УДК 636.03;519.87

Обоснование учёта факторов, модифицирующих поступление, накопление Cd и Pb в организме жвачных животных и переход в животноводческую продукцию

Епимахов В.Г., кандидат биологических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск

Аннотация. *Проведена оценка взаимосвязи параметров расчёта коэффициента перехода (КП) Cd и Pb из рациона в животноводческую продукцию: концентрации тяжёлых металлов (ТМ) в молоке и мышечной ткани и их содержания в рационе жвачных животных. Представлен перечень факторов, модифицирующих накопление ТМ в организме животных и переход в молоко и мясо КРС. Для оценки влияния факторов используется имитационное моделирование. Представлена концептуальная схема имитационных моделей поступления Cd и Pb с рационом в организм жвачных животных. Показано, моделирование процессов накопления и перехода ТМ в продукцию животноводства соответствует реальной действительности, что позволяет использовать модели для оценки максимально допустимого уровня (МДУ) содержания ТМ в рационе жвачных животных в зависимости от вида животных, возраста, физиологического состояния, способа содержания и уровня продуктивности.*

Ключевые слова: *тяжёлые металлы, рацион, имитационное моделирование, жвачные животные, модифицирующие факторы, допустимые уровни содержания Cd и Pb в рационе, переход в животноводческую продукцию.*

Результатом проведения любого научного исследования, в том числе оценки перехода ТМ из кормов в продукцию животноводства, состоит в нахождении и описании связей между изучаемыми переменными. Иных способов представления результатов, кроме как описание в терминах зависимостей между количествами или качествами, выраженными через какие-либо переменные, в природе не существует. Цель данной работы заключается в обосновании учёта факторов, модифицирующих поступление, накопление Cd и Pb в организм жвачных животных и переход в животноводческую продукцию (молоко и мясо).

В зоотехнической практике, исходя из реальных уровней загрязнения кормов, допустимые уровни содержания ТМ в суточном рационе рассчитывают на основании усредненных значений КП и предельно-допустимой концентрации (ПДК) в молоке и мясе, регламентированной санитарно-гигиеническими требованиями [1, 2]. Коэффициент перехода считается критерием оценки поступления ТМ в молоко и мясо и используется в качестве количественного параметра при разработке профилактических мероприятий в животноводческой отрасли по получению экологически чистой продукции и прогнозирования ожидаемых уровней её загрязнения [3]. Полагают, зная коэффициент перехода тяжёлого металла, можно подобрать состав суточного рациона, обеспечивающий получение экологически безопасной продукции.

В процессе обобщения и анализа информации использования различных подходов к расчёту КП [4] было предложено оценить взаимосвязь параметров КП: концентрации Cd и Pb в молоке и мышечной массе КРС и содержания ТМ в рационе животных. Была сделана выборка экспериментальных данных по результатам исследований, представленных в источниках. Использовался метод обработки статистических данных - корреляционный анализ, который является мерой степени связи между двумя или более переменными.

На рисунке 1 изображено графическое представление диаграммы рассеивания переменных. Оно дополнено прямыми линейной регрессии, полученными с помощью регрессионного анализа, и значениями коэффициентов детерминации, отражающих меру корреляционной зависимости между параметрами.

Размытость облака точек вокруг линий корреляции показывает слабую группировку данных (коэффициенты детерминации меньше 25%, [5]). Вместе с тем, связи – положительные, о чём говорит их однонаправленное изменение.

Расчёт корреляции производился с использованием метода квадратов Пирсона. Выполнена оценка достоверности связи параметров – с вероятностью 99% с ростом содержания свинца и кадмия в рационе увеличивается концентрация ТМ в молоке и мышечной ткани.

