

БІЯЛАГІЧНЫЯ НАВУКІ

УДК 574.4/5:539.163

В. С. Аверин

Доктор биологических наук,
декан биологического факультета
ГГУ им. Франциска Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОГЛОЩЁННЫХ ДОЗ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА
ОТ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАСТБИЩНОГО
СОДЕРЖАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЁННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИИ**

С целью оценки возможности использования выведенных из сельскохозяйственного оборота земель под пастбища были оценены возможные дозы от внешнего и внутреннего облучения животных во время выпаса и при пероральном потреблении почвенных частиц. Установлено, что мощность поглощённой дозы от внешнего облучения животных при выпасе на территории ближнего радиоактивного следа аварии на ЧАЭС в 4,5–5 раз выше, чем при выпасе на территории дальнего радиоактивного следа, и в 40–45 раз выше, чем на территории контрольного района. Выявленные закономерности показывают, что как на дальнем, так и на ближнем следе радиоактивных выпадений доля почвенных частиц и растительной компоненты дернины, обусловленная инкорпорированным ^{137}Cs , в суммарной поглощённой дозе внутреннего облучения составляет около 25%. Данная величина является весьма значительной, что необходимо учитывать при прогнозировании радиационных последствий для выпасаемых животных, а соответственно и качества получаемой продукции. В отношении ^{90}Sr данная величина составляет 5–6% независимо от дальности радиоактивных выпадений.

Ключевые слова: мощность поглощённой дозы, почвенные частицы, растительные компоненты дернины, ^{137}Cs , ^{90}Sr , крупный рогатый скот.

Введение

При содержании сельскохозяйственных животных на загрязнённой радионуклидами территории происходит их внешнее и внутреннее облучение от различных источников: компонентов окружающей среды и составляющих трофических цепей. Биологическое действие облучения заключено в ионизации атомов, составляющих ткани животных. Суть облучения заключается в передаче (поглощении) энергии излучений органам и тканям [1]. Наиболее значительный биологический эффект производят источники внутреннего облучения – инкорпорированные радионуклиды, поступившие в организм животных с кормом и водой (перорально), с воздухом (ингаляционно) и через кожные покровы (перкутанный путь). Дозиметрические характеристики облучения животных, позволяющие прогнозировать биологические последствия, играют важную роль при экологическом нормировании, что способствует оптимизации ведения животноводства на территориях с повышенным радиационным фоном.

Пероральное поступление радионуклидов в организм крупного рогатого скота (КРС) может происходить при потреблении растительности, загрязнённой корневым путём; растений, поверхностно загрязнённых аэрозольными частицами; кормов, полученных с использованием загрязнённой растительности; частиц загрязнённой почвы. В первый год после аварии основной вклад в концентрацию перорально поступивших радионуклидов в организм животных вносят аэральные загрязнённые пастбищные растения и полученные из них корма. В последующие годы для животных, содержащихся на пастбище, возрастает роль внутреннего облучения за счёт частиц загрязнённой почвы [2].

Значение многих из существующих источников облучения сельскохозяйственных животных ранее рассматривалось в соответствующей литературе. В отдельных случаях, например при пероральном поступлении в организм животных труднорезорбируемых радионуклидов, облучение может вызвать радиационное поражение и оказаться более значимым фактором по сравнению с

радиоактивным загрязнением продукции животноводства. В нашем случае проводится оценка поглощённых доз от внешнего и внутреннего облучения КРС, при пероральном поступлении в организм животных почвы во время выпаса. Определение поглощённой дозы достаточно сложно для точной оценки из-за большого количества влияющих факторов и их вариабельности. Имеет значение не только плотность загрязнения пастбища и суммарная активность рациона, но и многие другие параметры (технология содержания скота в летний период, биологические параметры и этологические особенности животных, рельеф местности и др.).

Поглощённая доза внешнего γ -излучения в теле животного и доза в воздухе на открытой местности различаются. Дозовые нагрузки на внутренние органы и ткани распределяются неравномерно в зависимости от места их расположения и глубины залегания в теле животного. Максимального значения доза достигает на боковых поверхностях и в области головы. С увеличением глубины к центру животного значение дозы для крупного рогатого скота уменьшается в 5–7 раз [2].

