

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ^{90}Sr В КОРОВЬЕ МОЛОКО В УСЛОВИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

¹Каратаев С.С., ¹Байгазинов Ж.А., ¹Лукашенко С.Н., ¹Паницкий А.В., ¹Байгазы С.А.,
¹Мамырбаева А.С.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан (071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2), e-mail: irbe@nnc.kz

В работе представлены результаты натурных исследований параметров перехода ^{90}Sr в коровье молоко при однократном и длительном поступлении радионуклида в организм крупного рогатого скота (далее – КРС) с водой и луговой растительностью. Скот содержался в условиях радиоактивного загрязнения технической площадки «Дегелен». Выявлено снижение концентраций ^{90}Sr в коровьем молоке после прекращения кормления и поения радиоактивно загрязненным кормом и водой. После однократного поступления ^{90}Sr с водой в организм КРС основное количество ^{90}Sr наблюдается в молоке в период от 12 до 22 ч, с сеном – в период от 18 до 60 ч. При этом максимальные коэффициенты перехода в звене «вода-молоко» и «растительность-молоко» составили $2,3 \times 10^{-3}$ и $4,3 \times 10^{-4}$ соответственно. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в коровье молоко при длительном поступлении с водой и растительностью составляют $2,6 \times 10^{-4}$ и $2,0 \times 10^{-4}$ соответственно. Через 24 часа после длительного поения КРС «грязной» водой активность ^{90}Sr в молоке снизилась в 5 раз, после длительного кормления «грязной» растительностью активность ^{90}Sr в молоке снизилась в 2 раза.

Ключевые слова: радиоэкология, Семипалатинский испытательный полигон, стронций-90, крупнорогатый скот, молоко, коэффициент перехода, радиоактивное загрязнение, площадка «Дегелен», миграция радионуклидов, выведение радионуклидов.

THE TRANSFER PARAMETERS OF ^{90}Sr TO COW'S MILK IN THE SEMIPALATINSK TEST SITE CONDITIONS

¹Karataev S.S., ¹Baygazinov Z.A., ¹Lukashenko S.N., ¹Panitskiy A.V., ¹Baygazy S.A.,
¹Mamyrbaeva A.S.

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan (071100, Kurchatov, street Krasnoarmeiskaya, 2), e-mail: irbe@nnc.kz

The paper provides findings of field studies on parameters of ^{90}Sr transfer in cow's milk after a single and prolonged radionuclide intake into black cattle with water and meadow vegetation. Cattle were kept in conditions of radioactive contamination at "Degelen" site. A reduction was revealed in the concentrations of ^{90}Sr in cow's milk after we stopped feeding and watering contaminated food and water. After a single uptake of ^{90}Sr with water in the cattle body the bulk of ^{90}Sr in milk is observed from 12 to 22 hours, when with hay – from 18 hours to 60 hours. The maximal transfer factors in the chain of «water-milk» and «vegetation-milk» were 2.3×10^{-3} and 4.3×10^{-4} . Transfer factors of ^{90}Sr in cow's milk after prolonged uptake with water and vegetation are 2.6×10^{-4} and 2.0×10^{-4} , respectively. 24 hours after long term watering of the cattle with contaminated water ^{90}Sr activity in milk decreased 5 times, after a long feeding with contaminated vegetation ^{90}Sr activity in milk decreased 2 times. 20 days after feeding contaminated grass 0.0013% of ^{90}Sr daily intake is excreted with milk per 1 liter of milk.

Keywords: Radioecology, Semipalatinsk Test Site, strontium-90; black cattle, milk, transfer factor, radioactive contamination, «Degelen» site, migration of radionuclides, excretion of radionuclides.

Введение

До настоящего времени изучению перехода ^{90}Sr в коровье молоко посвящено достаточно большое количество работ. Доказательством тому может служить опубликованный в 2010 г. документ МАГАТЭ, где представлены параметры перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию [7], данные Грин Н. [6], а также обобщение Фесенко С. и др. [4; 5]. Однако имеющиеся знания не всегда применимы для

условий Семипалатинского испытательного полигона (далее - СИП), так как параметры, характеризующие особенности миграции, могут различаться на порядки.

Для разработки комплекса мероприятий по прогнозированию и снижению содержания радионуклидов в продукции, получаемой в условиях радиационного загрязнения, до безопасных уровней, необходимо изучение перехода ^{90}Sr в коровье молоко, которое, как известно из литературных источников, ранее не проводилось в условиях СИП.

