этих эффектов.

Детерминированные эффекты становятся актуальными при аварийных ситуациях, а также наблюдаются в здоровых тканях, неизбежно облучаемых во время радиотерапии.

Что касается **стохастических эффектов**, то целью гигиенического нормирования является обеспечение всех разумных шагов для того, чтобы **снизить вероятность их появления**. Так как в настоящее время при рассмотрении малых доз риск рака считают основным эффектом, то большое внимание концентрируется на оценке вероятности индуцирования рака.

Для обеспечения гигиенического нормирования необходимо знать, как количественно изменяются с дозой вероятность стохастических эффектов и степень тяжести детерминированных эффектов.

Прямым источником информации являются сведения, полученные непосредственно при исследованиях результатов воздействия излучения на человека. Много сведений для оценки механизмов повреждений и о взаимосвязи между дозой и вредными эффектами у человека берут из исследований на микроорганизмах, изолированных клетках, выращенных *in vitro*, и на животных. Нужно помнить, что непосредственно эти сведения нельзя применить в радиационной безопасности и все они требуют серьезной интерпретации.

Выводы, необходимые для гигиенического нормирования, основываются на данных о радиационных эффектах у человека, а остальные сведения используются для их подкрепления.

Люди подвергаются **облучению** от разнообразных естественных и искусственных источников ионизирующих излучений **в различных ситуациях**. Поэтому **система радиационной безопасности должна учитывать это многообразие**, а не ориентироваться на некоторую гипотетическую, общую для всех ситуацию.

Система обязана базироваться на наиболее полном, на момент разработки, научном обосновании и в тоже время быть социально приемлемой.

Система радиационной безопасности должна быть нацелена на то, чтобы приносить больше пользы, чем вреда, должна требовать таких мер безопасности, которые дадут максимальную чистую пользу, и **должна ограничить несправедливость**, которая может возникнуть при столкновении интересов отдельных лиц и общества в целом.

Система безопасности должна быть насколько возможно универсальной в логическом отношении и быть применимой для различных ситуаций.

Многообразии ситуаций описывается посредством введения представлений о **видах деятельности** и **видах облучения**.

Принято выделять **два вида деятельности**, приводящие к облучению.

1. "практическая деятельность" (Те виды человеческой деятельности, которые увеличивают общее облучение вследствие подключения новых групп источников, новых путей воздействия источников на человека и новых лиц принято называть "практической деятельностью"), которая приводит к **увеличению общего облучения** и

2. "вмешательство" (Те виды человеческой деятельности, которые могут уменьшать общее облучение, например вследствие удаления имеющихся источников, изменения путей воздействия или уменьшения числа облучаемых лиц принято называть "вмешательством"), которое **может снизить общее облучение**.

Виды облучения принято делить на:

профессиональное облучение, т. е. облучение во время и в результате работы;

медицинское облучение, что вмещает в себя диагностику и лечение, и

облучение населения, которое включает все другие виды облучения.

Иногда возможность облучения существует, но нет уверенности, что оно произойдет. В этом случае **говорят** о "**потенциальном**" **облучении**.

Система радиационной безопасности для практической деятельности **основана на следующих принципах.**