При формировании поглощённых доз от внутреннего облучения животных основная роль, как отмечалось выше, принадлежит лёгким и желудочно-кишечному тракту (ЖКТ). Ингаляционный путь наиболее характерен для начального периода радиационного загрязнения. После оседания радиоактивных аэрозольных частиц на почвенно-растительный покров большее значение для формирования поглощённых доз приобретает пероральный путь за счёт потребления загрязнённых кормов и почвенных частиц. Важную роль при этом играют транспортные и метаболические процессы, определяющие параметры накопления и выведения радионуклидов из органов и тканей. Радионуклиды, перемещаясь с пищевыми массами по ЖКТ животного, облучают стенки пищеварительного тракта, а также внутренние органы и ткани. Параметры транспорта радиоактивных радионуклидов в ЖКТ зависят от размеров и плотности содержащих их частиц. Так, скорость частиц загрязнённой радионуклидами почвы с диаметром > 40 мкм и $\rho > 1,4$ г/см³ значительно меньше по сравнению со скоростью с более мелкими частицами кормовых масс. У крупного рогатого скота задержка таких частиц происходит в сетке, сычуге и рубце. Под воздействием силы тяжести и моторики рубца они оседают на фундальной поверхности ventральной части желудочного мешка, а затем переводятся в другие отделы ЖКТ. Среднее время пребывания частиц почвы и корма в рубце примерно одинаково, при дальнейшем продвижении происходит его замедление [2].

Цель работы: изучить поглощённую дозу внутреннего облучения животных, формирующуюся во время их выпаса, за счет растительной компоненты дернины и почвенных частиц; установить долю инкорпорированных ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в суммарной поглощённой дозе внутреннего облучения сельскохозяйственных животных.

Материал и методика исследований

Для расчёта поглощённой дозы от внешнего излучения использовали показатели мощности экспозиционной дозы (МЭД) в местах отбора почвы и растительной компоненты дернины [3], [4]. МЭД на пастбище определяли на уровне 1 м от поверхности почвы с помощью прибора ДРГ-01-Т. При этом дозу от внешнего излучения (D) определяли по формуле:

$$D = P \times t, \quad (1)$$

где: P – мощность экспозиционной дозы, мкР/час;

t – время, час.

Удельную активность радионуклидов в мышечной ткани крупного рогатого скота для оценки поглощённых доз от внутреннего облучения коров рассчитывали по формуле:

$$C(t) = (Kn \times A_p) + (C_0 - Kn \times A_p) \times [a \times \exp(-0,693 \times t / T_1) + (1 - a) \times \exp(-0,693 \times t / T_2)], \quad (2)$$

где: $C(t)$, C_0 – концентрация радионуклида в мышечной ткани, Бк/кг;

Kn – коэффициент перехода радионуклида из рациона в мышечную ткань, (Бк/кг)/(Бк/сутки);

A_p – содержание радионуклида в суточном рационе, Бк/сутки;

T_1 , T_2 – периоды полуснижения содержания радионуклида в мышечной ткани, сутки;

t – время, сутки.

В целях сравнительной оценки и возможности использования выведенных из сельскохозяйственного оборота земель под пастбища были оценены возможные дозы от внешнего и внутреннего облучения животных во время выпаса и при пероральном потреблении почвенных частиц. При этом в эксперименте использовались животные-аналоги, содержащиеся в “чистой”

зоне (Смолевичский район Минской области) и получающие добавки почвы с разных следов радиоактивных выпадений.

Основной рацион животных был представлен пастбищным разнотравьем в количестве 35–55 кг + 2 кг комбикорма (К 60Б-21). Коровам опытных групп утром скармливалась в смеси с комбикормом почва в количестве 0,5 кг на голову в сутки или растительная компонента дернины в составе 0,04 кг/сут. Отбор почвы дерново-подзолистого типа для скармливания животным производился как с ближнего следа радиоактивных выпадений (30-км зоне ЧАЭС), так и с дальнего (Добрушский район) с верхнего 5-сантиметрового слоя. В процессе подготовки почвы для скармливания животным производилось высушивание её при 20°C и просеивание через сито диаметром 1 мм с отделением растительных остатков, которые также использовались в исследованиях. Животные контрольной группы содержались на рационе такого же типа, что и опытные, за исключением исследуемых добавок. Количество радионуклидов в рационе исследуемых животных представлено в таблице 1.

