
БІЯЛАГІЧНЫЯ НАВУКІ

УДК 614.876 + 574.46

*В. С. Аверин, К. Н. Буздалкин, Е. К. Нилова***ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ
КАК РЕЗУЛЬТАТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭС
С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР**

Оценены дозы внешнего облучения сельскохозяйственных животных и растений, дозы внутреннего облучения некоторых референтных животных при нормальной эксплуатации АЭС, а также в случае максимальной проектной аварии.

Введение

В области радиационной защиты окружающей среды формируется эгоцентрическая стратегия, смещающая акценты в сторону охраны живых организмов в среде их обитания, согласно которой «человек может быть здоров только в чистой окружающей среде» [1], [2]. В Публикации 91 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) предложены модели референтных живых организмов, к числу которых относится сравнительно небольшое количество представителей растений и животных, которые должны стать реперными в оценке основных закономерностей действия ионизирующих излучений на флору и фауну [3], [4]. Рекомендованы нормативы допустимого облучения окружающей среды (биоты) и указаны верхние границы безопасной мощности дозы: при хроническом β - и γ -облучении – $0,1 \text{ мГр}\cdot\text{час}^{-1}$ – для большинства сухопутных (наземных) видов и $0,4 \text{ мГр}\cdot\text{час}^{-1}$ – для водных видов биоты; для острого (аварийного) облучения предельным значением дозы следует считать 1 Гр [4].

Цель работы – выполнить оценку радиационного воздействия планируемой Белорусской АЭС (БелАЭС) на животных и растения. В задачи исследований входили оценки ожидаемых доз облучения животных и растений от радиоактивных выбросов БелАЭС при нормальной эксплуатации и в случае максимальной проектной аварии в рамках проведения процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) на этапе обоснования инвестиций в строительство АЭС.

Методы исследований. Для оценки доз облучения животных и растений от радиационного воздействия АЭС разработано программное обеспечение [5]. В качестве исходных данных использовалась информация о величине и радионуклидном составе выброса [6], о продолжительности однофазового выброса, о высоте трубы энергоблока, высоте слоя перемешивания, о категории атмосферной устойчивости, о метео- и других условиях, характерных для площадки размещения планируемой БелАЭС в Островецком районе Гродненской области. В пределы 30-километровой площадки Белорусской АЭС входит вся территория Островецкого района, часть Сморгонского и Ошмянского районов. Основная часть исследуемой территории занята лесными насаждениями и сельскохозяйственными угодьями, при этом продукция животноводства в структуре производимой продукции составляет 52,7% (на 1 января 2009 года в хозяйствах поголовье крупного рогатого скота составило 27 621 голову) [7]. Поэтому в качестве референтных организмов консервативно выбраны и сельскохозяйственные, и дикие животные. Рассматривались наиболее неблагоприятные сценарии осаждения радиоактивной примеси.

Штатные и проектные аварийные выбросы АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 не содержат топливных частиц, газов и аэрозолей с радионуклидами, распадающимися по схеме альфа-распада (актиноидов), поэтому альфа-частицы не участвуют в формировании

дозы облучения. Оценка доз внешнего (от γ -, β -излучения радиоактивного облака, фотонного излучения поверхности загрязненной почвы, β -излучения загрязненной поверхности животных и растений) и внутреннего облучения (при поступлении радионуклидов в организм животных) выполнялась в соответствии с литературными данными [4], [7]–[13]. При расчётах для каждого из радионуклидов учитывалась его концентрация в приземном слое воздуха, период полураспада, а также квантовые выходы и энергии каждого из испускаемых гамма-квантов. Расчет выполнен путем суммирования величин поглощённых доз от наиболее значимых радионуклидов, формирующих более 99% дозы.

