

Применение *In Vitro* метода для оценки биологической доступности почвенно-ассоциированных радионуклидов в желудке КРС

С.А.КАЛИНИЧЕНКО

При помощи *In Vitro* метода изучаются факторы, оказывающие влияние на сорбцию радионуклидов из почвенных частиц рубцовой жидкостью крупного рогатого скота (КРС). Показано, что на степень экстрагируемости ^{137}Cs из почвы оказывает влияние, главным образом, наличие в составе рубцовой жидкости ионов калия. Основным фактором, при высвобождении ^{90}Sr из почвы является значение рН экстрагента. Нахождение же в составе экстрагента катионов тяжёлых металлов, в концентрациях характерных для рубцовой жидкости при условии поступления в организм КРС кормов с содержанием Рb и Cd на уровне ВДУ, не влияет на высвобождение радионуклидов из почвенных частиц. Полученные данные позволяют использовать моделируемые растворы при прогнозе биодоступности радионуклидов из почвы и возможной степени загрязнения продукции животноводства – молока и мяса.

Биодоступность, коэффициент перехода, сорбция, буферный раствор, рубцовая жидкость, экстракция, почвенно-поглощающий комплекс.

Авария на Чернобыльской атомной станции является самой крупной по масштабам и нанесённому ущербу техногенной катастрофой за всю историю развития атомной энергетики. Среди территорий, подверженных радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС, 38400 км² приходится на Республику Беларусь, что составляет 18% от всех её земель. Огромный ущерб был нанесён сельскохозяйственной сфере – более 18 тыс. км² сельскохозяйственных угодий было подвергнуто радиоактивному загрязнению. Среди них большое количество пастбищных площадей. Сельскохозяйственное производство в Республике Беларусь ведётся на 1351.2 тыс. га угодий с плотностью загрязнения по ^{137}Cs более 1 Ки/км², из которых 515.8 тыс. га составляют сенокосы и пастбища и на 555.1 тыс. га, загрязнённых ^{90}Sr с плотностью более 0.15 Ки/км², из которых на сенокосы и пастбища приходится 213. 2 тыс. га [7]. В процессе выпаса крупного рогатого скота на загрязнённой территории происходит накопление радионуклидов основными продуктами животноводства – молоком и мясом, ведущее к внутреннему облучению населения. Таким образом, необходимо отметить важность исследований, направленных на снижение поступления радиоактивных изотопов в организм сельскохозяйственных животных и глобальность стоящей перед радиоэкологами проблемы. Вклад молока в суммарное поступление ведущего дозообразующего радионуклида ^{137}Cs в организм человека в зоне аварии на ЧАЭС может достигать 70% от валового поступления этого радионуклида с рационом [2].

Существует ряд исследований, подтверждающих значительное повышение содержания радионуклидов в молоке крупного рогатого скота в весенне-осенний период [2, 9-13]. Такое повышение, возможно, обусловлено некоторыми неучтёнными факторами, среди которых можно выделить следующие:

1. вклад почвенной компоненты (заглатывание животными почвенных частиц с поверхности почвы и пастбищной травы);
2. вклад растительной компоненты почвы (корешки однолетних сорных трав, отмершие остатки растений и т.д.);

3. разность в накоплении радионуклидов в зависимости от возраста и величины травостоя;
4. непосредственное повышение радиоактивности растения при налипании почвы на его поверхность (при атмосферных осадках и т.п.) и диффузии изотопов в растительные ткани;
5. плотность выпаса и эффективность стравливания пастбищного травостоя.

Предпосылкой данных исследований явился факт перорального поступления радионуклидов в результате заглатывания определённого количества почвенных частиц в организм КРС во время выпаса на пастбище, что в некоторых случаях может быть соизмеримо с поступлением в составе загрязнённых кормов. По данным различных авторов корова в пастбищный период потребляет от 100 до 600 грамм почвы в сутки [2]. Естественно, что определённый процент от общей активности почвы составляют радионуклиды, находящиеся в потенциально доступной животным форме, что будет иметь свой вклад в “загрязнении” молока.