Результаты исследований будут использованы для оценки параметров перехода ^{90}Sr в молоко коров, выпасающихся вблизи технических площадок «Опытное поле», «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень».

Общая методология исследований

Исследования проведены на площадке «Дегелен» бывшего СИП, где проводились подземные ядерные испытания в штольнях. Основное загрязнение площадки обусловлено водотоками, которые вытекают из полости взрыва, перенося радионуклиды на дневную поверхность [1], тем самым формируя загрязнение экосистемы радионуклидами на значительной территории.

В исследовании использовались местные беспородные коровы, в условиях стойлового содержания. На месте проведения эксперимента был установлен загон с выгульной площадкой. Кормление и доение проводили утром (08.00 час.) и вечером (19.00 час.), в отдельных случаях доение проводилось через каждые 4 и 6 часов без подкормки. Рацион животного состоял из луговой растительности 16-18 кг (сырой вес) и концентрированного корма 2 кг. При каждом доении на всем протяжении эксперимента корова выдаивалась полностью.

Основными источниками поступления ^{90}Sr в организм животного являются вода и луговая растительность радиоактивно загрязненной экосистемы.

Эксперимент был разбит 4 этапа: 1-й этап, при однократном поступлении с питьевой водой; 2-й этап, при однократном поступлении с луговой травой; 3-й этап, при длительном поступлении с питьевой водой; 4-й этап, при длительном поступлении с луговой травой.

Материалы и методика исследования

При однократном поступлении с водой. Экспериментальному животному было выпоено $20,0 \pm 0,5$ литра загрязненной воды. Начиная со следующего дня поение проводилось «чистой» водой. Предварительно отобрана контрольная проба молока. Далее в течение следующих 10 суток наблюдали динамику изменения концентрации ^{90}Sr в молоке.

При однократном поступлении с луговой травой. После утреннего доения животному начали скармливать свежескошенную траву. Время интенсивного поедания травы составило 3 часа, в течение которого корова съела $2,8 \pm 0,1$ кг сухого вещества корма. Уже с вечера того

же дня поение и кормление животного проводилось заготовленным «чистым» сеном и водой. В течение следующих 10 суток наблюдали динамику изменения концентрации ^{90}Sr в молоке.

При длительном поступлении с питьевой водой. Ежедневно в течение 10 суток экспериментальное животное поили «грязной» водой. Далее животное переводили на поение «чистой» водой и в течение 30 дней наблюдалось выведение ^{90}Sr с молоком. Кормили животное на всем протяжении только «чистой» травой. Доеение проводилось 2 раза в день, утром и вечером. В процессе поения проводился ежедневный учет количества воды, выпиваемого экспериментальным животным.

При длительном поступлении с луговой травой. Ежедневно в течение 15 суток, два раза в день, экспериментальному животному выкашивали и скармливали растительность, произрастающую на «грязном» участке. В дальнейшем животное перевели на кормление «чистой» травой и в течение 20 дней продолжали наблюдение за изменением концентрации ^{90}Sr в молоке. Доеение проводилось 2 раза в день, утром и вечером. В процессе кормления проводился ежедневный учет количества травы, съеденной экспериментальным животным.

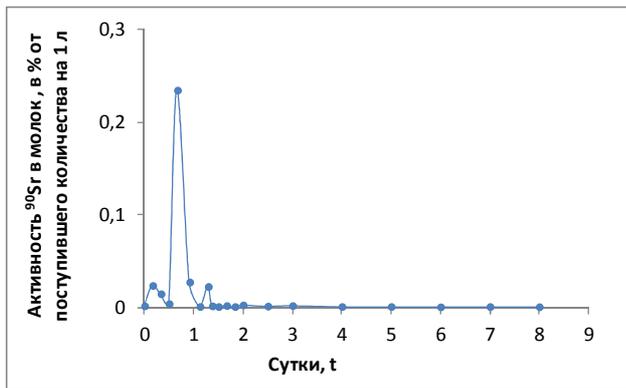
Подготовка проб и методика измерения ^{90}Sr . Подготовку проб молока проводили методом мокрого озоления. Метод основан на полной минерализации органических проб концентрированной азотной кислотой и перекисью водорода при нагревании. Определение ^{90}Sr в растениях проводилось прямым измерением на ПРОГРЕССЕ-БГ. Аналитическая ошибка измерений составляет не более 30%.

