

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ЭКСТРУЗИОННОЙ ПОДГОТОВКИ ОТРУБЕЙ И КОРМОСМЕСИ НА СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В статье исследуется поведение подвижных форм тяжелых металлов в зависимости от режимов экструзионной обработки отрубей и кормосмеси.

В процессе производства муки на мельницах, крупы на крупяных заводах образуются побочные продукты (ПП), которые получают при фракционировании зерна, отделении цветочных пленок, оболочек, они формируют вместе с айлероновым слоем и частью измельченного ядра отруби, мезгу, лузгу, мучку, которые идут в основном на корм животным. При этом очень важное значение имеет решение проблемы постоянного контроля и снижения содержания тяжелых металлов (ТМ) в исходном растительном сырье и произведенных пищевых продуктах.

Побочную продукцию, получающуюся в процессе производства параллельно с основной, можно отнести к так называемым вторичным материальным ресурсам (ВМР) [1]. Для многих из них на сегодняшний день не найдена рациональная область экономически приемлемого использования. В то же время ПП богаты важными минеральными веществами и микроэлементами. Микроэлементы играют важную роль в процессе размножения, обмена веществ и энергии, синтеза аминокислот и белковых фракций, оказывают влияние на продуктивность сельскохозяйственных животных и птиц. Анализ литературных данных показывает, что недостаток или избыток микроэлементов в рационе оказывает отрицательное действие на организм животных и птицы. Основную часть побочных продуктов составляют поверхностные слои зерна, в основном состоящие из пищевых волокон (ПВ): целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. К основным ПП мукомольного производства относятся пшеничные отруби, являющиеся ценным источником пищевых волокон [4]. Согласно ГОСТ 7169-66 и ГОСТ 7170-66, отруби – продукт помола пшеницы или ржи, состоящий из частиц оболочек и айлеронового слоя с примесью частиц зародыша и эндосперма. В настоящее время проводятся исследования по использованию побочных продуктов помола зерна пшеницы, в частности пшеничных отрубей, на пищевые цели.

Проводились исследования по снижению содержания продовольственного зерна, злаковых культур (65-69% от состава комбикорма) в рецеп-

тах кормов при их производстве за счет увеличения содержания в них отрубей [5]. В технических условиях на отруби пшеничные диетические, утвержденные техническим комитетом по стандартизации «Зерно, продукты его переработки и маслосемена», приводится их химический состав (таблица 1).

Полная характеристика компонентов комбикормов позволяет специалистам сельскохозяйственных и комбикормовых предприятий составлять рецепты комбикорма (рациона) с учетом всех положительных и отрицательных факторов, свойственных каждому компоненту. Только в таком случае можно обеспечить нормальное протекание в организме животных обмена веществ, от которого зависят все его функции: продуктивность, воспроизводство, состояние здоровья. Следует отметить, что добиться оптимальных условий протекания обмена веществ исключительно сложно. Каждый из отрицательных факторов, указанных при характеристике компонентов, может вызвать те или другие отклонения в обмене веществ.

Основные ограничения при этом заключаются в том, что все ПП имеют более высокую концентрацию ТМ, чем исходное зерно. Например, в отрубях концентрация свинца была от 2 до 10 раз выше, чем в исходном зерне. В ПП помола пшеницы содержание свинца увеличивалось соответственно увеличению зольности. В связи с этим большое значение приобретают вопросы нормирования микроэлементов при производстве комбикормов (таблица 2).

Известно, что ионы ТМ в растительном сырье находятся как в свободном, так и в связанном виде. В растительных клетках поливалентные металлы образуют комплексные соединения с различными химически активными группами веществ. Одним из распространенных ТМ является свинец, из его соединений наибольшей токсичностью обладают свинец-органические соединения жирного ряда. Свинец не относится к числу биологически необходимых элементов, но он обычно содержится в кормах, откуда поступает в организм животного. Если это поступление не

превышает допустимого уровня, то, как правило, внешних отрицательных проявлений у животных не наблюдается. Содержание свинца в зерне составляет 0,1-0,8 мг/кг сухого вещества, в отрубях – в 2-3 раза больше.