Результаты ранее проводимых исследований по влиянию поступления почвенных частиц и растительных компонентов верхнего 5-см слоя дернины на размер перехода радионуклидов в молоко крупного рогатого скота показали следующее. Коэффициенты перехода (КП) в системе “почвенная компонента рациона-животное” в восстановительный период аварии на ЧАЭС составили для почвы дерново-подзолистого типа 0.02-0.03% по ^{137}Cs независимо от дальности радиоактивных выпадений. В отношении ^{90}Sr обнаруживается более высокий уровень поступления из почвы “дальнего” радиоактивного следа (в 5 раз), чем в случае почвы, взятой из 30-км зоны (Табл. 1). Попытка объяснить такое различие в коэффициентах перехода ^{90}Sr различной биодоступностью радионуклида в исследуемых почвах, которая может зависеть от вида выпадений (“дальний” и “ближний” радиоактивные следы), не имела положительного результата.

Таблица 1

Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr (%) в молоко коров опытных групп из потребленной ими почвы в зависимости от степени удаления от района аварии

| Группа | Радионуклид | Сутки опыта | | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | | 3 | 6 | 9 | 15 | 21 | Среднее |
| I опытная (дальний след) | ^{137}Cs | 0.014 | 0.012 | 0.034 | 0.028 | 0.018 | 0.021±0.004 |
| | ^{90}Sr | 0.03 | 0.15 | 0.05 | 0.11 | 0.03 | 0.070±0.020 |
| II опытная (ближний след) | ^{137}Cs | 0.050 | 0.038 | 0.016 | 0.027 | 0.024 | 0.031±0.006 |
| | ^{90}Sr | 0.012 | 0.015 | 0.012 | 0.010 | 0.014 | 0.013±0.001 |

Полученный вклад ^{137}Cs , обусловленный почвенной компонентой, составил: в рационе 15.9 %, в молоке – 0.6 %, вклад ^{90}Sr соответственно – 2.1 % и 0.2 %.

Коэффициенты перехода в системе “растительная компонента дернины-животное” составили для почвы дерново-подзолистого типа 0.02% по ^{137}Cs и 0.06% для ^{90}Sr (Табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr (%) в молоко коров опытных групп из потребленной ими почвы и растительных остатков верхнего слоя дернины

| Группа | Радионуклид | Сутки опыта | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------|-------|-------|------------|
| | | 9 | 15 | 21 | Среднее |
| I опытная (почвенная добавка) | ^{137}Cs | 0.028 | 0.013 | 0.010 | 0.02±0.006 |
| | ^{90}Sr | 0.012 | 0.014 | 0.007 | 0.01±0.002 |
| II опытная (добавка дернины) | ^{137}Cs | 0.011 | 0.020 | 0.028 | 0.02±0.005 |
| | ^{90}Sr | 0.012 | 0.094 | 0.072 | 0.06±0.035 |

В целом исследования показали, что, несмотря на установленный факт о поступлении почвы в организм жвачных животных при выпасе и существующие предположения о почве как потенциальном источнике загрязнения продукции животноводства радионуклидами, доля её вклада в общую активность молока является незначительной. Это объясняется тем, что поступление радионуклидов с пастбищным рационом во много раз превышает почвенный источник [4, 5]. Из литературных данных известно [2, 9-12], что при пастбищном содержании животных наблюдаются более высокие КП рацион-молоко, чем при стойлово-выгульном при одинаковой кормовой базе. Данное обстоятельство многие исследователи объясняют влиянием почвы, потребляемой животными на пастбище. Однако полученные результаты не подтверждают это предположение. Различия в уровне загрязнения молока при пастбищном и стойлово-выгульном типе содержания животных могут также объясняться тем, что при выпасе животными потребляется не только собственно почва, но и органические остатки растительного происхождения в верхнем слое дернины. При этом следует ожидать, что находящиеся в них радионуклиды будут находиться в биологически более доступных для животных формах, нежели в самой почве, что приведёт к более высокой величине их вклада в активность молока. Однако, в случае поступления растительных остатков дернины, небольшое удельное содержание их в рационе выступает как ограничивающий фактор при загрязнении молока радионуклидами.