Расчет коэффициента перехода ^{90}Sr в молоко. В качестве параметра уровня поступления ^{90}Sr из внешней среды в сыворотку молока использовали коэффициент перехода радионуклида (K_n), рассчитываемый как отношение удельной активности сыворотки молока (Бк/л) к суммарному количеству радионуклида, поступившего в течение дня в организм животного (Бк/сут).

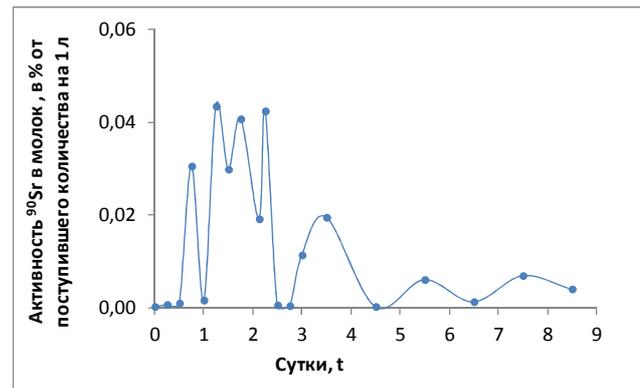
Результаты и обсуждение исследования

Исследование динамики изменения концентрации ^{90}Sr в молоке при однократном поступлении со штольневой водой. На основании данных о концентрации ^{90}Sr в штольневой воде, которая в среднем составила 830 ± 80 Бк/л, и количестве выпоенной воды рассчитано поступление ^{90}Sr в организм экспериментального животного, что на данном этапе составило $17,0 \pm 2,5$ кБк/сут.

Динамика изменения концентрации ^{90}Sr в молоке при однократном поступлении с водой представлена на рисунке 1А.



А)



Б)

Рисунок 1 – Динамика выделения ^{90}Sr с молоком коров после однократного поступления с водой (А) и луговой травой (Б)

В результате однократного поступления ^{90}Sr с водой основное количество радионуклида выделяется с молоком за первые 24 часа. В первой пробе молока (через 4 ч) отмечается увеличение активности ^{90}Sr . Основной пик активности ^{90}Sr в молоке зафиксирован через 16 часов после выпаивания и составил – 39 ± 1 Бк/л. K_p составил $\sim 2,3 \times 10^{-3}$ или 0,23% от суточного поступления на 1 л молока. В следующей пробе, отобранной через 6 часов, отмечается резкое снижение концентрации ^{90}Sr в молоке, которое составляет 1,8% от максимальной активности ^{90}Sr . Через 30 часов после поения концентрация ^{90}Sr в молоке снижается до отметки ниже предела обнаружения используемого метода измерения ($< 0,3$ Бк/л). В аналогичной работе [2] животным однократно вводили раствор с радионуклидами (в т.ч. ^{90}Sr), основной пик активности ^{90}Sr в молоке был через 24 ч, и составил 0,09% от введенного количества на 1 л молока. Отличие результатов может быть связано с особенностями рациона животных и их продуктивностью.

Исследование динамики изменения концентрации ^{90}Sr в молоке при однократном поступлении с луговой травой. Определялась концентрация ^{90}Sr в сухом веществе луговых растений, отобранных из общей массы корма перед скармливанием. Установлено, что активность ^{90}Sr составляет $21,0 \pm 2,4$ кБк/кг. Так, количество поступившего ^{90}Sr с травой составило 60 ± 6 кБк/сут.

Динамика выделения ^{90}Sr с молоком коров после однократного поступления с травой представлена на рисунке 1Б. Видно, что основное количество радионуклида выделяется с молоком за первые 4 дня. Первое повышение активности ^{90}Sr происходит через 12 часов, тогда как при поступлении с водой повышение отмечается уже через 4 часа. Наиболее высокие активности отмечаются начиная с 30-го по 54-й час наблюдения. K_p в этот промежуток времени равен $4,3 \times 10^{-4}$, или 0,043% от суточного поступления ^{90}Sr в организм животного. После 3-х суток концентрация ^{90}Sr в молоке снижается в несколько раз, но не выводится полностью на всем протяжении данного этапа. На 9-е сутки с молоком выходит 0,0041% от однократно поступившего ^{90}Sr на 1 л молока. Результаты эксперимента,

представленные в работе [3], показали, что когда в корм для животных добавляли раствор с различными радионуклидами (в т.ч. ^{89}Sr), время наступления максимума выведения составляет 60 ч, K_p составил $3,2 \times 10^{-4}$, а период полувыведения равен 2 суткам. За 4 дня выделение с удоем составило 0,6% от введенного количества, за 12 дней - 0,71%. Таким образом, получены разные уровни перехода, что, по-видимому, можно объяснить различиями условий в проведении эксперимента и биологическими особенностями животных.