В различных исследованиях, в том числе и ВНИИКП, максимальное количество свинца обнаруживалось: в пшенице – 0,8 мг/кг, в ячмене – 0,5 мг/кг, в сухом жоме – 3,5 мг/кг, шротах – 8,4 мг/кг, муке животного происхождения – 9,2 мг/кг, в сухом обезжиренном молоке – 24 мг/кг. В автомобильном бензине содержится токсическое содержание свинца – тетраэтилсвинец (до 1,5 мг/л), который легко сорбируется почвой. Свинец относят к ядам, действующим преимущественно на нервную, сосудистую системы и непосредственно на кровь. Механизм токсического действия свинца объясняется его способностью блокировать SH-группы в молекуле ферментов, участвующих в синтезе порфиринов. Свинец депонируется в основном в скелете (до 85%) и печени, выделяется преимущественно с мочой и калом. Действуя на различные ферментные системы, свинец может явиться причиной нарушения белкового, углеводного, фосфорного и других видов обмена, а также может быть причиной гиповитаминозов С и В₁ [1]. ПДК свинца в комбикормах для кур составляет 3 мг/кг. Натрий сульфат и магний сульфат осаждают растворимые соли свинца, которые затем выводятся из организма с мочой.

Из тяжелых металлов на втором месте по вредности стоит кадмий. ПДК в комбикормах для

кур составляет 0,3 мг/кг. В последнее время содержание кадмия в кормовых средствах увеличилось. Одной из причин повышенного содержания кадмия в кормах является внесение его в почву как обычного элемента с фосфорными удобрениями и осадками сточных вод. Кадмий по физико-химическим свойствам очень близок к цинку. Кадмий – антагонист цинка, меди и железа, поэтому его токсичность в значительной степени зависит от уровня их содержания в кормах. Наиболее чувствительны к кадмию куры и овцы, относительно устойчивы – утки и свиньи. Содержание кадмия в комбикормах для бройлеров на уровне 5 мг/кг приводит к поражению костной системы [1].

Кадмий оказывает определенное влияние на углеводный обмен в организме животных, способствует разрушению аскорбиновой кислоты как *in vitro*, так и *in vivo*, блокирует сульфгидрильные группы белковых веществ, в том числе ферментов. При попадании в организм избыточных количеств кадмия (выше ПДК) нарушается обмен фосфора, кальция, железа, меди, угнетается синтез гемоглобина, резко снижаются запасы меди в печени и других органах. В качестве противоядия кадмия следует использовать тиоловые соединения.

В исследованиях ВНИИКП кадмия обнаруживалось: в пшенице – 0-0,04 мг/кг, пшеничных отрубях – 0-0,09 мг/кг. В растениях свинец находится в виде пиро- и ортофосфатов и связан как с растворимыми молекулами белков, так и с углеводами. Кадмий сосредоточен в глобулинах. Медь в растительном сырье присутствует в виде комплексных соединений с низкомолекулярными и высокомолекулярными соединениями. Основная часть меди концентрируется в органеллах клетки, небольшое количество связывается клеточной поверхностью. Цинк сосредоточен в цитоплазме растительной клетки в виде комплексных соединений с высокомолекулярными протеинами, серосодержащими аминокислотами и парафинами, реже с углеводами и витаминами [4].

Оболочки и алейроновый слой состоят из клетчатки и гемицеллюлоз. Минеральные вещества сосредоточены главным образом в алейроновом слое и оболочке которые содержат такие ценные из них, как кальций, фосфор, магний, калий, железо, марганец, натрий. Витамины группы В, РР, Е а также β-каротин находятся в основном в зародыше и алейроновом слое. Местное действие ТМ основано на их свойстве осаждают белки даже в очень разведенных растворах, при этом происходит их необратимая коагуляция, структура белковой частицы резко нарушается, белок теряет водную оболочку, частицы его со-

Таблица 1. Химический состав зерна и пшеничных отрубей

Состав	Содержание, %	
	зерно	отруби
белок, %	12-16	10-18
Крахмал, %	63-79	не более 15 %
пищевые волокна, %	2-3	не менее 45-47
Клетчатка, %	0,15-2,50	10-12
гемицеллюлозы, %	-	22-26
Пектин, %	-	4-6
лигнин, %	-	1-13

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации ТМ в зерне и комбикорме

Химическое вещество	Класс опасности	ПДК, мг/кг	
		зерна	комбикорм
Кадмий	1	0,1	0,4
Хром	2	0,2	1,0
Никель	2	0,5	3,0
Свинец	1	0,5	5,0
Цинк	1	50	100
Медь	2	10	80
Ртуть	1	0,02	0,1
Мышьяк	1	0,2	1,0

