

## **ОТХОДЫ ЖИВОТНОВОДСТВА КАК ИСТОЧНИК ПОСТУПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ДРУГИХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*к. г.-м.н. Янин Е.П.*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва  
yanin@geokhi.ru

Обобщены и систематизированы данные по источникам поступления, содержанию и особенностям распределения тяжелых металлов и других химических элементов в отходах, образующихся на предприятиях крупного рогатого скота и свиноводческих комплексах.

### Введение

1. Общая характеристика, виды и масштабы образования отходов
2. Источники поступления химических элементов в отходы
3. Состав сточных вод
4. Состав твердых отходов
5. Воздействие животноводческих комплексов на водные объекты

### Заключение

### Литература

### **Введение**

Проблема обезвреживания и утилизации отходов животноводства является одной из самых острых как в России, так и во многих других странах мира. В нашей стране, например, многие из действующих животноводческих комплексов введены в эксплуатацию более 30–40 лет назад и нуждаются в капитальной модернизации очистного оборудования. По имеющимся оценкам, площадь полей, загрязненных органогенными отходами, в том числе животноводства и птицеводства, в России превышает 2,4 млн. га, из которых 20% являются сильно загрязненными, 54% – загрязненными, 26% – слабо загрязненными [6]. Одновременно в нашей стране постоянно увеличивается строительство и осуществляется реконструкция животноводческих комплексов. С учетом реализации национального проекта по развитию животноводства количество навозных стоков, подлежащих переработке и утилизации, должно увеличиться в 1,5 раза.

Негативное воздействие животноводства на окружающую среду традиционно связывают с бактериальным загрязнением, с поступлением в окружающую среду яиц гельминтов, плесеней, грибов, а также соединений азота и фосфора, органических веществ, некоторых макрокомпонентов (калий, натрий и др.). Исследования последних лет свидетельствуют о том, образующиеся на современных предприятиях крупного рогатого скота и свино-

водческих комплексах многотоннажные отходы (прежде всего, различные виды навоза) являются не только весьма важным и ценным удобрением, но и также источниками поставки в окружающую среду различных химических элементов, включая некоторые тяжелые металлы [32, 56, 63, 69, 101].

В предлагаемой работе обобщены доступные материалы по видам и масштабам образования различных отходов, образующихся на предприятиях крупного рогатого скота и свиноводческих комплексах, рассмотрены основные источники поступления тяжелых металлов и других химических элементов в отходы животноводства, систематизированы сведения о составе сточных вод животноводческих предприятий и различных твердых отходов животноводства.

## **1. Общая характеристика, виды и масштабы образования отходов**

В ходе осуществления животноводческой деятельности образуются твердые отходы и сточные воды. Среди твердых отходов основную массу составляют отходы животного происхождения (навоз), использованная подстилка, отходы кормов. Определенная часть общего количества отходов животных остается на пастбищах и пастбищных угодьях, но их значительные массы скапливаются на откормочных площадках, в коровниках, на свинофермах, вследствие чего эти отходы необходимо собирать, транспортировать и использовать экономически целесообразным и экологически безопасным способом. Термин «отходы животноводства», по мнению автора известной работы [33], может означать любую из следующих разновидностей: 1) свежие экскременты, включая твердую и жидкую фракции, 2) все экскременты, но с подстилкой для поглощения жидкой фракции, 3) твердые остатки после просачивания в почву жидкости, испарения воды или выщелачивания растворимых питательных веществ, 4) жидкая фракция, отделяющаяся из общей массы отходов, 5) твердые остатки, образовавшиеся после аэрационного или анаэробного хранения навоза. Характеристики конкретных видов (разновидностей) отходов значительно различаются. К особой группе отходов относятся различные типы упаковок (например, для кормов), отработанные вентиляционные фильтры, неиспользованные или испортившиеся лекарственные препараты и стимуляторы, использованные средства для уборки помещений и дворов, отработанные электрические лампы (накаливания, ртутные и др.), вышедшие из строя термометры и др. Нередко многие из этих отходов в конечном счете (в том или ином количестве) оказываются в общей массе навоза. Состав сточных вод животноводческих комплексов и поверхностного стока с откормочных площадок в существенной мере формируется за счет мочи животных, silосной и навозной жижи, используемой для уборки воды и различных химических средств и препаратов. Животноводческая деятельность в большинстве случаев создаёт рассредоточенные источники сточных вод за счет стоков из кормохранилищ (включая места хранения silоса), мест погрузки, выгрузки и содержания скота, кормления и водопооя, сооружений для хранения и переработки отходов и участков, на которых производится внесение навоза в землю [45]. В зависимости от типа и интенсивности производственных операций, а также особенностей системы ливневых стоков, на некоторых сооружениях могут иметься точечные источники, для которых обычно требуется сбор и локальная очистка стоков перед их сбросом в водные объекты, на рельеф и т. д.