Окончательный ответ на вопрос о роли, поступающей с пастбища почвы в организм КРС, в формировании активности молока, может дать раскрытие механизмов всасывания радионуклидов, инкорпорированных в почвенных частицах, в желудочно-кишечном тракте животных.

Методика, принятая для определения форм нахождения радионуклидов в почвах, не позволяет дать исчерпывающий ответ на вопрос о величине реального всасывания изотопов в ЖКТ крупного рогатого скота.

Таким образом, основной задачей исследования явилась оценка при помощи *in vitro* метода величин реального всасывания ^{137}Cs и ^{90}Sr в желудочно-кишечном тракте КРС и выявление факторов, влияющих на процессы высвобождения данных радионуклидов в желудке коров.

Материалы и методика

Для проведения исследований, позволяющих ответить на поставленную задачу, за основу были взяты разработки английских учёных [9-13], показывающих, что отправным фактором при экстракции должно быть, верно выбранное, соотношение твёрдой и жидкой фаз. По их мнению, эта величина равна 1:40, что позволяет правильно моделировать процессы высвобождения радионуклидов в рубце крупного рогатого скота. Исходя из этого утверждения, была проведена серия экспериментов, учитывающих такие изменяющиеся параметры, как водородный показатель среды и время инкубации почвы. Экстракция радионуклидов из почвы проводилась в термостате при $t=39^\circ\text{C}$, при постоянном перемешивании. В различных вариантах опыта экстрагентом являлись рубцовая жидкость и буферный раствор Трис/HCl. Отделение рубцовой жидкости от фракции кормовых остатков производилось путем фильтрации с последующим центрифугированием в течение 45 минут при 2000 оборотах в минуту. В эксперименте использовались буферные системы с нейтральной и кислой реакцией среды, имитирующие содержание основных макроэлементов рубцовой жидкости в растворе. Калий вносился в систему в виде соли нитрата калия (KNO_3), натрий в виде соли нитрата натрия (NaNO_3), таким образом, чтобы концентрация калия в экстрагенте составила 6.4 г/л, натрия – 1.6 г/л. Кроме того, для оценки влияния присутствия химических загрязнителей на уровень экстрагируемости радионуклидов из почвы, использовались буферные системы с содержанием тяжёлых металлов – свинца и кадмия в концентрации 25 мг/л. Для экстракции была использована дерново-подзолистая супесчаная почва из 30-км зоны ЧАЭС, снятая с верхнего 5-см слоя, с удельной активностью 104 кБк/кг по ^{137}Cs и 15.9 кБк/кг по ^{90}Sr .

Таким образом, были исследованы следующие варианты экстрагентов при 24-часовой инкубации:

1. Рубцовая жидкость (pH=7.2);
2. Трис/НСI (pH=6.7);
3. Трис/НСI (pH=2.05);
4. Трис/НСI+К (pH=6.71);
5. Трис/НСI+Na (pH=6.71);
6. Трис/НСI+Pb (pH=6.71);
7. Трис/НСI+Cd (pH=6.71).

А также, следующие варианты экстрагентов при 2-часовой инкубации:

1. Трис/НСI (pH=2.02);
2. Трис/НСI+К (pH=2);
3. Трис/НСI+Na (pH=2);
4. Трис/НСI+Pb (pH=2);
5. Трис/НСI+Cd (pH=2).