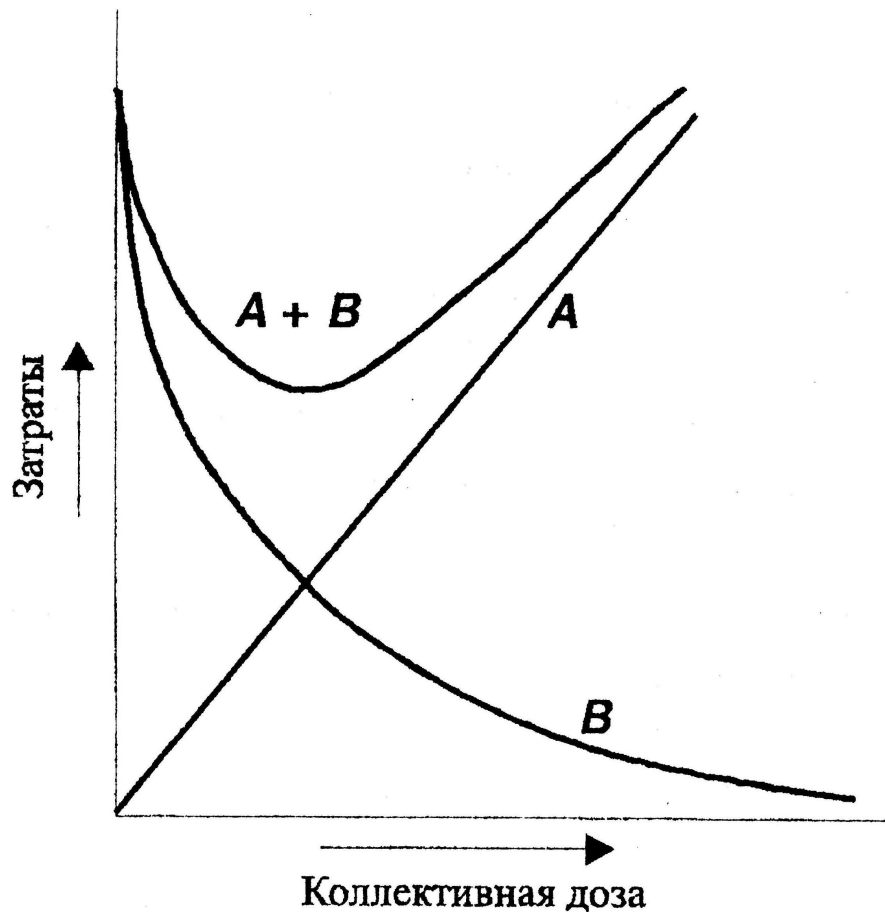
а. Никакая практическая деятельность, связанная с облучением, не должна приниматься, если польза от нее для облученных лиц или общества в целом не превышает ущерба от вызванного ею облучения. **Если польза явно больше, то говорят об оправданности практической деятельности или о принципе обоснования;**

Б. Для любого отдельного источника облучения значения индивидуальных доз, число облученных лиц и вероятность потенциального облучения должны поддерживаться на столь низких уровнях, какие только могут быть разумно достигнуты с учетом экономических и социальных факторов. В этом случае говорят **об оптимизации защиты** или **о принципе оптимизации**.

Минимальные расходы получаются путем **суммирования** двух слагаемых: **стоимости вреда для здоровья людей**, который может быть причинен облучением при данном уровне радиационной защиты, **и расходов на эту защиту**.

Вредом являются злокачественные новообразования, для которых принята линейная беспороговая зависимость.

В рамках этой гипотезы можно ввести понятие “**цена здоровья**” облученных лиц. Цена здоровья — это **стоимость компенсации ожидаемого вреда для здоровья этих людей** и она **является в рассматриваемом случае линейной функцией коллективной дозы**, складывающейся из тех индивидуальных доз, которые будут получать отдельные лица в результате реализации рассматриваемого вида деятельности. Графически — прямая А на рис.



- A — зависимость цены здоровья от величины коллективной дозы,
- B — затрат на радиационную защиту и
- $A + B$ — сумма общих издержек от величины коллективной дозы

Кривая B характеризует зависимость затрат на радиационную защиту (т.е. на снижение риска) от величины коллективной дозы. **Затраты на радиационную защиту весьма велики при обеспечении малых коллективных доз и становятся меньше, если допускаются большие приемлемые дозы.**

Суммарная кривая $A+B$ имеет минимум, который и соответствует оптимальным величинам цены здоровья и затрат на радиационную защиту (снижение риска). (В практике защиты окружающей среды нашел распространение принцип оптимизации, известный под аббревиатурой ALARA: “as low as reasonably achievable”. В данном случае мы имеем применение этого принципа для целей радиационной защиты)

В рамках этого подхода к оптимизации **принимается во внимание состояние здоровья всего общества в целом**, т.е. ставится задача **обеспечить коллективную защиту от риска, но не защиту отдельных индивидуумов.**

Могут сложиться условия, в которых оптимальная коллективная доза включает в себя в качестве отдельных слагаемых достаточно большие индивидуальные дозы. В подобных случаях требуется обеспечить защиту отдельных лиц, подвергаемых риску наибольшего облучения.

Предотвращение облучения индивидуумов чрезмерно высокими дозами является содержанием третьего принципа радиационной защиты.

В. Облучение отдельных лиц от сочетания всех соответствующих видов практической деятельности должно ограничиваться пределами индивидуальных доз облучения граждан или контролем риска в случае потенциального облучения.