Исследование динамики изменения концентрации ^{90}Sr в молоке при длительном поступлении с питьевой водой. Для оценки поступления ^{90}Sr с водой в течение 10 дней проводился учет ежедневно выпиваемой «грязной» воды. Животное ежедневно выпивало от 17 до 37 литров загрязнённой воды. Всего за десять суток было выпоено 223 л воды. Для оценки поступления в организм экспериментального животного ^{90}Sr с водой проводилось исследование динамики изменения концентрации ^{90}Sr в воде водотока шт. № 177. Концентрация ^{90}Sr в воде на протяжении эксперимента в среднем составила 830 ± 250 Бк/л. На основании этих данных был проведен расчет ежедневного поступления ^{90}Sr с водой, которое варьировало в зависимости от количества выпитой воды и составило от 14 до 30 кБк/сут.

Динамика концентрации ^{90}Sr в молоке при длительном поступлении с водой представлена на рисунке 2А.

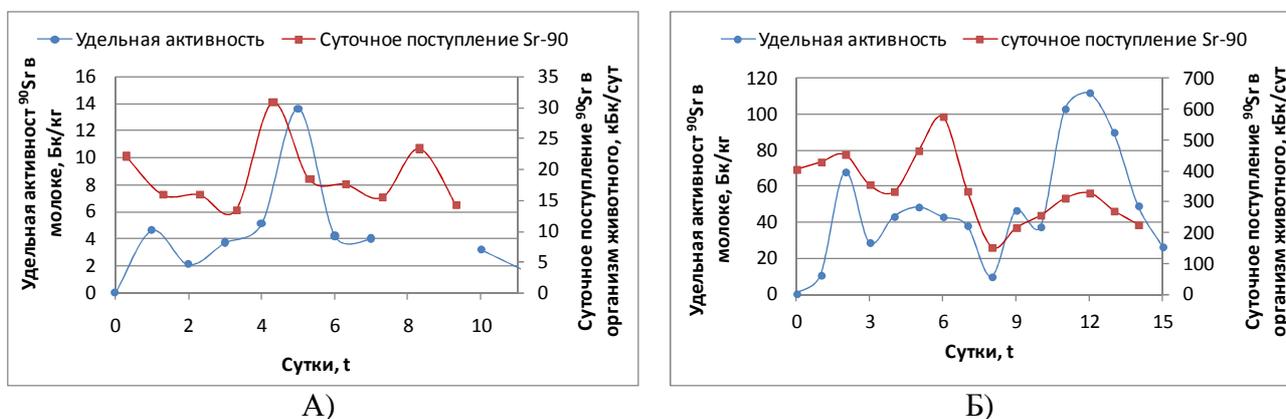


Рисунок 2 – Динамика выделения ^{90}Sr с молоком коров после длительного поступления с водой (А) и луговой травой (Б)

Как видно из рисунка, изменение концентраций ^{90}Sr в молоке связано с количеством поступившего радионуклида в организм животного. В среднем за 10 дней K_p ^{90}Sr в молоко составил $2,9 \times 10^{-4}$, $n=8$, или 0,029% от суточного поступления ^{90}Sr с водой. Через 24 часа после последнего поения КРС «грязной» водой активность ^{90}Sr в молоке снизилась в 5 раз, еще через сутки концентрация ^{90}Sr в молоке была ниже предела обнаружения прибора ($<0,1$ Бк/л). Снижение концентрации радионуклида в молоке может достаточно точно ($R^2 = 0,99$) описано экспоненциальной функцией вида:

$$A = 3,3e^{-0,9t} \text{ (1).}$$

Исследование динамики изменения концентрации ^{90}Sr в молоке при длительном поступлении с луговой травой. Для контроля поступления ^{90}Sr в организм животного проводился ежедневный учет съеденной луговой травы. Животное ежедневно съедало $4,7 \pm 0,4$ кг сухого вещества корма. Определение активности ^{90}Sr в корме проводили на основании анализа проб растений, отбиравшихся через каждые два дня по одной пробе. Результаты определения удельной активности ^{90}Sr в пробах растительности показали, что средняя концентрация ^{90}Sr в расчете на сухой вес растения составила 71 ± 25 кБк/кг ($n=8$). С учетом поедаемого ежедневно количества корма и средней удельной активности ^{90}Sr в растениях было рассчитано среднее суточное поступление ^{90}Sr в организм животного с кормом, которое составило 340 ± 110 кБк/сут.

