

УДК 574::539.1.04:504(477)

Коваленко Г.Д. (Україна, Харків)

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И НАСЕЛЕНИЕ УКРАИНЫ

В структурном отношении территория Украины представляет собой систему генетически связанных блоков, или геоструктурных регионов, отличающихся пространственным расположением, внешней формой, геологическим возрастом, составом горных пород, особенностями рельефа, комплексом полезных ископаемых.

Центральной и крупнейшей геоструктурной областью территории Украины, ее ядром является Украинский кристаллический щит, площадь которого вместе с северо-восточным и юго-западными склонами составляет 237,91 тыс. км², или 39,6% всей территории. Положение Украинского кристаллического щита, его сложное геологическое строение с широким развитием магматических, метаморфических и осадочных пород определили условия протекания экзогенных геологических процессов, направления стока и сноса материала. На всех этапах геологического развития территории Украины щит был поставщиком осадочного материала в бассейны прилегающих к нему геологических структур. В области Украинского кристаллического щита широко распространены минералы и минеральные источники, обогащенные радиоактивными элементами.

1 Формирование естественного радиационного фона на территории Украины

Естественный радиационный фон складывается из двух компонентов [1, 2, 3]:

† космического излучения;

† излучения от рассеянных в земной коре, почве, воздухе, воде и других объектах внешней среды естественных радионуклидов.

Важной особенностью естественного излучения является то обстоятельство, что оно действует на все население земного шара, а также тот факт, что оно действует и действовало в прошлом на относительно постоянном уровне в течение весьма длительного времени. В силу указанных причин уровень естественного излучения может использоваться как эталонный для сравнения с излучением от искусственных источников [1].

1.1. Вклад космического излучения в формирование радиационной обстановки

Первичное космическое излучение в основном состоит из протонов высоких энергий (около 90%), попадающих в солнечную систему из межзвездного пространства, ионов ⁴He, которые составляют 10% первичного галактического излучения, и, в значительно меньшем количестве, из более тяжелых частиц, а также электронов, фотонов и нейтронов. Высокоэнергетичное космическое излучение при взаимодействии с атмосферой Земли образует вторичное космическое излучение, состоящее из нейтронов, протонов, π-мезонов и К-мезонов, а также космогенных радионуклидов, таких как ³H, ⁷Be, ¹⁰Be, ²²Na и ²⁴Na. В нижних слоях поток частиц состоит в основном из мезонов, образовавшихся при распаде заряженных пионов на больших высотах, и электронов, образующихся во время ионизации фотонов и нейтронов.

Суммарная мощность эквивалентной дозы в воздухе от космического излучения на уровне моря складывается из мощности мюонного излучения (31,3 нЗв/ч), электронного излучения (2,7 нЗв/ч), фотонного излучения (5,9 нЗв/ч) и нейтронного излучения (3,5 нЗв/ч) и будет равна 46,4 нЗв/ч [4, 5].

1.2 Роль естественных радионуклидов в формировании радиационной обстановки

В биосфере Земли содержится около 300 радионуклидов, которые можно разделить на две категории: примордиальные и космогенные.

Примордиальные радионуклиды подразделены на две группы: радионуклиды уранорадиевого и ториевого рядов и радионуклиды, находящиеся вне этих радиоактивных рядов. В первую группу входит 45 радионуклидов – продуктов распада урана и тория; во вторую – 42 радиоактивных изотопа 32 химических элементов, не связанных с радиоактивными семействами.

Космогенные радионуклиды образуются в основном в атмосфере в результате взаимодействия протонов и нейтронов с ядрами N, O, Ar, а затем выпадают на поверхность земли с атмосферными осадками. К ним относятся ³H, ⁷Be, ¹⁴C, ²²Na и др. Основными космогенными

радионуклидами – источниками внутреннего облучения – являются ^3H , ^{14}C , а источниками внешнего облучения – ^7Be , ^{22}Na .

