

Радиация и окружающая среда: оценка воздействия излучения на флору и фауну

*Обзор отчета, недавно опубликованного Научным комитетом
Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации*

Гордон Линсли

Международный орган, известный как Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), периодически производит обзор воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду. В прошлом году Комитет впервые опубликовал отчет, содержащий обзор такого воздействия именно на растения и животных*. Хотя отчет не содержит неожиданных открытий, он помогает обратить внимание на то, что меняется характер оценки научным сообществом потенциальных последствий излучения для окружающей среды.

Ранее в научных оценках растения, животные и прочие живые организмы рассматривались как часть окружающей среды, в которой происходит дисперсия радионуклидов. Позднее эти организмы стали рассматривать как источники, которые после заражения могут увеличить дозу облучения человека, поскольку некоторые из них входят в его пищевую цепь и представляют собой пути передачи радионуклидов людям. Короче говоря, оценки отражали общепринятый тогда взгляд: акцент в исследованиях делался на человеке — одном из наиболее радиочувствительных видов млекопитающих — и на разработке надежных средств защиты его здоровья.

Однако такая позиция недавно была подвергнута сомнению. Было доказано, что существует по крайней мере один элемент среды — а именно глубоководные отложения, т. е. область, весьма удаленная от людей, — в отношении которого указанные выше приоритеты могут считаться некорректными**. Кроме того, губительное воздействие на среду в результате крупных аварийных выбросов радионуклидов было также отмечено на ограниченных территориях, где растения и животные получили кратковременную, но очень высокую дозу облучения. Так произошло, например, в зоне аварии на юго-востоке Урала в 1957 г. и в зоне чернобыльской катастрофы в 1986 г.

Обзор НКДАР ООН был подготовлен с учетом этой обеспокоенности и с целью убедительно показать, что потенциальное воздействие радиации на окружающую среду может быть полностью принято — и действительно принимается — во внимание. В обзоре признается, что растения, животные и другие организмы планеты сами подвергаются внутреннему облучению от накопившихся в их тканях радионуклидов и внешнему облучению — от радионуклидов, находящихся в окружающей природной среде. В этой статье рассматриваются основные выводы обзора НКДАР ООН.

Контекст оценок средового воздействия

Присутствие в окружающей среде космического излучения, а также радионуклидов природного и антропогенного происхождения означает, что все земные популяции организмов находятся под воздействием ионизирующего излучения. Считается, что для человеческого организма вероятность неблагоприятного воздействия излучения возрастает, если доза воздействующей радиации превышает дозу естественного облучения. То же относится, как полагают, и к другим живым организмам.

Однако оценка фактора риска по отношению к ним существенно отличается. При оценке воздействия радиации на людей главным объектом защиты из этических соображений становится *индивид*. На практике это означает, что возрастание риска для человека вследствие увеличения дозы облучения должно удерживаться ниже определен-

* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, UNSCEAR 1996 Report to the General Assembly, with Scientific Annex, United Nations sales publication E.96.IX.3 (1996).

** *Assessing the impact of deep-sea disposal of low-level radioactive waste on living marine resources*, Technical Reports Series No. 288, IAEA, Vienna (1988).

Г-н Линсли — руководитель Секции безопасности отходов Отдела радиационной безопасности и безопасности отходов МАГАТЭ.

ного уровня, который общество принимает как допустимый. Этот уровень риска, хотя и незначительный, не приравнивается к нулю.

В отношении других организмов понятие риска носит менее отчетливый характер. Люди выражают широкую гамму отношений к представителям других видов, населяющих планету, — вспомним, например, отношение к популяциям комаров, с одной стороны, и к отдельной особи большой панды — с другой. Что касается подавляющего большинства организмов, то на первое место мы ставим не особь, а *популяцию* и выдвигаем в качестве задачи защиты каждой популяции от любого повышенного риска, связанного с радиацией. Исключением могут стать малочисленные популяции (редкие виды) или медленно воспроизводящиеся (длительный период подрастания потомства и/или низкая плодовитость), в отношении которых, возможно, более целесообразно предусмотреть меры защиты на уровне отдельных организмов.