Анализ взаимосвязи параметров КП и его большая вариабельность по результатам многочисленных исследований показывают, что данный показатель перехода ТМ из рациона в продукцию животноводства надо рассматривать не как коэффициент, а функцию множества параметров, которые, помимо содержания ТМ в рационе и длительности поступления ТМ, влияют на оценку КП. Несмотря на различные варианты вычисления КП [4], именно они подчеркивают его многофакторный характер. При описании результатов конкретного исследования он является лишь характеристикой данного эксперимента и должен рассматриваться как феноменологический показатель. То есть, использование его в других расчётах будет иметь смысл только при тех же условиях, которые были в данном конкретном эксперименте

или исследовании. Любое изменение условий или иных параметров влечет изменение значений КП и искажению ожидаемых результатов. Вследствие этого ценность знания КП незначительна и требует специального анализа. В каждой конкретной ситуации, учитывающей характер загрязнения с/х угодий, скармливаемых животным кормов параметры перехода ТМ в звене рацион-организм-продукция должны уточняться и корректироваться исходя из накопленных знаний о процессах поступления и аккумуляции ТМ в организме животных.

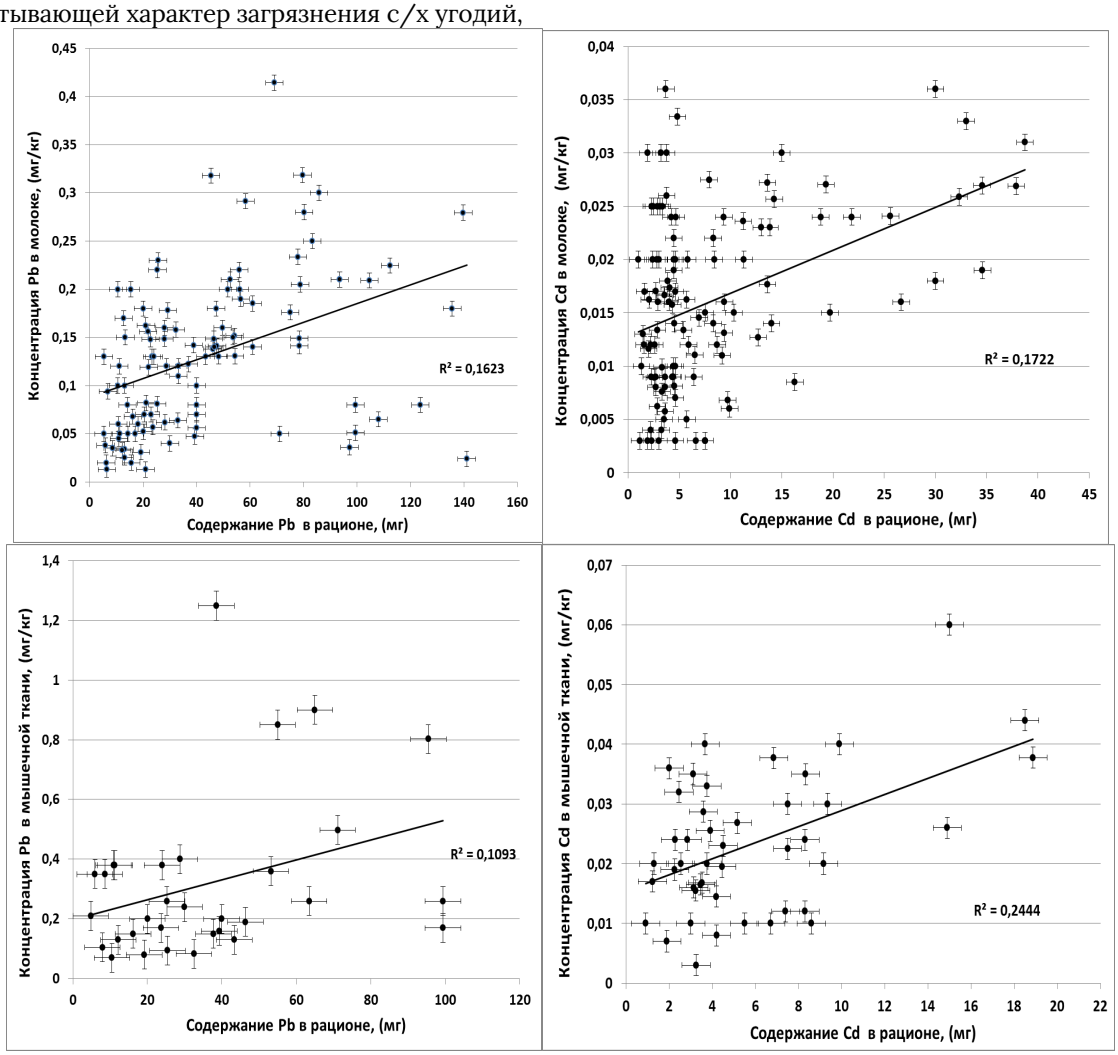

Рис. 1. Оценка взаимосвязи параметров КП: концентрации Cd и Pb в молоке и мышечной ткани КРС

Обзор научно-исследовательской литературы по вопросам содержания животных на техногенных территориях позволил установить модифицирующие факторы, отвечающие за разброс значений КП (таблица 1). В качестве подхода оценки их влияния на накопление ТМ в организме и переход в продукцию используется имитационное моделирование [6]. На рисунке 2 представлена концептуальная схема, которая лежит в основе разработки и построения имитационных моделей для оценки МДУ в рационах кормления