2 Техногенные источники загрязнения радионуклидами окружающей природной среды

Создание и испытания ядерного оружия, развитие ядерной энергетики, а также связанных с ней научных исследований и технологий, авария на ЧАЭС привели к увеличению радиационного фона. На территории Украины (рис. 1) находится пять атомных станций с 15 действующими блоками (3 блока выведены из эксплуатации, 2 блока находятся в стадии строительства), два исследовательских реактора: ВВР-М (Киевский институт ядерных исследований); ДР-100, одна критическая сборка (Севастопольский институт ядерной энергетики и промышленности), объект "Укрытие", шесть межобластных спецкомбинатов (МСК) по захоронению радиоактивных отходов, пять горнодобывающих комбинатов и два гидрометаллургических завода по переработке урана, несколько тысяч предприятий, использующих радиоактивные вещества, радиоизотопные приборы и источники ионизирующих излучений.

2.1 Ядерные взрывы как источник загрязнения радионуклидами окружающей природной среды

Испытание ядерного оружия в атмосфере проводилось с 1945 по 1980 гг. и явилось причиной поступления огромного количества радионуклидов в окружающую природную среду. Наиболее интенсивные испытания ядерного оружия были проведены в 1954–1958 гг.

Долгоживущие радионуклиды ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{137}Cs , Pu, образовавшиеся в процессе испытаний ядерного оружия, являются определяющими в формировании дозы облучения населения в настоящем и будущем. Выход нуклидов ^3H и ^{14}C , пропорционален мощности взрыва за счет реакции синтеза.

2.2 АЭС Украины

Для сравнения значений выбросов радионуклидов АЭС использовались величины нормированных выбросов, усредненные за период исследований 2005 -2008 гг. (табл. 1).