В этом случае говорят о **пределе индивидуальной дозы и риска** или **○ принципе нормирования.**

Обратимся ко второму виду деятельности, приводящему к облучению — к **"вмешательству"**

В случае вмешательства:

а. Предполагаемое **вмешательство должно принести больше пользы, чем вреда**, т. е. уменьшение ущерба в результате уменьшения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред от вмешательства и затраты на него, включая социальные затраты.

б. Форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от уменьшения дозы, т. е. польза от уменьшения ущерба от излучения за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была максимальной.

Неотъемлемой частью любой системы радиационной безопасности является **МОНИТОРИНГ.** (В самом общем случае — в случае профессионального облучения — мониторинг может осуществляться за счет контроля: источника — путем фиксации его параметров и непосредственной защиты; окружающей среды — наблюдая за вентиляцией и дополнительной защитой; человека — предъявляя требования к рабочим операциям, используя защитную одежду и оборудование. При медицинском облучении также возможны все виды контроля, но это будет скорее всего в качестве части основной задачи — диагностики или лечения, а не как части отдельной системы безопасности.)

Для ограничения облучения людей могут быть предприняты разные меры.

Соответствующие действия можно предпринимать по отношению:

**к источнику,
к окружающей среде или
к человеку.**

Действия будут **наименее разрушительны, если они применены к источнику**. Они могут быть настолько эффективны, насколько это требуется, если не откажут в результате аварии.

В пределе действие может сводиться к прекращению применения источника. Т. т., **где возможно — предпочтителен контроль источника**.

Только если контроль источника не может быть достаточно эффективным, следует контролировать окружающую среду или людей.

Действия, приложенные к окружающей среде или к людям, влекут за собой больше неудобств и могут иметь отрицательные социальные последствия, не все из которых можно предвидеть.

Существенным инструментом в области гигиенического нормирования являются **пределы индивидуальной дозы (ПД)**.

Они устанавливают четкие границы применения более субъективных методов и предотвращают чрезмерный индивидуальный ущерб, который мог бы возникнуть от сочетания различных видов практической деятельности.

Эти пределы следует использовать **только при контроле практической деятельности**.

Определение и выбор пределов дозы включают их социальную оправданность.

Так как для ионизирующих излучений официально принята беспороговая концепция в зависимости доза-эффект, то **выбор «приемлемых» пределов нельзя основывать на рассмотрении одного здоровья.**

Многие забывают о **социальном компоненте норм** и это приводит к ложным воззрениям. Так например, мы должны помнить, что:

а) предел дозы широко, но ошибочно считают демаркационной линией между "безопасно" и "опасно";

б) предел дозы не является наиболее простым и эффективным путем удерживать облучения на низком уровне;

в) предел дозы не является единственной мерой строгости системы безопасности.

Пределы доз не предназначены для чрезвычайных обстоятельств и не являются руководством при ликвидации последствий аварий.

Их заменяют специально разработанными предписанными пределами или специфическими уровнями дозы, побуждающими начать определенные действия.

Дозы от крупных аварий не подпадают под пределы доз, с ними приходится иметь дело только при вмешательстве.

Осуществление вмешательства подразумевает профессиональное облучение и должно рассматриваться соответствующим образом.

Экологическое нормирование

Для анализа экологических проблем хотелось бы иметь и развитое экологическое нормирование.

В то же время очевидно, что огромный объем работ, необходимых для этого, отодвигает решение стоящих здесь задач в отдаленное будущее.

Тем не менее, **если мы сравниваем ситуацию с той, которая имеет место при оценке воздействия других поллютантов на биоту, то положение дел представляется не таким уж и плохим.**

Необходимо иметь в виду **существенное различие между гигиеническим нормированием**, направленным на охрану человека, независимо от его состояния здоровья, возраста и других факторов, и **экологическим нормированием**.

Законы жизни, диктуемые самой природой, совсем другие. Существование отдельных биологических видов, популяций или экосистем в общем случае не зависит от выживания отдельного растения или животного.

Защита природной среды означает защиту нормального существования популяции, сообщества или экосистемы, даже если какая-то часть отдельных организмов будет повреждена радиацией.

Окружающая среда рассматривается, в основном, как путь проникновения радионуклидов к человеку.

Ограничения дозы, получаемой человеком, устроены так, что даже наиболее уязвимые части трофических цепей наиболее вероятно не проявят себя. Часто говорят так: что защитит человека, то защитит и природу. (В Публикации 26 МКРЗ записано: «if man is adequately protected then other living things are also likely to be sufficiently protected». Затем, в Публикации 60 появилось дополнение: «individual members of non-human species might be harmed but not to the extent of endangering whole species or creating imbalance between species.»)