Результаты исследования и их обсуждение

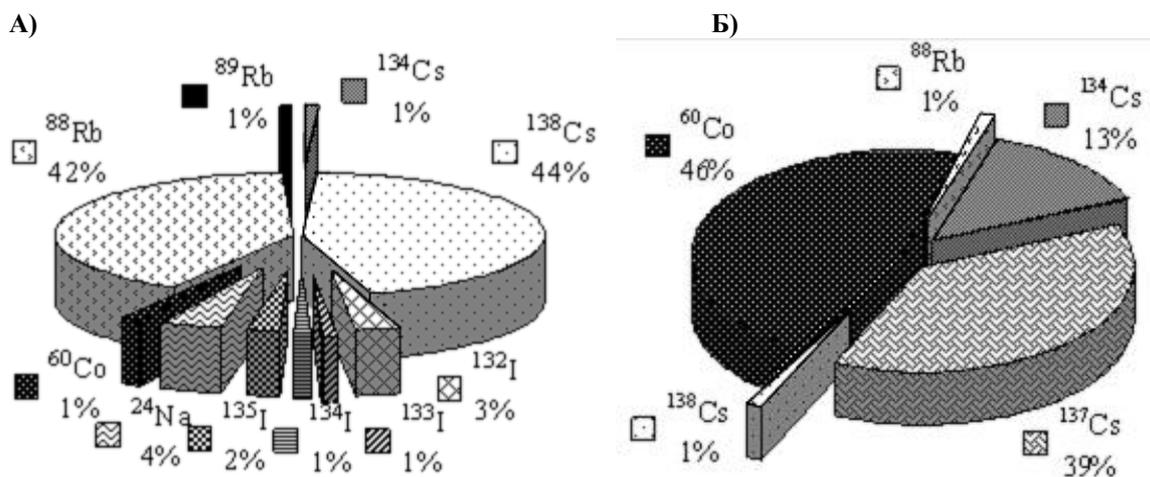
Максимальные дозовые нагрузки как при нормальной эксплуатации АЭС, так и в случае проектной аварии прогнозируются от γ -излучения струи радиоактивных газов на территории промплощадки. Суммарная поглощённая доза от γ -излучения струи за год нормальной эксплуатации АЭС с учетом квантовых выходов и энергий фотонов радионуклидов штатных выбросов из венттруб АЭС составит 0,2 мГр.

За сутки нормальной эксплуатации АЭС при нахождении в точке с максимальной объёмной приземной концентрацией радиоактивной примеси в воздухе $11 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ на расстоянии 1,8 км от источника выброса суммарная поглощённая доза от γ -излучения радиоактивного облака составит 0,01 мкГр.

Инертные газы (радиоактивные изотопы аргона, криптона и ксенона) формируют более 99% суммарной дозы от γ -излучения струи и облака при нормальных условиях эксплуатации АЭС.

Мощность суммарной поглощённой дозы животных и растений от γ -излучения почвы при вводе АЭС в эксплуатацию составит около $10^{-4} \text{ нГр}\cdot\text{час}^{-1}$, через 60 лет штатных выпадений – $5\cdot 10^{-3} \text{ нГр}\cdot\text{час}^{-1}$.

На рисунке 1 представлен вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы животных и растений от γ -излучения почвы при штатных выбросах в точке с максимальной плотностью загрязнения при вводе в эксплуатацию и через 60 лет нормальной эксплуатации АЭС. Показано, что в течение срока эксплуатации АЭС увеличивается доля ^{137}Cs в формировании поглощённой дозы от γ -излучения почвы.