Навоз в зависимости от содержания влаги разделяют на три вида [31, 49]: твердый – подстилочный, или твердый (влажность 75–80%), полужидкий (до 90%), жидкий (более 90%). Два последних вида навоза получают при бесподстилочном содержании животных, особенно на комплексах промышленного типа, когда моча животных не отделяется от твердых экскрементов и поступает в систему удаления вместе с ними, а также со смывными водами (при наличии гидросмыва). Бесподстилочный навоз в зависимости от степени разбавления водой подразделяют на полужидкий (содержит сухого вещества более 8%), жидкий (от 3 до 8%) и навозные стоки (менее 3%). Навозные стоки – это сильно разбавленный бесподстилочный навоз, моча животных вместе с жидкостью, которая отделяется при разложении навоза с подстилочным материалом.

Состав и удобрительные свойства навоза зависят от вида животного, состава и качества кормов и подстилки, технологий и способов сбора, удаления и хранения [37]. В зависимости от степени разложения навоза различают следующие его виды: свежий, слаборазложившийся, полуперепревший, перепревший, перегной. Состав подстилочного навоза во многом зависит от способа хранения. При рыхлам, или горячем, хранении навоз не уплотняют; при горячепрессованном – укладывают рыхло и после разогревания до 50–60<sup>0</sup>С уплотняют; при холодном или плотном – удаленный из животноводческого помещения навоз сразу же уплотняют. Удобрение хорошего качества получают при хранении навоза холодным способом. Состав бесподстилочного навоза зависит прежде всего от состава экскрементов, который, в свою очередь, определяется возрастом животных и типом их кормления. Там, где применяются старые системы удаления навоза при помощи гидросмыва, содержание сухого вещества и удобрительная ценность навоза в значительной мере зависят от объема (и, отчасти, состава) использованной воды.

Масштабы и интенсивность образования животноводческих отходов (особенно навоза) очень велики (табл. 1–4). Так, в конце 1970-х гг. в СССР их ежегодно продуцировалось до 400 млн. т в год, в США масса отходов животноводства в тот же период составляла около 1,7 млрд. т в год, из них более 50% приходилось на крупные комплексы [31]. По данным [108], животноводство США ежегодно производило около 1,2 x 10<sup>6</sup> млн. т отходов (175 млн. т сухого продукта), по данным [33], более 2 млрд. т навоза. В Великобритании ежегодно образовывалось около 130 млн. т отходов животноводческих ферм [110]. В ЕС в первой половине 1990-х г. генерировалось порядка 950 млн. т сельскохозяйственных отходов в год [74]. В Китае в 2005 г. животноводством было произведено около 2,2 млрд. т навоза [92]. В Украине в 1999 г. образовалось достаточного для анаэробного сбраживания навоза крупного рогатого скота (КРС) 45,46 млн. т, свиного – 4,47 млн. т [16]. По оценкам Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси, в стране в 2008 г. с учетом имеющегося поголовья скота выход навоза оценивался в 41,3 млн. т (из них 50% – бесподстилочный навоз).