единяются в большие коагулянты, уже не способные вновь раствориться. При поступлении солей ТМ с кормом или в виде ветпрепаратов у животных возникает гастроэнтерит, приводящий к усилению их всасывания через слизистую кишечника. Неповрежденный эпителий желудочно-кишечного тракта препятствует всасыванию большинства растворимых солей ТМ, из которых только ртуть и свинец в значительной степени всасываются кишечником независимо от его состояния. Но при раздражении или каком-либо другом нарушении кишечного эпителия все соли ТМ, поступившие в пищевой тракт даже в незначительных количествах, легко всасываются и появляются в моче. Большие их количества вызывают нарушения слизистой кишечника и таким образом «открывают» себе путь к всасыванию. Часть солей ТМ вступает в кишечнике в реакцию с сероводородом, выделяется вместе с калом (пометом) в виде нерастворимых сернистых соединений [3]. Соли ТМ – сильные протоплазматические яды и ингибиторы ферментов, серосодержащих аминокислот (ингибируют их даже в следовых количествах), а также снижают активность антиоксидантов. Острое отравление, вызванное поступлением в пищеварительный тракт больших количеств растворимых соединений ТМ, вызывает паралич нервной системы, сердца и смерть животного.

Зерно пшеницы состоит из трех основных частей: эндосперма, оболочек и зародыша. Эндосперм, внутренняя часть зерновки, представляет собой мучнистое ядро. К алейроновому слою снаружи примыкают два слоя оболочек, наружный слой – плодовая оболочка, внутренний – семенная. Каждая оболочка состоит из трех рядов клеток. Оболочки содержат большое количество клетчатки и других не усваиваемых организмом человека веществ, а также минеральных веществ. Зародыш у зерна небольшой, в нем очень высока концентрация белка, жира, витаминов, минеральных веществ. Количество золы, образовавшейся при сжигании зерна или других продуктов, вычисляется в процентах к сухому веществу сжигаемого продукта. Зола состоит из окислов солей калия, фосфора, натрия, кальция, магния и др. Зольность анатомических частей неодинакова: наибольшую зольность имеют оболочки с алейроновым слоем, наименьшую – эндосперм (таблица 3).

К сожалению, в литературе недостаточно сведений о степени извлечения ТМ из различных побочных продуктов в желудочно-кишечном тракте животных в процессе пищеварения. Поэтому целью нашей работы явилось изучение выщелачивания ТМ из кормосмесей и их компонентов, а также влияние технологии переработ-

ки зернопродуктов (экструзия, гранулирование) на извлечение ТМ в раствор.

В качестве объекта исследования нами использовались отруби и кормосмесь, полученные на Оренбургском комбикормовом заводе. Состав рецепта кормосмеси приведен в таблице 4.

Исследуемое сырье анализировалось на наличие ТМ с помощью атомно-абсорбционного анализа на приборе ААС-4, результаты показали, что содержание ТМ не превышает ПДК (таблица 5).

Сравнивая содержание ТМ в зерне и зернопродуктах, можно сделать вывод, что наибольшее их количество находится в отрубях и кормосмесях, в рецептуру которых входят отруби. Наименьшее количество ТМ содержится в зерне [6]. Поэтому изучение содержания тяжелых металлов в комбикормах, предназначенных для скормливания животным, имеет важное экологическое и медико-биологическое значение. Необходимо разрабатывать технологические приемы переработки зерноотходов, обеспечивающие минимизацию содержания и извлечения в желудочно-кишечный тракт вредных компонентов. Данные о влиянии предварительной термической обработки кормов на переход ТМ в растворимую форму в литературе отсутствуют.