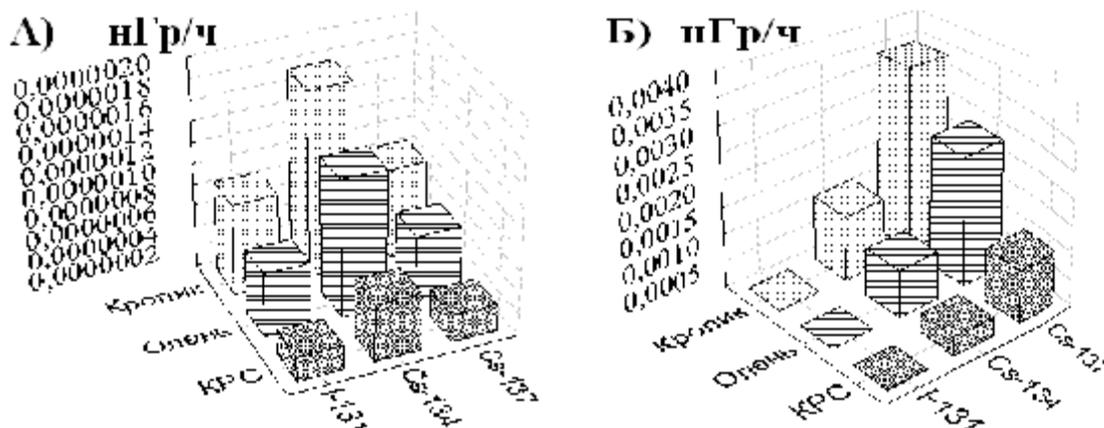


А) при вводе в эксплуатацию и

Б) через 60 лет нормальной эксплуатации АЭС

Рисунок 1 – Вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы от γ -излучения почвы в точке с максимальной плотностью загрязнения

При равных условиях радиоактивного загрязнения большую поглощённую дозу от γ -излучения ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , выпавших на почву, получит животное с меньшей массой организма (рисунок 2).



А) при вводе в эксплуатацию,
 Б) через 60 лет после начала эксплуатации АЭС

Рисунок 2 – Мощность поглощённой дозы кролика, оленя и крупного рогатого скота (КРС) от γ -излучения ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , выпавших на почву

Суммарная поглощённая доза от β -излучения радиоактивного облака за сутки нормальной эксплуатации АЭС составит около 0,004 мГр. Инертные радиоактивные газы формируют более 99% суммарной дозы от β -излучения облака при нормальных условиях эксплуатации АЭС.

Мощность суммарной поглощённой дозы при облучении базального слоя поверхности биологических объектов при загрязнении β -частицами и электронами конверсии при вводе в эксплуатацию АЭС превысит $7 \cdot 10^{-4}$ нГр·час⁻¹. На рисунке 3 представлен вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы за час от контактного β -облучения биологических объектов при штатных выбросах в точке с максимальной объёмной приземной концентрацией радиоактивной примеси.

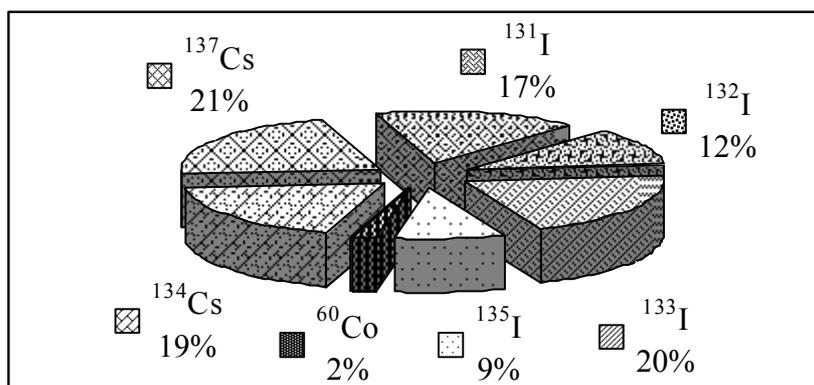


Рисунок 3 – Вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы за час от β -излучения поверхности биологических объектов при нормальной эксплуатации АЭС

Суммарная поглощённая доза от γ -излучения струи за 10 часов существования аварийного режима на АЭС с учетом квантовых выходов и энергий фотонов радионуклидов проектного выброса составит 1,3 мГр.

Наибольшая объёмная приземная концентрация радиоактивной примеси в воздухе при максимальной проектной аварии составит $3,75 \cdot \text{кБк} \cdot \text{м}^{-3}$ на расстоянии 3 км от места выброса. Величина суммарной поглощённой дозы за 10 часов от γ -излучения радиоактивного облака в точке с максимальной приземной концентрацией в случае проектной аварии превысит 0,002 мГр.