Таблица 1

**Интенсивность образования отходов животного происхождения [45, 77]**

Наименование	Выход навоза	
	в сутки, кг	в год, тонн
Корова	55	20,1
Свинья	12	4,38

Таблица 2

**Выход навоза от различных видов животных при разных системах содержания [39]**

Группы животных, системы содержания	Моча, л	Фекалии, кг
Коровы:		
при привязном содержании	20	35
при беспривязном содержании	20	50
Молодняк:		
при привязном содержании	6	12
при беспривязном содержании	4	15
Свины:		
свиноматки	8	8
молодняк	2,5	5
Овцы и козы	1	3

Таблица 3

**Годовое количество отходов животноводства в Удмуртии на 1 января 2009 года [51]**

Виды скота	Поголовье, тыс. гол.	Выход навоза на 1 голову в год, т	Выход навоза на все поголовье, тыс. т
Крупный рогатый скот	425,9	8,000	3407,2
Свины	328,5	1,750	574,9
Овцы и козы	80,7	0,900	72,6

Таблица 4

**Обращение с сельскохозяйственными отходами в Ленинградской области в 2004 г. [54]**

Отходы	Количество отходов за 1–3 кварталы 2004 г., т			
	всего образовано	использовано в хозяйстве	передано в другие хозяйства	осталось в хозяйстве
Навоз, всего	263483	227	4202	43387+10000
в т. ч. навоз КРС	231139	199604	4202	34015+10000
Навоз свиней	9456	9456	0	0
Навоз КРС, свиней	22887	18115	0	9372
Навоз конский	124	124	0	0
Птичий помет	449842	210302	181296	259358

В России в начале 2000-х гг. на промышленных животноводческих предприятиях ежегодно образовывались сотни миллионов тонн навозной и пометной массы [43]. Например, в 2006 г. выход навоза на промышленных животноводческих предприятиях страны составлял [42]: от свиней – 18,7 млн. т, от КРС – 162,1 млн. т. В 2008 г. выход навоза КРС в целом по стране составил 422 млн. т, из них 231 млн. т – подстилочный навоз (более 5,8 млн. личных подсобных хозяйств и 3,6 тыс. крестьянских фермерских хозяйств), 166 млн. т – полужидкий навоз (от 14 тыс. молочных комплексов на 100–1000 голов с привязным и беспривязным содержанием животных на косметической подстилке), 25 млн. т – жидкий навоз (от 494 крупных комплексов молочного и мясного направления, применяющих бесподстилочное содержание живот-

ных и гидравлическую уборку навоза из помещений) [23]. Согласно [6], в современной России разной степени очистки и переработки необходимо ежегодно подвергать более 200 млн м<sup>3</sup> жидких навозных стоков.

Количество (и свойства) навоза зависят от вида, возраста, рационов кормления и способов содержания животных [49]. Нормативные выходы, влажность экскрементов и их составляющих для основных половозрастных групп крупного рогатого скота в расчете на одно животное представлены в табл. 5. Согласно [36], расчетное среднесуточное количество экскрементов от одного животного разных половозрастных групп при кормлении полнорационными кормами на крупных предприятиях составляет (выход навоза, кг/сутки): хряки – 11,1, свиноматки – 8,8–15,3, поросята – 0,4–1,8, свинья на откорме – 5–5,6, быки – 40, коровы – 55, телята – 4,5–14,0, молодняк (телки и нетели) – 14–35. Одна ферма крупнорогатого скота (в 4500 голов) в год дает 175000 т навозных стоков [45, 77].

Таблица 5

**Нормативный выход (кг/гол/сут)  
и влажность (%) экскрементов крупного рогатого скота разного возраста**

Наименование	Коровы	Телята до 6 мес.	Молодняк	
			6–12 мес.	12–18 мес.
Кал	35	5	10	20
Моча	20	2,5	4	7
Всего экскрементов	55	7,5	14	27
Влажность	88	86	86	86

По данным НИИ органических удобрений и торфа, в России функционирует более 1600 крупных животноводческих предприятий, свинокомплексов и птицефабрик с бесподстилочным содержанием скота. Каждая корова ежедневно производит в среднем 50 кг навоза, свинья – 30 кг. Сегодня в стране более 2 млн. га земли занято под хранение навоза, т. е. отходами животноводства покрыта площадь, равная почти половине территории Московской области. Основным направлением утилизации навоза является его использование в качестве органического удобрения (прежде всего, как источника азота, фосфора, калия). Это определяет необходимость обеспечения максимально безопасного для окружающей среды способа хранения навоза и его рациональное использование в качестве удобрения [54]. Обоснованно считается, что для решения первой задачи необходимо оборудовать хранилища устройствами для предотвращения попадания поверхностных вод и атмосферных осадков в навоз; создать вокруг хранилищ обваловку для задержания жидкой фракции отходов; обеспечить превышение вместимости хранилищ над объемом образования навоза и помета. Для решения второй задачи необходимо исключить внесение навоза на поля в зимний период, разрабатывать и применять технологии по превращению навоза и помета в полноценные органоминеральные удобрения. Кроме того, обоснование и разработка мероприятий по эффективному и экологически безопасному использованию отходов животноводства требует знания их химического состава и особенностей распределения в них наиболее опасных поллютантов, к числу которых относятся тяжелые металлы и некоторые другие химические элементы.