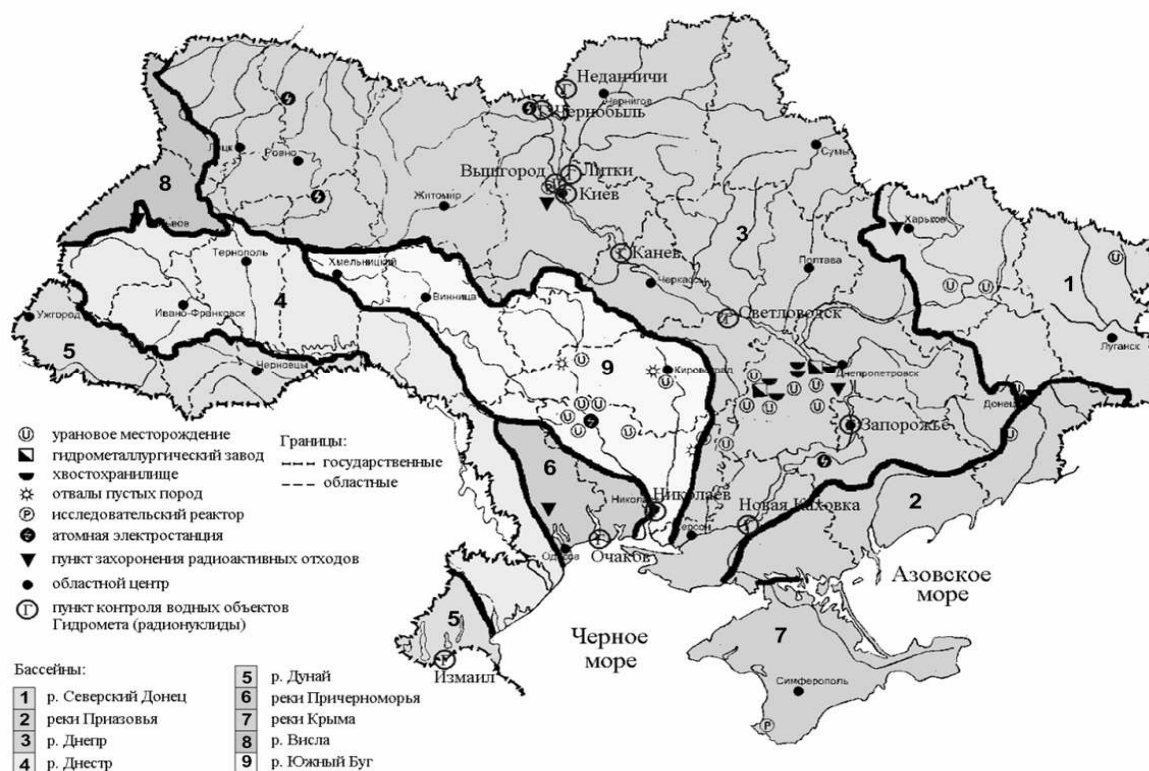


Рисунок 1а - Расположение радиационно опасных объектов на территории Украины

Среднегодовая нормированная величина выброса углерода-14 для реакторов типа ВВЭР может достигать величины $6,9 \cdot 10^7$ Бк/(МВт(эл.)·год). Фактические выбросы трития можно принять за $0,74 \cdot 10^{10}$ Бк/(МВт(эл.)·год) для ВВЭР [6].

2.3 Пункты захоронения радиоактивных отходов

В Украине расположено пять действующих межобластных спецкомбинатов (МСК): Днепропетровский, Львовский, Одесский, Харьковский, Киевский – и один, законсервированный в 1965 г., – Донецкий, которые имеют пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) и созданы для сбора и захоронения РАО предприятий и организаций, которые не относятся к ЯТЦ [9].

Общая активность к конец 2007 г. составляла около 10000 Ки в Харьковском МСК, 15000 Ки - в Днепропетровском МСК, почти 75000 Ки – в Киевском МСК, около 7000 Ки – в Одесском и Львовском МСК. В Донецком МСК захоронено около 1000 Ки.

2.4 Горнодобывающие и перерабатывающие предприятия

В местах добычи и переработки полезных ископаемых в окружающую природную среду дополнительно поступает значительное количество радионуклидов. Потенциальными источниками радиационной опасности являются, в первую очередь, урановые рудники и их отвалы, предприятия по переработке урановых руд и их хвостохранилища.

Таблица 1

Усредненные нормированные на единицу номинальной мощности выбросы групп радионуклидов за период 2005-2008 гг.

АЭС	ДЖА, Бк/(МВт(эл.)·год)	ИРГ, Бк/(МВт(эл.)·год)	¹³¹ I, Бк/(МВт(эл.)·год)
Запорожская	$4,14 \cdot 10^4$	$7,26 \cdot 10^{10}$	$3,77 \cdot 10^4$
Ровенская	$4,72 \cdot 10^4$	$1,75 \cdot 10^{10}$	$8,63 \cdot 10^4$
Хмельницкая	$1,54 \cdot 10^4$	$7,23 \cdot 10^9$	$4,27 \cdot 10^4$
Южноукраинская	$1,20 \cdot 10^4$	$1,23 \cdot 10^{10}$	$1,42 \cdot 10^5$

Таблица 2

Дополнительное количество случаев фатального рака и общее количество случаев стохастических эффектов для населения Украины

Источник	Индивидуальная доза, Зв (70 лет)	Вероятность фатального рака	Вероятность стохастических эффектов	Коллективная доза, чел.Зв/г	Количество случаев фатального рака	Количество случаев стохастических эффектов
Радиационный фон для Украины 4,5 мЗв/год	$3,15 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$
"Нормальный (среднемировой)" радиационный фон 2,4 мЗв/год	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^5$
Испытания атомного оружия	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$
Чернобыльская авария	0,2	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,46 \cdot 10^{-2}$	$8,99 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^3$
Добыча урановой руды	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-5}$	6,59	0,33	0,48
Переработка урановой руды	$1,05 \cdot 10^{-1}$	$5,25 \cdot 10^{-2}$	$7,67 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
Производство электроэнергии на АЭС	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,19 \cdot 10^{-6}$	31,0	1,55	2,26
Производство электроэнергии на ТЭС	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,05 \cdot 10^1$	$1,53 \cdot 10^1$
Сжигание угля населением	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$6,13 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^2$
Всего по Украине (без учета естественного фона)				$2,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$

Наблюдаются локальные повышения уровня радиационного фона в городах Кривой Рог, Кировоград, Желтые Воды и некоторых других, которые связаны с потерями рудного материала при транспортировке, использованием рудных отвалов с урановых шахт в строительстве, а также в результате пылевого загрязнения территорий, прилегающих к хвостохранилищам.