Инертные газы (радиоактивные изотопы криптона и ксенона) формируют более 95% суммарной дозы от γ -излучения струи и облака в случае максимальной проектной аварии на АЭС.

Интегральная доза животных и растений от γ -излучения поверхности загрязнённой радионуклидами почвы, полученная за первый час после максимальной проектной аварии, составит 0,09 мкГр, за первые 150 суток после аварии – 0,007 мГр.

На рисунке 4 представлен вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы за первые сутки после аварии от γ -излучения почвы в точке с максимальной плотностью загрязнения. Показано, что наибольшую долю поглощённой дозы за первые сутки после аварии от γ -излучения почвы формируют ^{131}I - ^{133}I .

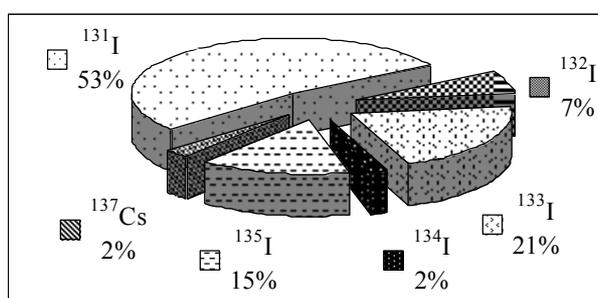


Рисунок 4 – Вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы от γ -излучения почвы за первые сутки после проектной аварии

Величина суммарной поглощённой дозы за 10 часов от β -излучения радиоактивного облака в точке с наибольшей приземной концентрацией в случае максимальной проектной аварии составит 0,002 мГр. Инертные радиоактивные газы формируют более 98% суммарной дозы от β -излучения облака при максимальной проектной аварии на АЭС.

Интегральная доза, сформированная β -частицами и электронами конверсии при равномерном загрязнении ими базального слоя поверхности биологических объектов за 20 суток (эффективный период удаления радиоактивных частиц с поверхности растений) после максимальной проектной аварии, составит $0,55 \text{ мГр} \cdot \text{см}^{-2}$ поверхности.

На рисунке 5 представлен вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы от β -излучения поверхности биологических объектов в случае проектной аварии в точке с максимальной объёмной приземной концентрацией радиоактивной примеси.

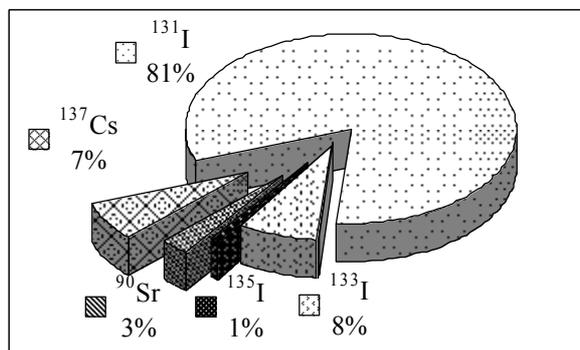


Рисунок 5 – Вклад наиболее значимых радионуклидов в величину суммарной поглощённой дозы от β -излучения поверхности биологических объектов за 20 суток после максимальной проектной аварии на АЭС

Как видно из рисунка 5, ^{131}I формирует значительную часть контактной дозы β -облучения за 20 суток после максимальной проектной аварии на АЭС.