В зависимости от поставленной задачи — спасти одного или многих — средства защиты, когда дело доходит до оценки средового воздействия, могут существенно варьироваться. Очевидно одно: не может быть последствий на уровне популяции (или на более высоких уровнях сообществ и экосистем), если они отсутствуют у составляющих ее особей. Это, однако, не означает обратного: выявленная облученность отдельных организмов популяции не позволяет делать вывод о значительных последствиях воздействия радиации на популяцию в целом.

При оценке факторов средового воздействия необходимо учитывать еще несколько обстоятельств. Во-первых, естественные популяции организмов находятся в состоянии динамического равновесия в пределах своих сообществ и окружающей их среды, и ионизирующее излучение является лишь одним из ряда стрессовых факторов, которые могут влиять на это равновесие. Следовательно, повышенный фон радиации антропогенного происхождения не может рассматриваться отдельно от других стрессовых факторов. К ним относятся как природные явления (например, климат, высота над уровнем моря, вулканическая деятельность), так и антропогенные (например, наличие искусственных химических токсинов, слив нефти, промышленная или спортивная добыча, уничтожение мест обитания). В тех случаях, когда, как нередко случается, ионизирующее излучение и химикаты — продукты человеческой деятельности — оказывают на популяцию совокупное действие, возникает сложная проблема корректного соотношения выявленной реакции с определенным источником.

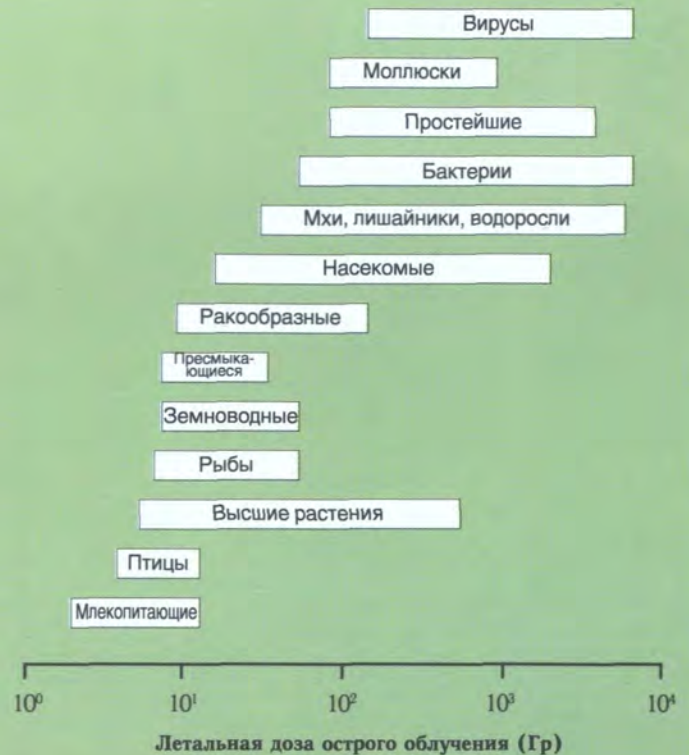
Выводы обзора НКДАР ООН

Все живые организмы существуют и выживают в окружающей среде, где они в большей или

меньшей степени подвержены излучению как от природных, так и антропогенных источников, включая загрязнение в результате глобального выпадения радиоактивных веществ — продуктов испытания ядерного оружия в атмосфере. Иногда — как правило, это наблюдается в ограниченных зонах — происходит повышение радиационного фона вследствие санкционированного (контролируемого) выброса радиоактивных отходов в атмосферу, их попадания в почву, или сброса в водоемы, или же вследствие аварийной утечки. В большинстве случаев видимых последствий подобного дополнительного облучения для дикорастущих растений и природной фауны не наблюдалось. Однако были обнаружены радиационные поражения отдельных организмов и популяций в результате серьезных катастроф, а отдаленные последствия могут проявиться в сообществах и экосистемах в условиях хронического повышенного уровня облучения.