На динамику (рис. 2Б) концентрации ^{90}Sr в молоке при длительном введении с луговой травой на этапе «поступление» повлияла неоднородность активности ^{90}Sr в корме. Повышение концентрации ^{90}Sr в растительности на 6-е сутки эксперимента повлияло на увеличение активности ^{90}Sr в молоке на 11-12-е сутки. В связи с этим коэффициент перехода был рассчитан по наибольшему значению удельной активности ^{90}Sr в молоке на 12-е сутки и суточного поступления ^{90}Sr в организм на 6-е сутки, так $K_{\text{п}}$ составил $2,0 \times 10^{-4}$.

Динамику концентрации ^{90}Sr в молоке после завершения кормления загрязнённым кормом можно аппроксимировать следующим уравнением:

$$A = 33e^{-0,2t} \text{ (2).}$$

После прекращения кормления животного загрязнённым сеном активность ^{90}Sr в молоке снижается в 2 раза через 24 часа, и еще в два раза через ~48 часов. Далее концентрация ^{90}Sr в молоке снижается медленнее. Через 20 суток после прекращения кормления загрязненной травой с молоком выводится 0,0013% от суточного поступления ^{90}Sr с кормом на литр молока.

Заключение

^{90}Sr переходит в коровье молоко в 2 раза интенсивнее с водой, чем с кормом. Выделение ^{90}Sr с молоком коров после однократного и длительного скармливаний загрязнённой луговой растительности равно 0,043% и 0,02% от суточного поступления ^{90}Sr с кормом на литр молока. Выделение ^{90}Sr с молоком коров после однократного и длительного поений загрязненной водой равно 0,23 и 0,026% от суточного поступления ^{90}Sr с водой на 1 л молока.

Параметры перехода ^{90}Sr в молоко при однократном и длительном поступлении с кормом одинаковы, а при однократном поении животного загрязнённой водой переход ^{90}Sr на порядок больше, чем при длительном поступлении. Это объясняется тем, что при

однократном поступлении с водой основное количество ^{90}Sr в организме переходит в молоко в промежуток с 12 до 16 часов после поения.

Исследования проведены в условиях реального, но неоднородного и непостоянного радионуклидного загрязнения компонентов окружающей среды, что отличает их от лабораторных условий. Это дает возможность оценить реальные концентрации радионуклидов в продукции, что является научно доказанным обоснованием для разработки рекомендаций по особенностям ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения.

Список литературы

1. Ахметов М.А. Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации на горном массиве Дегелен СИП / М.А. Ахметов, О.И. Артемьев Л.Д. Птицкая // Вестник Национального ядерного центра РК. Радиоэкология. Охрана окружающей среды. – 2000. - Вып. 3 (9). - С. 23-28.
2. Сироткин А.Н. Переход продуктов ядерного деления в молоко коров при однократном и хроническом поступлении через рот / А.Н. Сироткин, И.А. Сарапульцев // Гигиена и санитария. – 1973. - № 6. - С. 108-110.
3. Федоров Е.А. Биологическое действие молодых продуктов деления на молочный сот и их переход в продукцию животноводства / под ред. Б.Н. Анненкова, И.К. Дибобеса, Р.М. Алексахина // Радиобиология и радиоэкология сельскохозяйственных животных. - М. : Агропромиздат, 1973. - С. 70-140.
4. Fesenko S. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 2. Transfer to milk / S. Fesenko, N. Isamov, B.J. Howard [et al.] // J. Environmental of Radioactivity. – 2007. - V. 98. - P. 104-136.
5. Fesenko S. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 1. Gut absorption / S. Fesenko, N. Isamov, B.J. Howard [et al.] // J. Environmental of Radioactivity. – 2007. - V. 98. - P. 85-103.
6. Green N. Recommended transfer factors from feed to animal products. NRPB-W40 / N. Green, R.F.M. Woodman // National Radiological Protection Board. - 2003. - 63 p.
7. Handbook of Parameter Values for the Prediction of radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. – Vienna : International atomic energy agency, 2010. (Technical reports series, ISSN 0074-1914; no. 472).

Рецензенты:

Кожебаев Б.Ж., д.с.-х.н., декан аграрного факультета Семипалатинского государственного университета им. Шакарима, г. Семей.

Арынова Р.А., д.б.н., профессор кафедры животноводства и охотоведения с основами морфологии Семипалатинского государственного университета им. Шакарима, г. Семей.