Сравнительные оценки максимальных дозовых нагрузок отдельных референтных животных от биологически значимых радионуклидов при пероральном пути их поступления в случае нормального режима эксплуатации АЭС (в предположении гомогенного распределения радионуклидов в организме [4]) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка максимальных доз некоторых референтных животных при пероральном поступлении радионуклидов при нормальной эксплуатации АЭС

Радионуклид		^3H	^{131}I	^{137}Cs
Дозовый коэффициент, $(\text{Гр}\cdot\text{кг})\cdot(\text{Бк}\cdot\text{с})^{-1}$	Олень	$9,2\cdot 10^{-16}$	$7,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-13}$
	Утка	$9,2\cdot 10^{-16}$	$4,2\cdot 10^{-14}$	$5,6\cdot 10^{-14}$
Удельная активность радионуклида в кормах (^3H в воде) в 1-й год эксплуатации, $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$		$4,5\cdot 10^{-3}$	$3,1\cdot 10^{-5}$	$9,6\cdot 10^{-6}$
Удельная активность радионуклида в кормах (^3H в воде) на 60-й год эксплуатации, $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$			$1,5\cdot 10^{-4}$	$4,1\cdot 10^{-2}$
Мощность дозы, $\text{нГр}\cdot\text{ч}^{-1}$ (в 1-й год после начала эксплуатации АЭС)	Олень	$1,5\cdot 10^{-5}$	$8,1\cdot 10^{-6}$	$3,6\cdot 10^{-6}$
	Утка		$4,7\cdot 10^{-6}$	$1,9\cdot 10^{-6}$
Мощность дозы, $\text{нГр}\cdot\text{ч}^{-1}$ (через 60 лет после начала эксплуатации АЭС)	Олень		$3,9\cdot 10^{-5}$	$1,5\cdot 10^{-2}$
	Утка		$2,2\cdot 10^{-5}$	$8,2\cdot 10^{-3}$

Примечание – При равных условиях радиоактивного загрязнения концентрации радионуклидов в организме могут широко варьироваться (до нескольких порядков) [14], поэтому выполненная оценка дозовых нагрузок является достаточно консервативной.

Консервативные оценки дозовых нагрузок отдельных референтных животных в точке с наибольшей плотностью радиоактивного загрязнения от биологически значимых радионуклидов при пероральном пути их поступления в случае максимальной проектной аварии на АЭС (предполагая гомогенное распределение в организме [4]) представлены в таблице 2. Доза облучения от депонированных радионуклидов будет экспоненциально снижаться за счёт радиоактивного распада и выведения радионуклидов из организма.

Таблица 2 – Оценка максимальных доз некоторых референтных животных при пероральном поступлении радионуклидов после максимальной проектной аварии на АЭС

Радионуклид		^{90}Sr	^{131}I	^{137}Cs
Дозовый коэффициент, $\text{Гр}\cdot\text{кг}\cdot(\text{Бк}\cdot\text{с})^{-1}$	Олень	$1,8\cdot 10^{-13}$	$7,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-13}$
	Утка	$1,8\cdot 10^{-13}$	$4,2\cdot 10^{-14}$	$5,6\cdot 10^{-14}$
Удельная активность радионуклида в кормах (в 1-е сутки после аварии на АЭС), $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$		$3,2\cdot 10^2$	$3,6\cdot 10^4$	$1,1\cdot 10^3$
Дозовая нагрузка, $\text{мГр}\cdot\text{сутки}^{-1}$ (в 1-е сутки после аварии на АЭС)	Олень	$5,0\cdot 10^{-3}$	$2,2\cdot 10^{-1}$	$9,7\cdot 10^{-3}$
	Утка	$4,9\cdot 10^{-3}$	$1,3\cdot 10^{-1}$	$5,2\cdot 10^{-3}$

Примечание – При равных условиях радиоактивного загрязнения концентрации радионуклидов в организме могут широко варьироваться (до нескольких порядков) [14], поэтому выполненная оценка дозовых нагрузок является достаточно консервативной.

Облучение биоты при нормальной эксплуатации АЭС и в случае максимальной проектной аварии не окажет значимых радиационно-индуцируемых воздействий.