Существует сравнительно немного доступных данных о воздействии естественного фона радиации и радионуклидов на природные организмы. Эти данные относятся к очень узкому кругу организмов, однако в отношении морской среды на их основании можно составить достаточно полную картину диапазона мощности доз облучения, которым они могут подвергаться. Поскольку оценки в большинстве случаев делаются либо на основании локализованных измерений содержания радионуклидов в организме и в непосредственной среде его обитания, либо на основании абстрагированных данных об организмах в состоянии равновесия, существует очень мало информации о динамике доз облучения во времени, которую можно было бы ожидать вследствие кратковременных колебаний мощности выброса, об изменениях на различных стадиях жизненного цикла, смене характера поведения и о влиянии таких краткосрочных средовых факторов, как смена времен года. Нехватка информации затрудняет оценку суммарных доз, которые должны аккумулироваться на отдельных этапах жизненного цикла, т. е. начиная с эмбриональной стадии развития и кончая наступлением половозрелого возраста.

Оказывается, что как в земной, так и в водной среде значительную часть мощности дозы естественной фоновой радиации составляет альфа-излучение. Основными источниками его в первой являются изотоп радон-222 и короткоживущие продукты его распада, а во второй — изотоп полоний-210. Из-за короткого пробега альфа-частиц мощность поглощенной дозы зависит от ткани организма, и для анализа результатов воздействия необходима более полная информация о распространении радионуклидов в отдельных важных органах биологических объектов (например, развивающийся эмбрион или гонады), чтобы точно определить дозу фоновой радиации. Обычно мощность дозы естественного радиоактивного облучения составляет до нескольких микрогрей в час, но в исключительных обстоятельствах (например, в случае гепатопанкра у мелкой пелаги-



В таблице указан приблизительный диапазон летальных доз облучения для различных таксономических групп; сравнительный показатель радиочувствительности.

ческой морской креветки) мощность поглощенной дозы может достигать 150 микрогреев в час.

Радиоактивные отходы. Признано, что выбросы радиоактивных отходов в окружающую среду повышают дозу облучения природных организмов. Приводимые в обзоре оценки показывают, что в результате выброса радиоактивных веществ в атмосферу, их сброса в грунт или в поверхностные водоемы доза радиоактивного облучения некоторых (но не всех) особей эндемичных природных популяций может достичь 100 микрогреев в час. В исключительных случаях — в зависимости от содержания определенных радионуклидов в отходах — мощность поглощенной дозы облучения может достигать нескольких тысяч микрогреев в час. А в единичных случаях мощность дозы, определенной в результате измерения содержания радионуклидов в загрязненной среде, была в целом подтверждена измерениями *in situ* с использованием прикрепленных к животным дозиметров.

Аварийные выбросы. Доза радиации в окружающей среде, подвергшейся загрязнению вследствие аварийного выброса, со всей очевидностью зависит от количества определенных радионуклидов, продолжительности утечки, от характера начального рассеивания, структуры выпадения радиоактивных веществ и их последующего перераспределения в ходе происходящих в окружаю-

щей среде процессов. Столь же очевидно, что аварийные выбросы, в отличие от нормальных условий работы, могут приводить к значительно более высокой мощности поглощенных доз радиоактивного облучения и к более высоким суммарным дозам в окружающей среде. Так произошло в результате аварий на юго-востоке Урала и в Чернобыле, где, как показали многочисленные исследования, деревья (и, надо полагать, другие организмы), расположенные вблизи от места выбросов, по всей вероятности, поглотили дозы мощностью до 2000 греев на Урале и 100 греев в Чернобыле за сравнительно короткие отрезки времени. На обоих площадках хронические дозы излучения осадков долгоживущих радионуклидов продолжали быть значительно выше, чем дозы излучения контролируемых выбросов радиоактивных отходов.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что именно реакция растений и животных на хроническое облучение максимальной мощностью поглощенной дозы 1000 микрогреев в час дает основание для оценки воздействия на окружающую среду контролируемых выбросов радиоактивных отходов; на практике же в большинстве случаев будет достаточно иметь информацию о реакции на менее высокую мощность дозы — до 100 микрогреев в час.

Опыт показал, что в случаях аварийных выбросов начальная доза радиации может быть до-

Сравнительная радиочувствительность организмов

статочной высокой, чтобы за относительно короткий срок (дни) была накоплена летальная доза. Учитывая это, необходимы дополнительные данные, на основании которых можно предсказывать характер процесса восстановления окружающей среды при обычно достаточно низких долговременных хронических дозах облучения — ниже верхнего предела диапазона (1000 микрогреев в час), что представляет интерес для оценки последствий захоронения радиоактивных отходов.