Имеются определенные ограничения применимости этого принципа:

1. есть ситуации, когда отсутствуют трофические цепи, ведущие к человеку. Так например, сбросы радионуклидов в глубоководных районах мирового океана могли привести к опасным дозам для биоты, в то время как по отношению к человеку все существующие нормы выдерживались.
2. Декларации о защите окружающей среды введены в настоящее время в содержание международных договоров и в законодательство многих стран. В результате, как это может показаться ни странным, это затрудняет проведение оценок воздействий на окружающую среду.
3. Нормирование для других поллютантов в общем случае развито хуже, чем для радионуклидов, тем не менее в случае тяжелых металлов и органики имеются специфические стандарты (критерии) для защиты окружающей среды. Примером могут служить их концентрации в наиболее уязвимых представителях биоты.

В последние годы растет понимание того, что **нормативы, обеспечивающие защиту человека, не всегда позволяют в равной степени защитить другие объекты живой природы.**

В биосфере находятся миллионы видов, отличающихся от человека по многим параметрам и в том числе по радиочувствительности. **Условия существования этих видов в естественных экосистемах несравнимы с условиями жизни человека, а дозы облучения некоторых из видов могут существенно отличаться от доз, получаемых человеком.**

Когда говорится о разработке **принципов** радиационного нормирования для объектов окружающей среды, **подразумевается не замена (или ужесточение) существующих нормативов, основанных на антропоцентрическом принципе, а совершенствование концептуальных основ системы радиационной защиты.**

Основой радиационного нормирования для объектов окружающей среды должны стать методы оценки экологического риска.

Для оценки воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду в ближайшие годы предлагается создать **перечень реперных видов флоры и фауны** (сейчас фактически используется один репер — человек), а также систему величин и единиц для описания доз облучения биоты, дозовые модели и дозовые зависимости для всех реперных организмов.

Реперные для экосистем данного типа организмы должны отвечать **следующим требованиям:**

а. быть не только типичными для данной экосистемы, но и в значительной степени определять ее «лицо». Сохранение данного вида должно гарантировать и сохранение всей экосистемы;

б. они должны в наибольшей степени подвергаться радиационному воздействию и обладать высокой радиочувствительностью.

A priori не очевидно, что в каждой экосистеме существуют подобные организмы.

Есть проблема с весовыми факторами W_R и затем расчетом эквивалентной дозы. Пока **нет официальных значений W_R кроме тех, которые установлены для человека.**

Фактический задел в деле разработки принципов радиационного нормирования для объектов окружающей среды связан, в основном, с моделированием и расчетами.

Г.Г. Поликарпова (1998, 2001), предложил концептуальную схему классификации эффектов хронического облучения, основанную на изменениях в наиболее радиочувствительных организмах, популяциях и экосистемах. В рамках схемы имеются **следующие категории**:

1. Зона «неопределённости» (ниже самого низкого значения фона ионизирующих излучений)
2. Зона «радиационного благополучия» (область радиационного фона)
3. Зона «физиологической маскировки (экранирования)» ($0,005 - 0,1 \text{ Гр}\cdot\text{год}^{-1}$); в этой зоне могут наблюдаться незначительные цитогенетические и физиологические эффекты и эффекты ухудшения здоровья; однако масштаб этих эффектов порядка естественного физиологического разброс.
4. Зона «экологической маскировки (экранирования)» ($0,1 - 0,4 \text{ Гр}\cdot\text{год}^{-1}$); ряд радиационных эффектов может быть зарегистрирован на организменном уровне, но в экосистемах из-за эффектов естественного отбора, изменчивости условий и т. д. будет происходить существенная маскировка этих эффектов.
5. Зона повреждений сообществ/экосистем ($\gg 0,4 \text{ Гр}\cdot\text{год}^{-1}$); в этой зоне явно наблюдаются радиационные эффекты, включая повышенную смертность организмов, исчезновение некоторых видов, «обеднение» экосистем.
6. Радиационный порог летальности биосферы ($\gg 4 \text{ Гр}\cdot\text{год}^{-1}$).

Эта схема предоставляет общий взгляд на диапазон био-экологических эффектов радиации.

Для наиболее загрязненных мест в районе Кыштыма и Чернобыля типичной является мощность дозы $\sim 10 \text{ мГр}\cdot\text{день}^{-1}$.