Выводы

Максимальная поглощенная доза облучения биоты может быть сформирована γ -излучением струи радиоактивных газов до $0,2 \text{ мГр}\cdot\text{год}^{-1}$ при штатных выпадениях и $1,3 \text{ мГр}$ – в течение выброса в случае максимальной проектной аварии на БелАЭС. Как при нормальных условиях эксплуатации АЭС, так и в случае проектной аварии на энергоблоке основную часть (более 95%) дозы облучения животных и растений будут формировать инертные радиоактивные газы. Общая поглощенная доза референтных животных как при штатных выпадениях за весь период эксплуатации, так и в случае максимальной проектной аварии не превысит предельного

значения дозы на биоту для аварийного облучения в 1 Гр. Выполненные консервативные оценки доз облучения компонентов агроэкосистемы также можно сравнить с дозами, получаемыми человеком от естественных источников излучения, формирующих так называемый радиационный фон: 2,4–17 мЗв·год⁻¹ [15]. Проведенные исследования позволяют констатировать отсутствие значимых радиэкологических (связанных с загрязнением продукции) и радиационно-индуцируемых эффектов при штатных выбросах и максимальных проектных авариях.

Перечень принятых сокращений

АЭС – атомная электрическая станция.

Бк – беккерель (единица измерения активности с производными величинами).

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор.

Гр – грей (единица измерения поглощенной дозы).

Зв – зиверт (единица измерения эквивалентной дозы).

Литература

1. Алексахин, Р. М. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы / Р. М. Алексахин, С. В. Фесенко // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44. – № 1. – С. 93–103.
2. Сравнительная оценка радиационного воздействия на биоту и человека в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС / С. В. Фесенко [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44. – № 6. – С. 618–626.
3. A Framework for Assessing the Impact of ionizing radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91 / J. Valentin [et al]. – Oxford : PERGAMON, 2003. – 76 p.
4. Effects of ionizing radiation on non-human biota. Effects of ionizing radiation on non-human biota. Report of 56 Session United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly / D. Chambers [et al]. – Vienna : UNSCEAR, 2008. – 134 p.
5. Аверин, В. С. Применение геоинформационных технологий для оценки радиационного воздействия штатных и проектных аварийных выбросов / В. С. Аверин, К. Н. Буздалкин, Е. К. Нилова // Вестн. Командно-инженерного ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 2(12). – С. 105–109.
6. Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2: Оценка воздействий на окружающую среду. Раздел 5. Оценка радиационного воздействия на агроэкосистемы и население / А. С. Симонов [и др.]. – Киев : Энергоатомиздат, 2000. – 133 с.
7. Характеристика окружающей среды и оценка воздействий на нее БелАЭС. Почвы. Сельское хозяйство. Оценка радиационного воздействия на агроэкосистемы: обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Раздел 9 / А. Н. Переволоцкий [и др.]. – Гомель : РНИУП «Ин-т радиологии» МЧС РБ, 2009. – 202 с.
8. Количественная оценка риска химических аварий / В. М. Колодкин [и др.]. – Ижевск : изд. дом «Удмурт. ун-т», 2001. – 228 с.
9. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 254 с.
10. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 351 с.
11. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. TRS 472 / M. Balonov [et al]. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010. – 208 p.
12. Handbook for Assessment of the Exposure of Biota to Ionising Radiation from Radionuclides in the Environment / J. Brown [et al]. – Stockholm : Swedish Radiation Protection Authority, 2003. – 111 p.
13. Анненков, Б. Н. Сельское хозяйство после крупных радиационных катастроф / Б. Н. Анненков. – Ростов н/Д : ЗАО «Ростиздат», 2010. – 284 с.
14. Predicting the radiation exposure of terrestrial wildlife in the Chernobyl exclusion zone: an international comparison of approaches / N. A. Beresford [et al] // J. Radiol. Prot. – 2010. – № 30. – P. 341–373.
15. Техногенное излучение и безопасность человека / Л. А. Ильин [и др.]. – М. : Издат, 2006. – 303 с.

Summary

The doses of an external irradiation of agricultural animals and plants, the doses of an internal irradiation of the some reference animals from regular and emergency emissions of the nuclear power plant are evaluated

Поступила в редакцию 08.11.11.