На основе способа *in vitro* нами была предложена оригинальная методика изучения степени извлечения кислоторастворимых форм ТМ в раствор из продукта, подвергнутого различным температурным режимам экструзионной обра-

Таблица 3. Зольность зерна и анатомических частей пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Зольность	Зерно	Эндосперм	Оболочки с алейроновым слоем	Зародыш
Максимальная	2,03	0,51	9,83	6,08
Средняя	1,95	0,46	8,49	5,98
Минимальная	1,81	0,38	7,54	5,11

Таблица 4. Состав рецепта кормосмеси К-999-01-33, ГОСТ ОСТ 10198-97

Зернопродукт	Содержание, %
Ячмень	12,0
Зерно пшеница 2 категории	11,0
Отруби пшеничные	55,0
Кормосмесь прос.	21,3
Лузга ячменная	0,7

Таблица 5. Валовое содержание тяжелых металлов в отрубях и кормосмеси, мг/кг

ПДК	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn
	30	50	0,3	5,0	-	30	50	0,3	5,0	-
Кормосмесь						Отруби				
рассыпные	5,375	31,5	0,085	0,33	26,3	10,75	47,4	0,087	0,48	99,0
хол. экструзия	8,13	43,2	0,096	0,30	49,4	11,25	48,0	0,09	0,30	111,75
теп. экструзия	7,63	28,13	0,095	0,31	39,4	11,3	49,0	0,085	0,37	105,0
гор. экструзия	12,9	49,5	0,090	0,30	126,3	12,5	49,25	0,09	0,37	124,5
гранулированная	12,63	49,37	0,090	0,33	121,3					

ботки. Методика проведения эксперимента описана в [6]. Для определения времени установления равновесия в изучаемых системах на первом этапе проводились исследования при постоянном значении рН = 1 и различном времени выдержки продуктов в растворе от 1 до 48 часов. Результаты эксперимента помещены в таблицу 6.

На основании полученных результатов были построены графики зависимости степени извлечения кислоторастворимых форм металлов из различных образцов отрубей и кормосмеси от времени выщелачивания. Для примера на рисунке 1 приведены данные по извлечению свинца в раствор. Видно, что равновесие в системах устанавливается уже в течение 6-10 часов. Анализ результатов исследования показывает, что максимальная степень извлечения ТМ в раствор, моделирующий желудочный сок, наблюдается из рассыпных отрубей и кормосмеси. По мере возрастания температуры экструзионной обработки образцов степень извлечения металлов уменьшается. Сравнение показывает, что степень извлечения ТМ и время установления равновесия в системах коррелирует с содержанием зерна в кормосмесях. Чем больше содержание зерна в составе кормосмеси, тем ближе содержание кислоторастворимых форм ТМ к зерну [6]. Наименьшая степень извлечения ТМ во всех случаях наблюдается из образцов, подвергнутых горячей экструзии. Поведение конкретных металлов в зерне и отрубях различается, оно зависит от прочности их связи с органическими комплексообразователями и различным влиянием температурной обработки на соответствующие комплексы.

На втором этапе проведены исследования влияния рН раствора на выщелачивание ТМ из

Таблица 6. Степень извлечения ТМ (%) из кормосмеси и отрубей в зависимости от времени выщелачивания при рН 1

Образец	Время (час)	Кормосмесь					Отруби				
		Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn
рассыпная	1	58,4	82,6	54,1	48,4	61,2	39,8	55,3	65,5	45,8	36,4
	3	78,0	90,8	70,5	59,5	64,6	59	72,3	82,0	79,1	58,6
	6	91,1	91,5	75,2	63,6	65,4	73,1	82,9	90,8	83,3	77,0
	24	91,3	92	76,4	65,1	66,2	77	89,3	93,1	85,4	81,7
	48	91,4	92,5	76,4	65,4	66,2	90,6	91,4	94,2	87,5	82,1
холодная экструзия	1	33,9	67,2	29,1	40	37,4	27,2	47,9	46,6	33,3	25,44
	3	49,1	75,5	37,5	56,6	38,8	45,4	62,5	67,7	60,0	35,74
	6	51,1	82,8	38,5	64	40,2	45,4	70,8	70,0	80,0	38,04
	24	52,2	83,3	38,5	64,3	40,5	45,4	75,0	72,2	83,3	39,73
	48	56,9	83,4	39,5	64,6	40,9	54,5	79,1	73,3	84,0	39,93
теплая экструзия	1	34,6	48,5	32,2	38,7	31,2	27,2	44,8	47,0	21,0	24,4
	3	50,4	51,25	30,5	48,3	31,8	36,3	59,1	69,4	40,5	36,4
	6	51,6	56,6	34,7	50,9	32,8	45,4	67,3	71,7	56,7	38,9
	24	50,5	59,4	35,7	51,6	32,8	45,4	71,4	74,11	59,4	40,66
	48	55,3	60,0	35,7	51,6	32,9	45,4	75,5	75,2	64,8	40,86
горячая экструзия	1	19,6	30,4	17,7	26,6	10,9	16,6	42,8	42,2	14	18,47
	3	28,2	35,4	24,4	30,0	11,5	33,3	57,1	63,3	35,1	28,5
	6	30,3	36,6	26,6	36,6	12,0	33,3	65,3	65,5	51,3	30,65
	24	30,7	39,0	27,7	40,0	12,5	33,3	69,3	67,7	56,7	32,1
	48	30,8	39,2	27,7	40,0	13,0	41,6	73,4	68,8	59,4	33,17
гранулированная	1	20,4	32,8	20	27,2	11,5					
	3	30,0	39,4	30	39,3	12,3					
	6	30,3	43,9	33,3	43,9	12,8					
	24	31,5	45,4	34,4	46	13,1					
	48	34,4	45,5	35,0	46,9	13,2					