жвачных животных. Схема включает 5 (пять) блоков, которые отражают структуру и порядок функционирования моделей. Блок «Технология содержания и кормления» включает исходные данные: вид животных (овцы или КРС), возрастная группа и направление использования (растущие животные, на откорме, лактирующие и т.д.). В моделях (блок «Рацион кормления») соотношение зелёных, грубых, сочных кормов и концентратов в рационе определяется видом животных, возрастной группой, направлением хозяйственного использования, а для лактирующих животных дополнительно зависимостью от стадии лактации. Для количественного учета определения потребляемых питательных веществ корма выбрана система оценки кормов по обменной энергии [7].

Таблица 1. Факторы, модифицирующие величину перехода ТМ в продукцию животноводства

№ п/п	Факторы
1	Вид животных
2	Тип рациона
3	Возрастная группа
4	Содержание ТМ в рационе
5	Длительность поступления ТМ с рационом
6	Технология содержания и кормления животных
7	Содержание ТМ в организме

В блоке « Метаболизм ТМ в организме животных» абсорбция ТМ при поступлении в ЖКТ с кормом определяется характеристиками ТМ и зависит от возрастной группы животных. Для Cd коэффициент

абсорбции составляет от 5-10% для растущих животных и 2-3 % для взрослых. Для Pb соответственно, 15 и 5 %. Накопление ТМ в организме зависит от вида, возрастной группы животных, их физиологического состояния, а также содержания или концентрации ТМ в рационе. Выведение тяжёлых металлов из организма включает «транзит» ТМ через ЖКТ, выведение с молоком для лактирующих животных и «естественная» элиминация с калом и мочой.

Моделирование кормления животных согласно типовым рационам при заданной технологии содержания и кормления обеспечивает планируемую продуктивность: удой или привес (блок «Животноводческая продукция»). Проводится оценка концентрации ТМ в продукции (молоке и мясе).