Таблица 1. – Содержание радионуклидов в рационе крупного рогатого скота, кБк/сут.

Радионуклид	^{137}Cs	^{90}Sr
В рационе контрольной группы [°]	0,2–0,4	0,1
В рационе I опытной группы*	37,7	4,9
В рационе II опытной группы**	7,8	0,2
В рационе III опытной группы***	4,0	0,5

[°] – хозяйственный рацион;

* – контроль + почва ближнего радиоактивного следа;

** – контроль + почва дальнего радиоактивного следа;

*** – контроль + растительная компонента дернины ближнего радиоактивного следа.

Коэффициент перехода ^{137}Cs из рациона в мышцы крупного рогатого скота, используемый при расчётах, составил 0,05 (IAEA, 1994), $\alpha = 0,35$, $1 - \alpha = 0,65$, $T_1 = 3$ суток, $T_2 = 55$ суток [4].

Мощность поглощённой дозы внутреннего облучения, обусловленного инкорпорированным ^{137}Cs , рассчитывали по формуле:

$$P(t) = A(t) \times K(^{137}\text{Cs}), \quad (3)$$

где: $P(t)$ – мощность поглощённой дозы ко времени t , мкГр/сут;

$A(t)$ – удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани ко времени t , Бк/кг;

$K(^{137}\text{Cs})$ – дозовый коэффициент, равный мощности, создаваемой 1 Бк/кг ^{137}Cs , составляет $3,24 \times 10^{-3}$ мкГр/сут. [2].

Мощность поглощённой дозы внутреннего облучения на красный костный мозг, обусловленного инкорпорированным ^{90}Sr , рассчитывали по формуле:

$$P(t) = A(t) \times K(^{90}\text{Sr}), \quad (4)$$

где: $P(t)$ – мощность поглощённой дозы ко времени t , мкГр/сут;

$A(t)$ – удельная активность ^{90}Sr в костной ткани ко времени t , Бк/кг;

$K(^{90}\text{Sr})$ – дозовый коэффициент, равный мощности, создаваемой 1 Бк/кг ^{90}Sr , составляет $4,11 \times 10^{-3}$ мкГр/сут. [2].

При расчёте мощности поглощённой дозы на пищеварительный тракт КРС учитывали массу каждого отдела ЖКТ, характерную для животных весом 500 кг [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Статистический анализ исходной информации показал, что средняя величина МЭД на территории ближнего радиоактивного следа на момент проведения исследований (1998–2000 гг.) соответствует 726 мкР/час, на территории дальнего радиоактивного следа – 151 мкР/час. Полученные значения асимметрии (0,989) и эксцесса (1,002) свидетельствуют о логнормальном распределении величин МЭД от чернобыльских радиоактивных выпадений [5] независимо от удалённости эпицентра аварии (рисунок).