отрубей и кормосмеси. По результатам вышеприведенных кинетических экспериментов время выдержки образца в растворе выбрано постоянным – 24 часа, что обеспечивало достижение равновесия в системах. Методика экспериментов приведена в [6]. Результаты экспериментов помещены в таблицу 7.

На основании полученных результатов были построены графики зависимости степени извлечения растворимых форм металлов из различных образцов от величины рН. На рисунке 2 для примера приведены данные по извлечению свинца. Видно, что максимальная степень извлечения ТМ наблюдается в сильнокислой среде при рН раствора меньше 2.

Это связано с тем, что в сильнокислой среде происходит разрушение комплексов ТМ с аминокислотами и другими комплексообразователями и переход металлов в раствор в виде катионов. В слабокислой и слабощелочной среде разрушение комплексов ТМ и их растворение минимально.

Выводы

1. Установлено валовое содержание ТМ в отрубях и кормосмеси. Показано, что в связи с высокой зольностью отрубей содержание в них ТМ существенно выше, чем в зерне и кормосмесях.
2. На основе метода in vitro предложена оригинальная методика выщелачивания ТМ в ра-

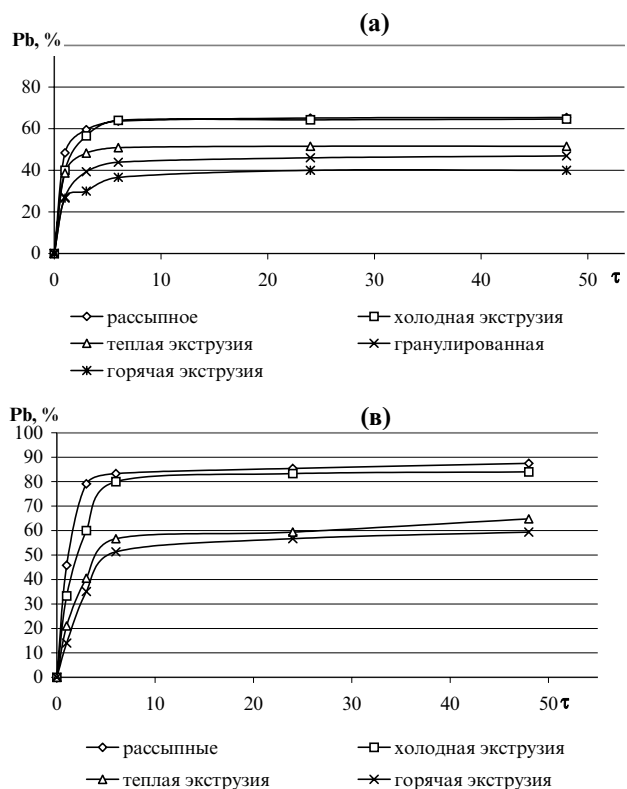


Рисунок 1. Степень извлечения свинца из кормосмеси (а) и отрубей (в) в зависимости от времени выщелачивания при рН 1.