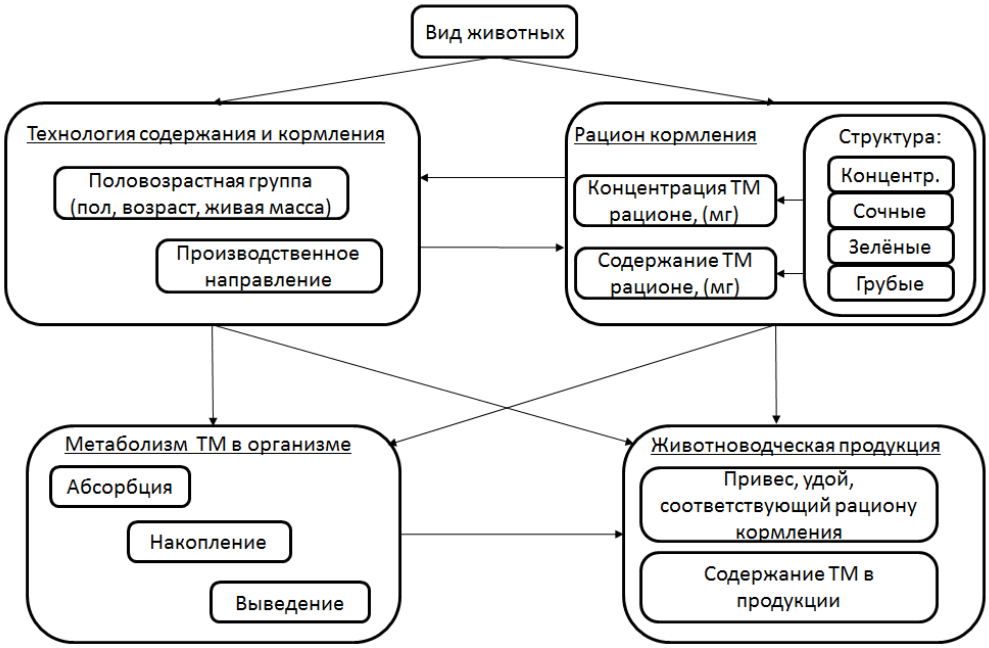

Рис. 2. Концептуальная схема модели поступления ТМ с рационом в организм жвачных животных

При разработке моделей основное внимание уделялось вопросам количественной оценки допустимого уровня содержания ТМ в рационах жвачных животных и влияния факторов, модифицирующих накопление ТМ в организме и переход в молоко и мясо.

Модели являются стохастическими [8]. В них учитываются вариации концентрации ТМ в рационе, коэффициента абсорбции в организме, основного обмена от животного к животному при данном физиологическом состоянии, величины ретенции ТМ и переходе в продукцию, других параметров, а также стохастический характер потребления корма. Выполнена верификация моделей. В процессе исследований путем проведения численных экспериментов получены следующие результаты:

- впервые установлены закономерности формирования зависимостей «доза-эффект» при потреблении животными ТМ с рационом [8], которые оказались аналогичны и повторяют в целом базовые закономерности, установленные в токсикологии для изолированных органов и тканей [9];

- показано, спектры проявлений отклика организма жвачных животных и выраженность развивающегося токсического эффекта являются функцией содержания ТМ в рационе и длительности поступления в организм, зависят от возрастной группы и вида животных, определяются типом рациона кормления и другими факторами;

- анализ формирования зависимостей «доза-эффект» показал, что имеет место нормальное и логнормальное распределение животных по изучаемым интегральным показателям. Используя характеристики распределений, можно спрогнозировать у какой численности поголовья концентрация ТМ в продукции превысит норматив в течение рассматриваемого периода времени или за конкретные сутки или, начиная с каких суток можно ожидать превышения ДУ в молоке и мясе и т. д.;

- варьирование модифицирующих факторов позволяет нормировать потребление ТМ с рационом, что позволяет решить задачу установления допустимых уровней содержания ТМ в рационах жвачных животных и добиться не только обеспечения экологической безопасности продуктов питания, но и исключить проявление токсикологических эффектов, приводящих к ухудшению физиологического состояния, здоровья и снижению продуктивных качеств животных.

На рисунке 3 представлены результаты численных экспериментов при изучении влияния факторов, модифицирующих переход Cd и Pb в молоко и мясо при потреблении животными ТМ с рационом.