Определение уровня удельной активности ^{137}Cs в почвенных образцах и экстракте проводилось на гамма-спектрометрическом комплексе "TENNELEC". ^{90}Sr определялся радиохимическим методом с радиометрическим окончанием на низкофоновом альфа-бета-счётчике "Canberra-2400", снабженном пропорциональным счетчиком (2л-геометрия). Определение минерального состава рубцовой жидкости проводилось на атомно-адсорбционном спектрофотометре ААС-30.

Результаты и обсуждение

Цезий-137: Экстрагирование почвы чистой рубцовой жидкостью в течение 24 часов в соотношении почва : раствор 1:40 привело к выходу в раствор 10.9% почвенно-ассоциированного ^{137}Cs (табл. 4). Для выявления факторов, определяющих экстракционную способность рубцовой жидкости в отношении цезия-137, нами был определен минеральный состав рубцовой жидкости, который позволил бы выявить наиболее важные компоненты, возможно влияющие на степень экстрагируемости радионуклидов из почвы (Табл. 3).

Таблица 3

Минеральный состав рубцовой жидкости

| Элемент | К, г/л | Na, г/л | Ca, г/л | Mg, г/л | Fe, мг/л | Mn, мг/л | Zn, мг/л | Cu, мг/л |
|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Содержание | 6.4 | 1.6 | 0.07 | 0.09 | 1.6 | 1.8 | 0.2 | 0.04 |

Известно, что дерново-подзолистые почвы, загрязненные радиоактивными выпадениями, аварийного выброса ЧАЭС, содержат основную долю цезия-137 в необменной, прочно-фиксированной форме [2, 7]. Однако некоторая доля радионуклида способна путем ионообменного механизма переходить в экстрагирующий раствор. Первоочередное влияние на этот процесс должна оказывать концентрация элементов-аналогов цезия в экстрагенте. В нашем случае калий обладает наиболее высокими концентрациями в рубцовой жидкости. Наименее значимым при экстракции, по всей видимости, будет являться натрий, поскольку его концентрация в 4 раза меньше, чем калия.

Для проверки этого утверждения был проведен ряд опытов по экстракции исследуемой почвы растворами солей калия и натрия с концентрациями, характерными для рубцовой жидкости. Результаты эксперимента представлены в табл. 4. Наибольший процент выхода ^{137}Cs из почвы в раствор наблюдается при использовании калийной вытяжки – 10.8%, что соответствует переходу в рубцовую жидкость при тех же условиях.

Таблица 4

Степень экстрагируемости ^{137}Cs при соотношении твёрдой и жидкой фаз 1:40

| Экстрагент | pH | T _{инкуб.} , ч | K _{экстр.} , % |
|-------------------|------|-------------------------|-------------------------|
| Рубцовая жидкость | 7.2 | 24 | 10.9±1.02 |
| Трис/HCl | 6.7 | 24 | 0.9±0.17 |
| Трис/HCl | 2.02 | 2 | 2.3±0.17 |
| Трис/HCl | 2.05 | 24 | 3.9±0.04 |
| Трис/HCl + K | 6.71 | 24 | 10.8±0.47 |
| Трис/HCl + Na | 6.71 | 24 | 2.7±0.04 |
| Трис/HCl + Pb | 6.71 | 24 | 0.9±0.04 |
| Трис/HCl + Cd | 6.71 | 24 | 0.6±0.17 |
| Трис/HCl + K | 2 | 2 | 7.2±0.42 |
| Трис/HCl + Na | 2 | 2 | 4.0±0.16 |
| Трис/HCl + Pb | 2 | 2 | 2.4±0.11 |
| Трис/HCl + Cd | 2 | 2 | 2.5±0.31 |

При экстракции почвы раствором, содержащим ионы натрия, степень высвобождения была гораздо более низкой, чем в случае применения калия и составила 2.7%. Таким образом, первоочередное действие на процессы высвобождения ^{137}Cs из почвы при ионообменных реакциях оказывают катионы калия, что подтверждается хорошей сопоставимостью результатов опытов с натуральной рубцовой жидкостью и модельным раствором.