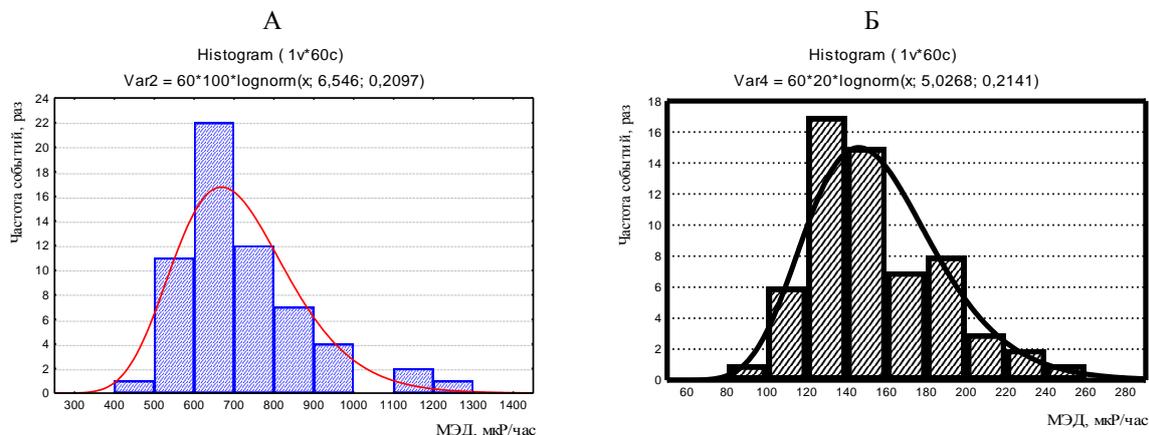


Рисунок – Мощность экспозиционной дозы на территории ближнего (30-км зона ЧАЭС) (А) и дальнего (Добрушский район) (Б) радиоактивного следа

МЭД на территории ближнего радиоактивного следа в среднем в 4,5–5 раз выше, чем на территории дальнего радиоактивного следа. При этом были отмечены высокие коэффициенты прямой корреляции значений МЭД и плотности радиоактивного загрязнения территории ($r = 0,98–0,99$). МЭД в контрольном районе в течение проведения исследований колебалась в пределах 11–23 мкР/час.

Результатом математического анализа и полученных экспериментальных данных были рассчитаны суммарные годовые дозы внешнего облучения для КРС, выпасаемого на территориях с различным типом радиоактивного загрязнения (таблица 2).

Таблица 2. – Средние значения мощности поглощённой дозы от внешнего облучения КРС за пастбищный период, мГр/180 сут.

Метод измерения	Территория содержания		
	Ближний радиоактивный след	Дальний радиоактивный след	Контрольный район
В среднем по объёму	31,4	6,5	0,7
В центре животного	5,2	1,1	0,1

Таким образом, мощность поглощённой дозы от внешнего облучения животных при выпасе на территории ближнего радиоактивного следа аварии на ЧАЭС в 4,5–5 раз выше, чем при выпасе на территории дальнего радиоактивного следа, и в 40–45 раз выше, чем на территории контрольного района.

Дозиметрические параметры внутреннего облучения животных от различных источников при хроническом поступлении радионуклидов могут быть использованы для сравнительного анализа значимости того или иного пути проникновения их в организм. В этой связи были исследованы различные источники внутреннего облучения организма КРС от инкорпорированного ^{137}Cs и ^{90}Sr (таблицы 3–6).

При хроническом потреблении животными с рационом определённого количества почвы с пастбища, содержащей радионуклиды, значения поглощённой дозы от инкорпорированного ^{137}Cs на слизистую ЖКТ в 9,2–9,6 раза больше, чем на мышечную ткань, независимо от дальности радиоактивных выпадений. При хроническом потреблении животными с рационом растительной компоненты дернины данная величина составляет 11,5 раза. Различие в средних значениях доз на различных следах радиоактивных выпадений составляет как для мышечной ткани, так и для слизистой ЖКТ 4,6–4,8 раза. При формировании поглощённых доз внутреннего облучения

слизистой ЖКТ от инкорпорированного ^{137}Cs наибольшая нагрузка приходится на стенки сетки, что связано с механикой транспорта компонентов рациона, содержащих радионуклид, в пищеварительном тракте животных (таблица 3).

Таблица 3. – Средние значения поглощённых доз в мышцах и отделах ЖКТ от внутреннего облучения КРС при хроническом поступлении ^{137}Cs с почвенными частицами и растительной компонентой дернины во время выпаса, мГр/180 сут.