## 2. Источники поступления химических элементов в отходы

Химический состав отходов во многом определяется технологией и способами содержания животных, сбора и отведения отходов (состава воды, применяемых подстилочных материалов и пр.), зависит от вида скота, его возраста, кормового рациона (включая использование различных минеральных добавок и химических препаратов) и некоторых других факторов. Безусловно, что важнейшие характеристики отходов животных в значительной степени зависят от усвояемости, состава и качества кормового рациона. Экскременты животных содержат органические и неорганические вещества, которые поступают вместе с неперевавшими остатками корма, выделяются через стенку кишечника или являются продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. В целом с выделениями крупного рогатого скота и свиней при их промышленном содержании выводится до 30–40% питательных и других веществ, получаемых животными с кормами. В навозе содержатся остатки пищеварительных соков, отмершие клетки, бактерии и крупные частицы нерастворимых веществ, проглоченные вместе с кормом. Отходы могут содержать также корм, рассыпанный в загонках, в них поступают различные лекарственные и химические вещества, используемые в животноводстве (кормовые, особенно минеральные, добавки, лекарства, антибактериальные вещества, средства санитарии, антисептики и т. п.), отходы хозяйственно-бытовой деятельности (упаковочные материалы, перегоревшие лампы и т. п.) и др.

Животноводческие корма обычно подразделяют на три основные группы [1]. К первой относят корма растительного происхождения и отходы промышленных предприятий: жмых, шрот, жом, меласса, барда, мезга, дробина и др., а также побочная продукция зерновых и технических культур (солома, ботва). Ко второй – корма животного происхождения, яйца, молоко, мясо и отходы, полученные при их переработке (сыворожка, сыр, казеин, жир, мясная и мясо-костная мука и др.). В третью группу входят продукты химико-биологического синтеза, к которым относятся синтетические азотистые соединения, белкововитаминные концентраты и добавки солей макро- и микроэлементов. Корма растительного происхождения подразделяются на зеленые, грубые, корнеклубнеплоды, силосованные, зерновые, остатки технических производств, а в соответствии с химическим составом и физиологическим действием – на корма объемистые и концентрированные. Объемистые характеризуются или большим содержанием воды (сочные или водянистые), или большим содержанием клетчатки (грубые). Например, в Белоруссии, согласно Техническому регламенту [58], в качестве кормов в животноводстве применяются: заменители сухого обезжиренного молока; заменители цельного молока; концентрат для производства заменителей цельного молока; корма растительного происхождения; корма животного происхождения; корма минерального происхождения; корма микробиологического синтеза; кормовые смеси; полнорационные комбикорма; комбикорма-концентраты; кормовые концентраты. К кормовым добавкам относятся: белково-витаминно-минеральные добавки; амидо-витаминно-минеральные добавки; премиксы; витамины; микроэлементы; вкусовые добавки; красители; стабилизаторы; эмульгаторы; разрыхлители; консерванты; антиоксиданты; ароматизаторы; загустители; антибиотики; пробиотики; пребиотики; подкислители; адсорбенты; аминокислоты; небелковые азотистые вещества; ферментные кормовые препараты.