Другим фактором, возможно имеющим значение при высвобождении изотопов в жидкую среду ЖКТ крупного рогатого скота, является различная кислотность в разных отделах пищеварительного тракта животного. pH рубцовой жидкости составляет в среднем 7. Однако, в сычуге КРС pH желудочного сока понижается до 2, что может привести к изменению биодоступности почвенно-ассоциированного ^{137}Cs . Изменяется также время нахождения почвенных частиц в каждом из отделов ЖКТ коров. Если в рубце КРС почва может находиться около 24 часов, то в сычуге – не более 2 часов [3, 8]. Для установления роли pH и времени экстракции на степень высвобождения ^{137}Cs была проведена серия опытов в условиях кислой и нейтральной среды экстрагента (Табл. 4). Наиболее активное высвобождение ^{137}Cs в модельный буферный раствор, не содержащий исследуемых ионов, наблюдалось при pH=2 и времени экстракции 24 часа. Гораздо в меньшей степени ^{137}Cs экстрагируется при нейтральной реакции среды, по сравнению с кислой.

При введении в кислую среду экстрагента ионов калия и натрия, уровень перехода ^{137}Cs в раствор заметно повышается (табл. 4).

Таким образом, степень экстракции ^{137}Cs из почвенных частиц, находящихся в ЖКТ, зависит в основном от наличия свободных катионов калия, натрия, водорода в желудочном соке КРС, способных вытеснить его из почвенного комплекса.

Стронций-90: В отличие от цезия стронций в почве находится в биологически более доступной форме [1, 2]. Следовательно, его потенциальная биодоступность из почвенных частиц в ЖКТ КРС должна характеризоваться более высокой величиной по сравнению с цезием. Экстракция почвы рубцовой жидкостью в соотношении 1:40 в течение 24 часов приводит к выходу в раствор 25.1% ^{90}Sr (табл. 5).

Таблица 5

Степень экстрагируемости ^{90}Sr при соотношении твёрдой и жидкой фаз 1:40

| Экстрагент | pH | T _{инкуб.} , ч | K _{экстр.} , % |
|-------------------|------|-------------------------|-------------------------|
| Рубцовая жидкость | 7.2 | 24 | 25.1±1.35 |
| Трис/HCl | 6.7 | 24 | 37.7±0.33 |
| Трис/HCl | 2.02 | 2 | 80.4±0.49 |
| Трис/HCl | 2.05 | 24 | 94.9±1.41 |
| Трис/HCl + K | 6.71 | 24 | 68.2±0.24 |
| Трис/HCl + Na | 6.71 | 24 | 56.1±2.74 |
| Трис/HCl + Pb | 6.71 | 24 | 69.6±0.89 |
| Трис/HCl + Cd | 6.71 | 24 | 65.2±0.42 |
| Трис/HCl + K | 2 | 2 | 99.2±2.21 |
| Трис/HCl + Na | 2 | 2 | 91.8±2.38 |
| Трис/HCl + Pb | 2 | 2 | 90.2±3.87 |
| Трис/HCl + Cd | 2 | 2 | 93.0±4.05 |