Таблица 7. Степень извлечения ТМ (%) из кормосмеси и отрубей в зависимости от величины рН раствора

Образец	рН	Кормосмесь					Отруби				
		Cu	Zn	Cd	Pb	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Mn
рассыпная	1,2	95,8	96,6	89,4	87,8	88,9	70,0	89,5	89,6	90,0	89,0
	2,1	72,9	92,3	74,1	63,6	72,6	37,9	44,9	70,1	80,0	81,8
	3,0	70,8	85,7	61,1	57,5	55,1	35,6	44,7	67,8	70	81,8
	4,7	56,7	84,1	58,8	51,5	48,2	33,3	44,0	62,0	71,5	79,8
	5,9	55,0	83,0	56,4	48,4	42,0	33,0	44,4	54,0	72,6	77,7
	7,1	53,5	73,9	54,1	48,1	41,9	30,8	44,1	55,1	70,0	75,8
	8,8	52,0	72,6	54,1	46,6	40,7	30,6	41,1	51,7	63,3	74,8
	10,4	50,0	70,4	51,7	45,7	40,4	30,4	41,0	50,5	60,0	74,0
	11,1	49,1	69,8	50,5	45,4	38,7	30,6	40,8	51,7	58,3	72,9
	12,4	48,7	69,8	49,4	45,4	37,2	30,51	40,7	50,5	56,6	73,0
холодная экструзия	1,2	58,1	87,13	66,6	83,3	36,0	64,7	87,7	80,0	85,4	71,8
	2,1	40,2	76,2	51,0	60,0	23,0	30,9	43,8	70,0	66,6	63,9
	3,0	37,8	71,0	42,7	56,6	17,2	30,1	42,2	63,3	62,5	63,5
	4,7	36,0	69,2	40,6	50,0	15,3	29,8	42,0	60,0	56,2	62,7
	5,9	35,7	69,1	38,5	43,3	14,9	29,5	41,8	51,3	54,1	62,5
	7,1	35,4	69,1	38,5	40,0	14,1	29,3	41,9	52,3	50,0	62
	8,8	33,5	69,0	35,4	40,0	13,4	29,24	39,7	49,2	47,9	57,4
	10,4	33,3	69,0	33,3	36,6	13,4	29,42	39,66	47,7	47,9	58,1
	11,1	33,3	68,9	32,3	33,3	13,1	29,0	39,6	50,0	45,8	57,3
	12,4	33,2	68,9	32,2	30,0	13,1	29,2	39,64	51,1	43,7	57,3
теплая экструзия	1,2	47,8	66,5	53,6	68	40,6	60,4	85,3	77,6	64,8	69,4
	2,1	39	46,3	46,3	45,4	23,8	31,0	42,6	60,0	59,4	49,8
	3,0	36,3	45,6	41,0	39,3	20,8	27,9	41,04	50,5	59,4	48,5
	4,7	36,1	45,5	38,9	36,3	18,0	27,6	41,06	45,8	54,0	50,4
	5,9	34,6	45,2	37,8	36,6	11,4	27,4	41,0	38,8	52,9	50,4
	7,1	33,2	45,1	36,8	33,3	8,6	25,5	40,81	32,9	49,9	48,6
	8,8	33,1	45,1	36,8	28,7	8,6	26,9	40,95	30,5	48,9	48,3
	10,4	33,1	45,0	34,7	26,7	8,3	25,8	41,0	28,6	47,5	47,8
	11,1	33	45,0	33,6	26,1	7,2	26,0	40,93	28	43,2	47,5
	12,4	32,8	44,9	32,6	26,1	7,2	25,7	40,89	29,6	41,8	45,7
горячая экструзия	1,2	18,1	40,2	53,3	46,6	9,7	52,8	78,41	64,4	51,3	51,6
	2,1	15,4	34,9	32,2	26,6	7,6	26,4	39,2	50	32,4	35,1
	3,0	13,6	34,3	24,4	25,3	7,3	24,4	37,5	44,4	27	33,7
	4,7	12,7	33,5	21,1	21,3	7,0	24,3	37,2	42,7	24,3	32,9
	5,9	12,6	33,1	18,8	24,6	7,0	23,4	37,3	35,2	24,3	32,2
	7,1	12,5	33,1	17,7	23,6	6,8	23,6	37,2	29,6	21,6	31,2
	8,8	12,5	33,0	15,5	23,3	6,8	22,7	37,15	27,1	18,9	30,5
	10,4	12,5	33,0	14,4	23,3	6,6	22,4	37,19	25,1	18,9	30,1
	11,1	12,4	33,0	14,4	21,3	6,6	22,7	37,19	24	16,2	30,2
	12,4	12,4	33,0	13,3	20,6	6,6	22,5	37,17	24,6	14,8	30,1
гранулированная	1,2	21,4	45,9	54,4	61	10,4					
	2,1	15,8	42,3	35,5	35,4	8,72					
	3,0	15,6	37,7	33,3	30,6	7,78					
	4,7	15,5	35,2	30	29,3	7,71					
	5,9	15,5	34,8	26,6	29	7,59					
	7,1	13,9	34,4	25,5	28,3	7,55					
	8,8	13,9	33,6	25,5	27	7,53					
	10,4	13,5	33,2	23,3	26,7	7,53					
	11,1	13,5	33,2	22,2	26,1	7,51					
	12,4	13,5	33,2	21,1	26,1	7,5					