Моделирование проводилось для коров возраста 3-4-х лет, продуктивностью от 4000 до 6000 л молока. Кормление лактирующих животных соответствовало типовым нормам и рационам в пастбищный и стойловый периоды [10-13]. Варьирование содержания ТМ в рационе отражалось на изменении концентрации свинца и кадмия в молоке и мясе. Рассматривались варианты различной концентрации ТМ в мышечной ткани на начало проведения численных экспериментов. Длительность моделирования со-

ставляла 1 год, шаг моделирования - 1 сутки. Результаты исследования позволили продемонстрировать возможности использования представленных моделей для оценки МДУ ТМ в рационах животных.

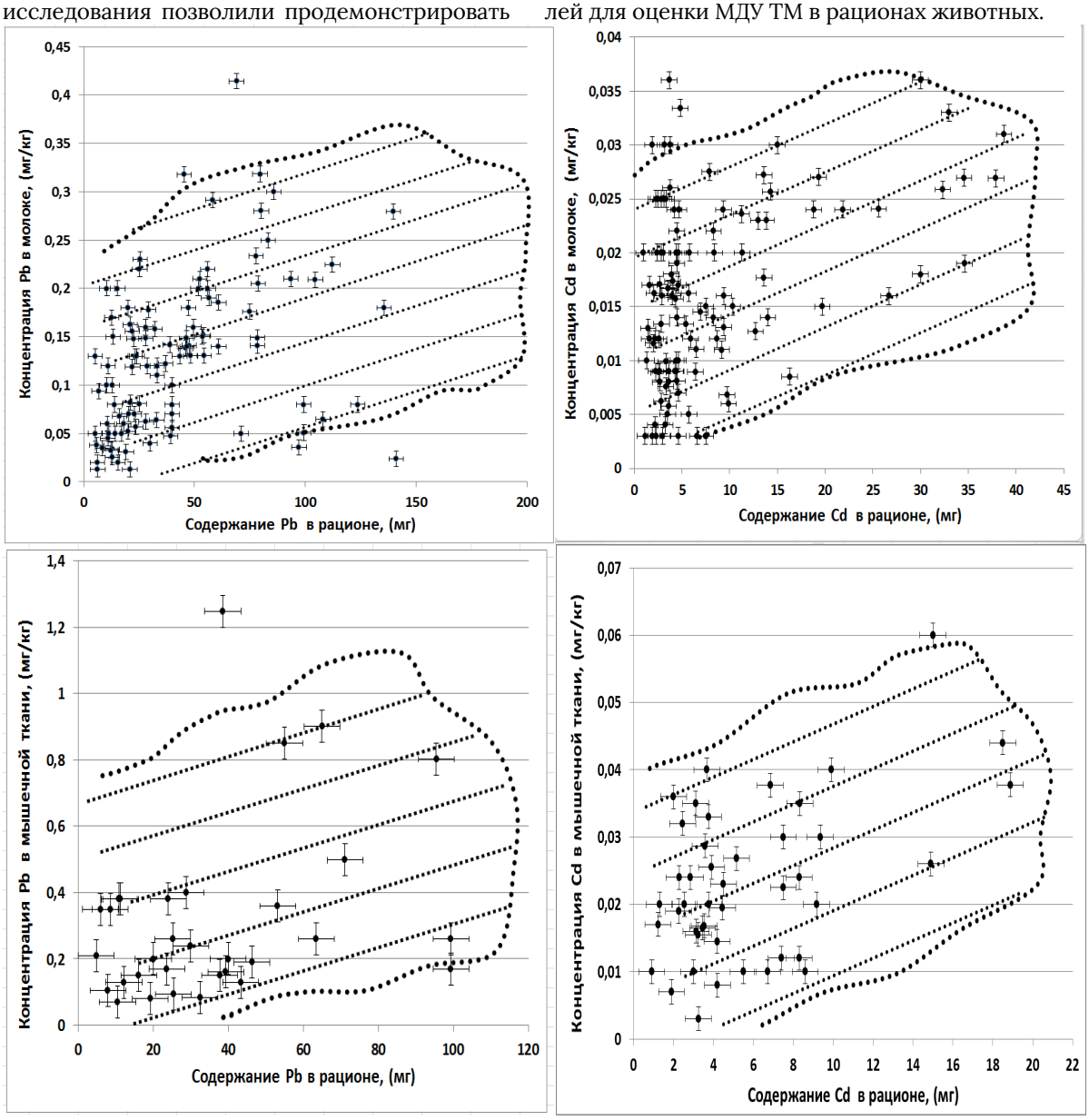

Рис. 3. Оценка влияния содержания Cd и Pb в рационе на концентрацию ТМ в молоке и мышечной ткани КРС при варьировании модифицирующих факторов

На рисунке 3 заштрихованная область представляет собой множество расчетных величин концентрации ТМ в продукции (молоко, мясо), соответствующей совокупности возможных значений содержания ТМ в рационе и других факторов (таблица 1). Она практически полностью покрывает данные, полученные в исследованиях и натурных экспериментах и которые отражены на диаграмме (рисунок 1). Это показывает, что описание моделями процессов потребления ТМ с рационом, накопления и переход в продукцию животноводства соответствует реальной действительности, и выводы, которые могут быть получены из численных экспериментов, справедливы и корректны.

Таким образом, обоснование учёта факторов, модифицирующих накопление ТМ в организме и переход в животноводческую продукцию, использование имитационного моделирования позволяет использовать разработанные модели для оценки МДУ ТМ в рационе жвачных животных в зависимости от вида животных, возраста, физиологического состояния, способа содержания и уровня продуктивности.

Литература:

1. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав России, 2002.

2. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.2650–10 (Дополнения и изменения №18 к СанПиН 2.3.2.1078-01).