В целом уровень радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха и территории в пределах промплощадки для современных урановых рудников не высок. На большинстве рудников радиоактивное загрязнение, отличимое от фонового, прослеживается на расстоянии 500-600 м от основного источника загрязнения. Загрязнение территорий, прилегающих к промплощадкам урановых рудников, обусловлено механическими потерями урансодержащих веществ, диффузным

загрязнением почвы оседающей радиоактивной пылью и аэрозолями, образующимися в результате эксплуатации рудных складов, отвалов, автомобильных и железных дорог.

К основным источникам радиоактивного загрязнения в районе г. Желтые Воды относятся: гидromеталлургический завод по переработке урановых руд (ГМЗ), хвостохранилище карьер бурых железняков (КБЖ), хвостохранилище "Щ", отвалы шахт "Ольховская" и "Новая".

Источниками загрязнения окружающей природной среды на Желтоводской промплощадке являются: пылегазовые вентиляционные выбросы, радиоактивные хвосты ГМЗ, пыление отвалов радиоактивных пород, выделение радона из хвостов и отвалов, откачиваемая из шахты "Новая" вода, содержащая повышенные активности естественных радионуклидов.

На большей части территории города, за вычетом небольшого участка вблизи указанных шахт, средняя объемная активность радона равна примерно 30 Бк/м^3 . Наличие трех относительно больших источников радона на границе города может вызвать перенос радона с атмосферным воздухом в районы города и увеличить здесь значение средней объемной активности. Кроме того, влияние источников радона в еще большей степени проявляется в нескольких кварталах вблизи района шахт "Ольховская" и "Новая".

На площадке в г. Днепродзержинск расположены хвостохранилища "Днепровское", "Западное", "Центральный Яр" и "Юго-восточное". На этой площадке были расположены все основные производства бывшего ВО "ПХЗ".

За пределами г. Днепродзержинск расположены хвостохранилища "Сухачевское-I", "Сухачевское-II", "База С", внутри которого расположено хранилище остатков разобранной доменной печи № 6. Близ дамбы, которая разделяет хвостохранилища "Сухачевское-I" и "Сухачевское-II", на берегу расположена емкость с радиоактивной лантановой фракцией (хранилище "Лантановая фракция").

Основной источник радона – хвостохранилище "База С". Небольшое влияние оказывают хвостохранилища "С-I" и "С-II".

3. Облучение от природных и техногенных источников

Доза облучения является мерой воздействия радиационного фона и техногенных источников на человека. Основные пути поступления радионуклидов в организм человека следующие:

- вдыхание загрязненного воздуха;
- употребление продуктов питания и воды, содержащих радионуклиды;
- поступление радионуклидов через поверхность кожи.

Основной вклад в среднегодовые дозы, которые получает население Украины, обусловлен источниками излучений природного происхождения, такими как космическое излучение, радиоактивные вещества в почве и строительных материалах, пероральное поступление естественных радионуклидов, содержащихся в воздухе, продуктах питания и воде. Вдыхание является наиболее важным путем поступления радионуклидов, которые формируют основную часть эффективной дозы, за ним следует внешнее облучение и потребление продуктов питания, содержащих радионуклиды. Основная часть эффективной дозы, обусловленной вдыханием, связана с радоном.

Годовая эквивалентная доза от космического излучения для Украины равна 320 мкЗв [7].

Для всех рассматриваемых нуклидов, кроме бериллия-7 и натрия-22, значения поглощенных доз получены на основании измерений концентраций рассматриваемого нуклида или наиболее распространенного стабильного изотопа соответствующего элемента в органах или тканях организма.

Полная эффективная доза получена суммированием всех эффективных доз внутреннего и внешнего облучения от естественных источников. Для Украины эта величина составляет примерно $4,5 \text{ мЗв}$. Полученная величина годовой эффективной дозы облучения от естественных источников существенно больше среднемировой, равной $2,4 \text{ мЗв}$ [1].