Радиочувствительность. Существует широкий диапазон, в пределах которого организмы проявляют чувствительность к летальным дозам облучения. Общая классификация была составлена на основе анализа объема хромосом в ядре чувствительных клеток в интерфазе. Эти и другие результаты экспериментального облучения показывают, что наиболее чувствительны к действию радиации млекопитающие, за ними следуют птицы, рыбы, пресмыкающиеся и насекомые. Чувствительность растений к излучению варьируется в самых широких пределах, частично совпадая с показателями для животных. Менее всего чувствительны к высоким дозам радиации мхи, лишайники, водоросли и микроорганизмы, в частности бактерии и вирусы. (См. табл. на предыдущей стр.)

Степень чувствительности к радиации также зависит от стадии жизненного цикла, на которой находится облучаемый организм. Эмбрионы и молодые особи более радиочувствительны, чем взрослые. Например, заметную чувствительность к излучению проявляют эмбрионы рыб. На разных стадиях развития насекомых их радиочувствительность значительно варьируется. В целом же полученные данные свидетельствуют, что радиочувствительность больше сказывается на производстве жизнеспособного потомства путем гаметогенеза и репродукции на уровне популяции, чем на смертности отдельных особей.

У наиболее чувствительных к радиации видов растений последствия хронического облучения наблюдались при мощности дозы от 1000 до 3000 микрогреев в час. Было выдвинуто предположение, что хронические дозы мощностью менее 400 микрогреев в час (10 миллигреев в день) также окажут воздействие на радиочувствительные растения, хотя и незначительное. Маловероятно, однако, что они приведут к пагубным последствиям для широкого круга растений, представленных в дикорастущих сообществах.

* *Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by current radiation protection standards*, Technical Reports Series No. 332, IAEA, Vienna (1992).

** International Commission on Radiological Protection, 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21 (1-3), Pergamon Press, Oxford (1991).

*** См. "Environmental impact of radioactive releases: Addressing global issues", IAEA Bulletin, Vol. 38, No. 1 (1996).

В отношении млекопитающих — наиболее радиочувствительного вида животных — существует мало признаков того, что поглощенная особью, подвергшейся наиболее сильному облучению, доза мощностью 400 микрогреев в час способна серьезно повлиять на показатель смертности в популяции. При мощности дозы на порядок меньше (40—100 микрогреев в час) тот же вывод может быть сделан в отношении последствий для репродуктивности. Основным выводом относительно воздействия радиации на водные организмы состоял в том, что максимальная доза в 400 микрогреев в час для небольшой части особей — а следовательно, и более низкие средние дозы для остальных организмов — не будут иметь вредных последствий на уровне популяции. Крайне трудно установить дозу радиации, способную привести к пагубным последствиям, принимая во внимание длительность процесса восстановления (включая естественную регенерацию и миграцию особей из близлежащих, менее загрязненных зон), компенсацию действия радиоактивных веществ и комплекс других смазывающих картину факторов, присутствующих в естественных сообществах растений и животных как в земной, так и в водной среде.

Деятельность и планы МАГАТЭ в области охраны окружающей среды

Результаты обзора НКДАР ООН о воздействии радиации на окружающую среду в целом подтвердили выводы исследования МАГАТЭ, опубликованного в 1992 г.*. Дальнейшее подтверждение нашло положение, выдвинутое Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ), о том, что "норма по контролю окружающей среды, необходимая для защиты человека в той степени, которая в настоящее время является желательной, гарантирует от риска другие виды"**.

Однако, как признается в исследованиях НКДАР ООН и МАГАТЭ, есть обстоятельства, при которых этот общий вывод не имеет силы. Кроме того, существует мнение, что положение МКРЗ может быть ошибочно истолковано как отсутствие заботы об окружающей среде. В силу этого и других обстоятельств в ряде стран возникло движение в поддержку выработки специальных норм по охране окружающей среды. Дискуссии на эту тему состоялись на симпозиуме МАГАТЭ в 1996 г.***, и поскольку дебаты все еще продолжаются, Агентство проведет серию консультаций экспертов в 1997 и 1998 гг. с целью выяснения преобладающего мнения по этим вопросам среди государств-членов. В зависимости от исхода обсуждений одной из осуществимых задач представляется разработка нормы безопасности, в которой воплотится международный консенсус по этой важной проблеме. □