Для выявления факторов, влияющих на переход стронция-90 в рубцовую жидкость, были исследованы почвенные вытяжки, полученные с применением различных экстрагентов (табл. 5). Наиболее полное замещение ^{90}Sr наблюдается при экстрагировании почвы в кислой среде, в присутствии ионов калия – 99.2%. Основную долю при этом в обменные процессы вносят ионы водорода, что подтверждается опытами с отдельной экстракцией почвы в присутствии одного калия или только с низким значением pH – 68.2 и 94.9% соответственно. При экстракции почвы в нейтральной среде (pH=6.7) в раствор переходит 37.7% ^{90}Sr или в 2.5 раз меньше, чем при значении pH=2. При постоянном объёме экстрагента количество катионов стронция, вытесняемых из почвы в раствор, повышается с увеличением концентрации замещающего катиона [1]. С учётом достаточного количества свободных катионов в растворе, такой обмен, скорее всего, будет происходить до момента полного замещения стронция в почвенно-поглощающем комплексе катионами раствора. При нахождении в экстрагенте нескольких разных катионов между ними будет происходить соперничество за места связывания с почвенно-поглощающим комплексом. Лучше других в реакции замещения будут вступать более реакционноспособные катионы, к которым, в первую очередь, относится водород. Ионы водорода прочнее других обменно удерживаются почвенно-поглощающим комплексом, что говорит об их первостепенном значении при экстрагировании стронция из почвенных частиц. Таким образом, можно предположить, что на экстракцию ^{90}Sr из почвы будет оказывать, главным образом, влияние увеличения в растворе свободных ионов водорода, т.е. показатель pH среды.

Свинец, кадмий: Определённое влияние на размеры перехода радионуклидов из почвы во внутреннюю среду организма КРС могут оказывать поглощённые с кормом тяжёлые металлы. Они могут способствовать, либо усилению, либо уменьшению ионообменных процессов между катионами твёрдой фазы и жидкости. Для проверки этого утверждения была проведена экстракция почвы экстрагентами, содержащими тяжёлые металлы (Pb, Cd) в концентрациях, характерных для рубцовой жидкости при поступлении в организм КРС кормов с содержанием свинца и кадмия на уровне ВДУ (≈ 25 мг/л рубцовой жидкости).

В результате проведенных исследований не установлено влияние присутствия этих тяжёлых металлов в заданных концентрациях на степень экстракции ^{137}Cs . Однако в опыте с добавлением ионов кадмия при pH=6.7 имеется тенденция к снижению перехода радионуклида в раствор в отличие от экстракции почвы при низком pH (табл. 4). На переход ^{90}Sr ионы этих элементов оказывают несколько иное влияние. При добавлении их в буферную систему с pH=6.7 сорбция изотопа стронция увеличивается в 1.7-1.9 раза, а при понижении кислотности до 2 практически не изменяется (табл. 5).

Полученные в ходе работы данные, позволяют утверждать, что на степень экстрагируемости ^{137}Cs из почвы, поступающей в рубец желудочно-кишечного тракта коров при непосредственном поглощении частиц почвы с пастбища, главным образом, оказывает влияние наличие в составе рубцовой жидкости ионов калия. Изменение кислотности буферного раствора при этом не играет существенной роли. При экстракции ^{90}Sr буферным раствором, содержащим ионы калия, высвобождение изотопа увеличивается в 2,7 раза, а с понижением при этом кислотности высвобождение увеличивается до ≈ 4 раз. При экстракции почвы буферным раствором, содержащем ионы натрия, высвобождение ^{137}Cs происходит лишь на 25 % от перешедшего при тех же условиях в рубцовую жидкость. Понижение кислотности экстрагента увеличивает переход радиоцезия в 1.5 раза. Нахождение ионов натрия в растворе даёт аналогичную картину по сорбции ^{90}Sr , как и в случае с калийной компонентой.

Таким образом, на сорбцию ^{137}Cs существенное влияние оказывает в первую очередь минеральный состав рубцовой жидкости, и прежде всего ионы калия, что позволяет использовать моделируемый раствор экстрагента с концентрацией калия, характерной для рубцовой жидкости, при прогнозе биодоступности цезия из почвы и возможной степени загрязнения продукции животноводства – молока и мяса. Высвобождение же ^{90}Sr увеличивается в основном за счёт понижения водородного показателя, что позволяет моделировать сорбцию изотопа стронция изменением pH раствора. Добавление же катионов тяжёлых металлов в заданных концентрациях в экстрагент не влияет на высвобождение радионуклидов из почвенных частиц.