створ, моделирующий желудочный сок.

3. Изучено поведение тяжелых металлов и их переход в растворимую форму в зависимости от режимов экструзионной обработки отрубей и кормосмеси.

4. Показано, что максимальная степень извлечения ТМ в раствор наблюдается для рассыпных образцов, а минимальная – для горячего экструдата. Различия в степени извлечения ТМ из образца в раствор связаны с проч-

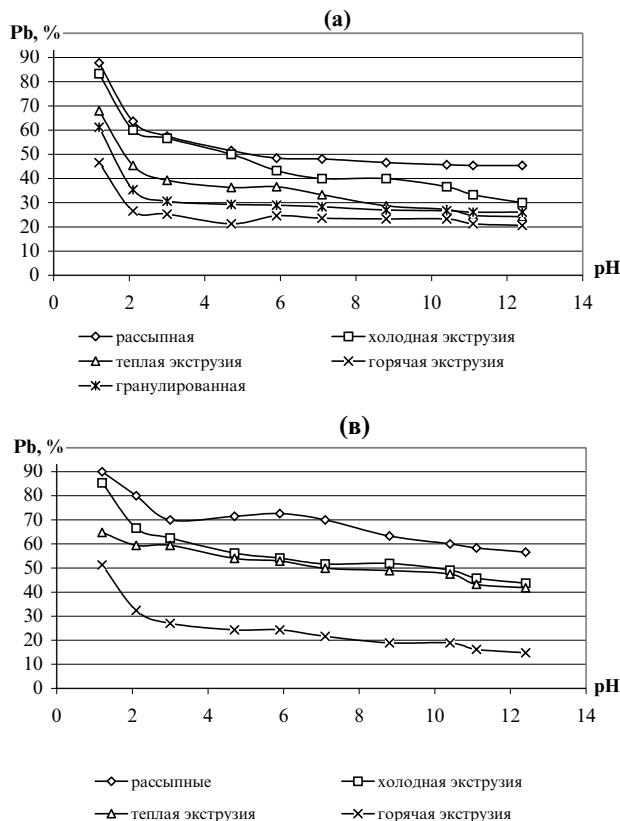


Рисунок 2. Степень извлечения свинца из кормосмеси (а) и отрубей (в) в раствор в зависимости от рН

ностью их взаимодействия с органическими комплексообразователями и различным влиянием температурной обработки на соответствующие комплексы, с различной степенью денатурации белка, деструкцией крахмальных зерен, клетчатки.

5. В слабокислой и слабощелочной среде, соответствующей среде желудка, извлечение ТМ минимально. В сильнокислой среде при рН > 2 выщелачивание ТМ резко возрастает, что связано с разрушением их комплексов с аминокислотами и другими соединениями.

6. Горячая экструзия способствует снижению поступления ТМ с кормосмесями, содержащими большой процент отрубей.

Список использованной литературы:

- Щелкунов Л.Ф., Дудкин М.С., Корзун В.Н. Пища и экология. – Одесса: ЦСП «Оптимум», 2000. 517 с.
- Кретович В.Л. Биохимия растений. – 445 с.
- Овчаренко М.М., Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. – М.: Высшая школа, 1997. – 290 с.
- Черняев Н.П. «Технология комбикормового производства. – М.: Высшая школа, 1985. – 255 с.
- Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П., Коньков П.М. Значение пищевых отрубей в питании и производстве пищевых продуктов / Хранение и переработка сельхозсырья, №5, 1999. С. 37-39.
- Соколова О.Я., Стряпков А.В. Влияние способов экструзионной подготовки зерна на содержание в нем подвижных форм тяжелых металлов // Вестник ОГУ, №5, 2005.