Для реакторов ВВЭР максимальная индивидуальная ($7,12 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/год ГВт(эл.)}$) и коллективная дозы ($3,5 \cdot 10^{-2} \text{ чел.Зв/год ГВт(эл.)}$), нормированные на единицу установленной мощности, наблюдаются для РАЭС, а минимальные $5,63 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/год ГВт(эл.)}$ и ($3,3 \cdot 10^{-2} \text{ чел.Зв/год ГВт(эл.)}$) – для ЮУАЭС. Различие величин индивидуальных доз, нормированных на единицу установленной мощности, для ВВЭР достигает 1,5. Коллективные дозы на единицу установленной мощности для реакторов ВВЭР практически не различаются. Основной вклад в индивидуальную

(колективну) дозу для ВВЭР обусловлен тритием (20 %), углеродом-14 (49 %), аргонем-41 (11 %), йодом-131 (16 %) и ксеноном-133 (1,5 %).

Величины риска [9], связанные с загрязнением окружающей природной среды радионуклидами от основных источников, действующих на население Украины и расположенных как на территории Украины, так и вне ее. Максимальные индивидуальные и коллективные дозы для населения за семидесятилетний период от основных источников, а также дополнительное количество случаев фатального рака и стохастических эффектов приведены в табл. 2 [6].

Как следует из табл. 2, величина максимальной индивидуальной дозы за семидесятилетний период может достичь $1,05 \cdot 10^{-1}$ Зв (проживание вблизи хвостохранилищ предприятий по переработке урановых руд) и привести к дополнительным 5 случаям фатального рака (8 случаев стохастических эффектов) на 100 облученных человек. Проживание на загрязненной территории, в результате аварии на ЧАЭС, с плотностью загрязнения по цезию-137 40 Ки/км² и по стронцию-90 – 3 Ки/км² приводит к дозе облучения за семидесятилетний период 0,2 Зв.

Наибольшая величина коллективной дозы – $7,5 \cdot 10^6$ чел.Зв – обусловлена превышением радиационного фона на территории Украины над величиной «нормального» радиационного фона. Это превышение практически полностью обусловлено высокой концентрацией радона в жилых помещениях. Наибольшая коллективная доза от техногенных источников обусловлена испытанием атомного оружия ($1,0 \cdot 10^5$ чел.Зв) и аварией на ЧАЭС ($9,0 \cdot 10^4$ чел.Зв), наименьшая – добычей урановой руды шахтным способом (6,6 чел.Зв).

В результате воздействия техногенных источников на протяжении 70 лет в Украине дополнительно может произойти $1,0 \cdot 10^4$ случаев заболевания фатальным раком ($1,5 \cdot 10^4$ случаев стохастических эффектов). В тоже время за счет повышенного радиационного фона за этот же период может произойти $3,8 \cdot 10^5$ случаев фатального рака ($5,8 \cdot 10^5$ случаев стохастических эффектов), что почти в 40 раз больше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивинцев Ю.В. Естественный радиационный фон // Атомная энергия. – 1988. – Т. 60. – Вып.1. – С.46-56.
2. Сивинцев Ю.В. Фоновое облучение человеческого организма. – М.: Атомиздат, 1960. – 120 с.
3. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York. – 2000.
4. Danielle A.H. Rasolonjatovo, Hiroyuki Suzuki, Naoya Hirabayashi, Tomoya Nunomiya, Takashi Nakamura and Noriaki Nakao. Measurement for the Dose-rates of the Cosmic-ray Components of the Ground.– J. Radiat. Res.– 2002.– 43, SUPPI, S27– 33.
5. Hiroyuki Sagawa, Itsumasa Urabe. Estimation of Absorbed Dose Rates in Air Based on Densities of Cosmic Ray Muons and Electrons on the Ground Levels in Japan.– J. of Nuclear Science and Technology. – 2001.– V. 38, № 12, p.1103 – 1108.
6. Авдеев О.К., Кретинин А.А., Леденев А.И., Скворцов В.В., Удод В.В., Шахов А.А. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения: Монография. – К.: ИЦ «ДрУк», 2003. – 400 с.
7. Коваленко Г.Д. Радиоэкология Украины: Монография. – Х.: ИД «ИНЖЕК», 2008. – 264 с.
8. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии.- Томск: Изд-во ТПУ, 1997.– 384 с.
9. Bennett V.G. Exposures from worldwide release of radionuclides. Proceeding of an international symposium on environment impact of radioactive release, IAEA, Vienna 8–12 May 1995. – P. 3–32.