Abstract

S.A. Kalinichenko. Employment *In Vitro* method for assess the bioavailability of soil-associated radionuclides in uptake by cattle // Proc. Gomel State Univ., 4 Biology (2001)

The factors which influence the radionuclides sorbtion from soil particles by rumen fluid of cattle are examined. It is stated that the extent of extractability of ^{137}Cs from soil is influenced mainly by presence of potassium ions in rumen fluid. The basic factor influencing the release of ^{90}Sr from soil is the medium pH value. Concentrations of heavy metals cations typical for rumen fluid in the extractant, under conditions that cattle intake feeds with Pb and Cd concentration levels within DIL's, do not influence the release of radionuclides from soil particles. The data make it possible to use the modelling solutions to predict bioavailability of radionuclides from soil as well as to predict possible contamination of animal products (milk and meat).

Литература

1. Агрохимия. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. и др. / Под ред. Б.А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1989. – С. 117–130.
2. Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарев В.Г. Сельскохозяйственная радиоэкология. Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А. М.: Экология, 1991. – 400 с.
3. Глаголев П.А., Ипполитова В.И. Анатомия сельскохозяйственных животных с основами гистологии и эмбриологии. / Под ред. И.А. Спирухова и В.Ф. Вракина. М.: Колос, 1977. – 480 с.
4. Калиниченко С.А., Пятнов Ю.Н., Аверин В.С., Ненашев Р.А. Роль почвенного фактора в загрязнении продукции животноводства при пастбищном содержании жвачных животных. Сельскохозяйственная деятельность в условиях радиоактивного загрязнения. // Материалы Межд. науч.-практ. конф. (г. Горки, 29 июня-2 июля 1998 г.), Горки, 1998. – С. 54–57.
5. Калиниченко С.А. Вклад депонированных в почве радионуклидов в загрязнение молока ^{90}Sr , ^{137}Cs при пастбищном содержании крупного рогатого скота. Молодёжь и экологи-

гические проблемы современности. // Материалы III науч.-практ. конф. молодых учёных (Гомель, май 1999 года), Гомель, 1999. – С. 62–63.

6. *Ильязов Р.Г., Алексахин Р.М., Корнеев Н.А. и др.* Радиоэкологические аспекты животноводства (последствия и контрмеры после катастрофы на Чернобыльской АЭС). / Под общ. ред. Р.Г. Ильязова. Гомель: Полеспечать, 1996. – 179 с.

7. Руководство по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 1997–2000 г.г. / Под ред. Богдевича И.М. – Минск, 1997. – 76 с.

8. *Эннисон Е.Ф. Льюис Д.* Обмен веществ в рубце. М.: 1962. – 356 с.

9. *Beresford N.A., Howard B.J.* The importance of soil adhered to vegetation as a source of radionuclides ingested by grazing animals // *The Science of the Total Environment*. 1991. – V 107. – P. 237–254.

10. *Crout N.M.J., Beresford N.A., Howard B.J.* Does soil adhesion matter when predicting radiocaesium transfer to animals? // *J. Environ. Radioactivity*. 1993. – P. 201–212.

11. *Gooke A.I., Green N., Rimmer D.L., Weekes T.E.C., Wilkins B.T.* Development of an *In Vitro* method to assess the availability of soil-associated radionuclides for uptake by ruminants // *J. Environ. Radioactivity*. 1995. – V. 2, №2. – P. 191–207.

12. *Green N., Dodd N. J.* The Uptake of radionuclides from inadvertent consumption of soil by grazing animals // *The Science of Total Environment*. 1988. – V. 69. – P. 367–377.

13. *Wilkins B.T., Gooke A.I., Green N., Rimmer D.L., Weekes T.E.C.* The of an *In Vitro* method to Assess the availability of soil-associated radionuclides for uptake by ruminants // *Radiation Protection Dosimetry* 1997. – V. 69, №2. – P. 111–116.

РНИУП «Институт радиологии»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Поступило 08.09.2000