Область воздействия	Добавка к рациону		
	Почва ближнего радиоактивного следа (0,5 кг/сут.)	Почва дальнего радиоактивного следа (0,5 кг/сут.)	Растительная компонента дернины ближнего радиоактивного следа (0,04 кг/сут.)
Мышечная масса	2,3	0,5	0,2
На слизистую ЖКТ	22,0	4,6	2,3
На стенки рубца	1,8	0,4	0,2
На стенки сетки	10,4	2,2	1,1
На стенки книжки	3,1	0,6	0,3
На стенки сычуга	5,6	1,2	0,6
На тонкий кишечник	3,1	0,6	0,3
На толстый кишечник	3,3	0,7	0,3

При хроническом потреблении животными с рационом определённого количества почвы с пастбища, содержащей радионуклиды, значения поглощённой дозы от инкорпорированного ^{90}Sr на слизистую ЖКТ в 1,7–1,9 раза больше, чем на костную ткань, независимо от дальности радиоактивных выпадений. При хроническом потреблении животными с рационом растительной компоненты дернины данная величина составляет 1,8 раза. Различие в средних значениях доз на различных следах радиоактивных выпадений составляет для костной ткани 26,3, для слизистой ЖКТ 7,2 раза. При формировании поглощённых доз внутреннего облучения слизистой ЖКТ от инкорпорированного ^{90}Sr наибольшая нагрузка также приходится на стенки сетки, что связано с механикой транспорта компонентов рациона, содержащих радионуклид, в пищеварительном тракте животных (таблица 4).

Таблица 4. – Средние значения поглощённых доз в костной ткани и отделах ЖКТ от внутреннего облучения КРС при хроническом поступлении ^{90}Sr с почвенными частицами и растительной компонентой дернины во время выпаса, мГр/180 сут.

Область воздействия	Добавка к рациону		
	Почва ближнего радиоактивного следа (0,5 кг/сут.)	Почва дальнего радиоактивного следа (0,5 кг/сут.)	Растительная компонента дернины ближнего радиоактивного следа (0,04 кг/сут.)
Костная ткань	2,1	0,08	0,21
На слизистую ЖКТ	3,6	0,15	0,37
На стенки рубца	0,3	0,01	0,03
На стенки сетки	1,7	0,07	0,18
На стенки книжки	0,5	0,02	0,05
На стенки сычуга	0,9	0,04	0,10
На тонкий кишечник	0,5	0,02	0,05
На толстый кишечник	0,5	0,02	0,06

Для оценки доли внутреннего облучения КРС, обусловленного поступлением почвы и растительной компоненты дернины, в суммарной поглощённой дозе внутреннего облучения в пастбищный период производился расчёт доз от потребляемого пастбищного корма (45 кг/гол.сут.). Анализ проводился для дерново-подзолистой супесчаной почвы с содержанием обменного калия <80 мг/кг и рН = 4,6–5,0 (таблицы 5, 6).

Таблица 5. – Средние значения поглощённых доз в мышцах и отделах ЖКТ от внутреннего облучения КРС при хроническом поступлении ^{137}Cs с пастбищной растительностью во время выпаса, мГр/180 сут.

Область воздействия	Пастбищный рацион, 45 кг/сут.		
	Ближний радиоактивный след	Дальний радиоактивный след	Контроль
Мышечная масса	7,8	1,6	0,02
На слизистую ЖКТ	76,0	15,8	0,16
На стенки рубца	6,3	1,3	0,01
На стенки сетки	35,9	7,5	0,08
На стенки книжки	10,6	2,2	0,02
На стенки сычуга	19,5	4,1	0,04
На тонкий кишечник	10,6	2,2	0,02
На толстый кишечник	11,3	2,4	0,02

Таблица 6. – Средние значения поглощённых доз в костной ткани и отделах ЖКТ от внутреннего облучения КРС при хроническом поступлении ^{90}Sr с пастбищной растительностью во время выпаса, мГр/180 сут.