3. Аверин В.С. Пятнов Ю.Н., Ненашев Р.А. Поступление свинца и кадмия в молоко коров в зависимости от способа и типа рациона в разных регионах Белоруссии //Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетие и пути их решения.– Брянск.– 1999, Т. 1. – С. 345-349

4. Епимахов В.Г., Епифанова И.Э. К вопросу определения коэффициента перехода тяжёлых металлов из кормов в животноводческую продукцию (обзор подходов к расчёту) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 7. С. 14-19.

5. Ильин В.П. Корреляционный анализ количественных данных в медико -биологических исследованиях // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – No4(92). – С. 125–130.

6. Епимахов В.Г. Моделирование – инструмент прогнозирования и нормирования потребления Cd с рационом жвачными животными. // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 4-3 (50). С. 137-141.

7. Макарцев Н.Г. Кормление сельскохозяйственных животных: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Калуга: Издательство «Ноосфера», 2012. — 642 с.

8. Епимахов В.Г. Установление количественных закономерностей формирования зависимости «доза-эффект» для овец и крупного рогатого скота при потреблении животными Cd с рационом // Монография «Результаты исследований естественных и точных наук: междисциплинарный подход и сверхаддитивный эффект»; Под ред. В.В. Ерохина, Л.П. Тереховой, О.А. Подкопаева – Самара: ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация», 2018. – С. 145-161

9. Куценко С.А. Основы токсикологии. - М.: Фолиант, 2004. — 570 с.

10. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное. / Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. - Москва. 2003. - 456 с.

11. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебно-практическое пособие/В.Г. Рядчиков - Краснодар: КубГАУ, 2012. -328с.

12. Богданов Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных. 2-е издание переработанное и дополненное. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений./ Г.А. Богданов, А.И. Зверев, О.Е. Привало, В.И. Кандыба, К.И. – М.: Агропромиздат, 1990. – 624с.

13. Владимиров Н.И. Кормление сельскохозяйственных животных: учебное пособие / Н.И. Владимиров, Л.Н. Черемнякова, В.Г. Луницын, А.П. Косарев, А.С. Попеляев. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. 211 с.