Область воздействия	Пастбищный рацион, 45 кг/сут.		
	Ближний радиоактивный след	Дальний радиоактивный след	Контроль
Костная ткань	36,1	1,47	0,07
На слизистую ЖКТ	63,6	2,60	0,12
На стенки рубца	5,3	0,22	0,01
На стенки сетки	30,0	1,23	0,06
На стенки книжки	8,8	0,36	0,02
На стенки сычуга	16,3	0,67	0,03
На тонкий кишечник	8,8	0,36	0,02
На толстый кишечник	9,5	0,39	0,02

Как видно из таблиц 5 и 6, при хроническом поступлении животным радионуклидов с пастбищным рационом закономерности формирования поглощённых доз от инкорпорированных ^{137}Cs и ^{90}Sr сохраняются. Так, дозовая нагрузка на слизистую ЖКТ в 9,7–9,9 раза больше, чем на мышечную ткань, и в 1,8 раза больше, чем на костную, независимо от дальности радиоактивных выпадений. Различие в средних значениях доз на различных следах радиоактивных выпадений составляет: для мышечной ткани – 4,9, для костной – 24,6, для слизистой ЖКТ – 4,8–24,5 раза. При формировании поглощённых доз внутреннего облучения слизистой ЖКТ от инкорпорированных ^{137}Cs и ^{90}Sr наибольшая нагрузка также приходится на стенки сетки и сычуга.

В конечном итоге была рассчитана доля вклада каждого из рассматриваемых компонентов рациона КРС в формировании суммарной поглощённой дозы внутреннего облучения. Данное соотношение представлено в таблице 7.

Таблица 7. – Доля различных компонентов рациона КРС в формировании суммарной поглощённой дозы внутреннего облучения в пастбищный период, %

Компоненты рациона	Ближний радиоактивный след		Дальний радиоактивный след	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Пастбищная растительность	75,8±0,08	94,2±0,13	77,4±0,85	94,8±0,40
Почвенные частицы	22,0±0,21	5,3±0,15	22,6±0,85	5,2±0,40
Растительная компонента дернины	2,2±0,17	0,6±0,02	—	—

Выводы

1. Как на дальнем, так и на ближнем следе радиоактивных выпадений доля почвенных частиц и растительной компоненты дернины, обусловленная инкорпорированным ^{137}Cs , в суммарной поглощённой дозе внутреннего облучения составляет около 25%. Данная величина является весьма значительной, что необходимо учитывать при прогнозировании радиационных последствий для выпасаемых животных, а соответственно и качества получаемой продукции,

2. В отношении ^{90}Sr данная величина составляет 5–6% независимо от дальности радиоактивных выпадений.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, А. Д. Ветеринарная радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Киршин. – М. : Агропромиздат, 1987. – 287 с.
2. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р. М. Алексахин [и др.] ; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М. : Экология, 1991. – 400 с.
3. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
4. Моисеев, А. А. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А. А. Моисеев, В. И. Иванов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
5. Агеец, В. Ю. Радиационные аспекты реабилитации загрязнённых территорий / В. Ю. Агеец, Ю. М. Жученко, С. К. Фирсакова // Чернобыль: экология и здоровье. Проблемы экологической защиты населения : материалы конф., (1–3 июня 1998 г., г. Гомель). – Гомель : ИММС НАНБ, 1998. – С. 15–27.

Поступила в редакцию 23.02.15

E-mail: averinvs@mail.ru

V. S. Averin

FORMATION OF CATTLE ABSORBED DOSES BY MEANS OF EXTERNAL AND INTERNAL RADIATION UNDER CONDITIONS OF PASTURE MANAGEMENT IN THE TERRITORY POLLUTED BY RADIONUCLIDES

For the purpose of an assessment of possibility of use, brought out of an agricultural turn, lands of pasture possible external and internal radiation doses of animals while pasturing were estimated and oral consumption of soil particles. It is established that the power of the absorbed dose from external radiation of animals at pasture in the territory of a near radioactive trace of accident on the CNPP is 4,5–5 times higher than at a pasture in the territory of a distant radioactive trace and 40–45 times above than in the territory of the control area. The revealed regularities show that both on distant and on a near trace of radioactive losses the share of soil particles and vegetable sod layer components, caused incorporated ^{137}Cs in the total absorbed dose of internal radiation makes about 25%. This size is very essential and it is necessary to consider when forecasting radiation consequences for the grazed animals and respectively qualities of the received production. As for ^{90}Sr this size makes 5–6% irrespective of radioactive losses range.

Key words: power of the absorbed dose, soil particles, vegetable components of sod layer, ^{137}Cs , ^{90}Sr , a large cattle.