Широкое применение, особенно в рационе свиней, находят комбинированные корма (комбикорм), представляющие собой сложную однородную смесь очищенных и измельченных до необходимого размера различных кормовых средств и микродобавок [47]. Основным сырьем для производства комбикормов являются зерновые и зернобобовые культуры (или их естественная смесь), наиболее важные из которых – пшеница, ячмень, кукуруза, рожь, соя и т. д. Также в качестве базового сырья часто используются различные зерноотходы: зерновая смесь от первичной обработки – содержит 50–85% зёрен продовольственных (включая крупяные), фуражных и бобовых культур, относимых по стандартам на эти культуры к основному зерну или зерновой примеси; мукомольного и крупяного производства – отруби и мучка кормовая (получают при производстве муки и крупы), дробленка кормовая (овсяная), сечка гороховая (получают при выработке крупы), измельченная кукуруза, зародышевый продукт (получают при переработке зерна в муку и крупу). Помимо зерновой основы в состав комбикормов могут входить трава, шрот, жмыхи, концентраты фосфатидные, жом, меласса, отходы переработки рыбы, скота на мясокомбинатах, продукты из морских млекопитающих и молочного производства, кормовые дрожжи, пивная дробина, премиксы, аминокислоты, балансирующие добавки, суперконцентраты, минералы и витамины. Например, структура использования сырья для производства комбикормов в России такова (в %): зерновые и зернобобовые культуры – 71,2, отруби – 12,5, жмых, шрот – 5,3, травяная мука – 2,8, дрожжи кормовые – 1,8, рыбные и мясокостные отходы – 1,7, прочее – 4,7. Объем производства комбикормов в 2009 г. составил 14,08 млн. т.

В рационе КРС и свиней содержатся различные минеральные вещества и микродобавки (кальций, фосфор, бор, кобальт, медь, железо, марганец, цинк, йод, селен, калий, хром и др.) [5, 7, 8, 10, 17, 22, 28, 34, 35, 38, 40, 41, 44, 57, 76, 80, 102]. В некоторых случаях такие добавки вводятся в количествах, превышающих суточные нормы, поскольку некоторые микроэлементы трудно сорбируются в пищеварительном тракте животного. В том или ином количестве они экскретируются с навозом. Имеются сообщения о тесной связи между поглощением металлов скотом и их концентрацией в навозе [105]. Некоторые из стимуляторов роста, используемые в кормах в скотоводстве, содержат тяжелые металлы [45]. Кроме того, во всем цикле производства говядины, молока и свинины используются опасные материалы (например, дезинфицирующие средства, пестициды, антибиотики и гормональные вещества). В качестве минеральных подкормков применяют апатиты, гарньш, различные фосфаты, золу растительную, известняки, костный уголь, костную муку, мел, мергель, муку ракушечную, ракушки, сапропель, травертин, туф известняковый, фосфорин, фосфориты [34, 44]. В состав солевых брикетов (соль-лизунец) добавляют соединения марганца, меди, железа, кобальта, цинка. [45]. Используются также цеолиты и цеолитовая мука. Известно, что в полостях и каналах цеолитов располагаются катионы металлов (Ca, Na, K, Mg, Ba, Sr и др.) и молекулы «цеолитной» воды. По данным [45], в рацион откормочных свиней часто добавляют от 10 до 20 г бентонита натрия.

Биологическая роль и участие Zn, В, Cu, Mo, Ag, Mn, Co в физиологических процессах и их концентрирование в различных кормах общеизвестны, поэтому их присутствие в отходах животноводства закономерно, тем более, как отмечено выше, в состав типовых рационов кормления сельскохозяйственных животных нередко целенаправленно вводят многие химические элементы. Многие комбикорма отличаются повышенными концентрациями цинка. В общем случае поступление металлов и других химических

элементов в любые компоненты рациона животных (концентрированные корма, солому, корнеплоды, силос и т. п.) может происходить как в процессе выращивания растений, так и в результате их накопления на растениях за счет вторичных атмосферных выпадений в виде пыли [25]. При пастбищном содержании животных металлы могут поступать в организм животных с дерниной или при пастьбе по стерне вместе с почвенными частицами. В особых случаях источником поступления кадмия, ртути, мышьяка, свинца, цинка и меди в организм животных могут быть естественные (пастбищные) корма [20]. Определенное количество тяжелых металлов (в том числе, при традиционных технологиях заготовки в хозяйствах) накапливается в силосе [15]. Особое значение имеет состав зерна [2]. Например, в соломе и шелухе овса присутствуют марганец, цинк, медь, хром, никель, серебро, свинец и др. [24]. Повышенные концентрации Zn (до 71,3 мг/кг) и Cu (до 11,5 мг/кг) содержатся в кормах животного происхождения (мясокостная и рыбная мука) [52]. Рыбная и особенно крилевая мука отличается высокими уровнями As (до 20–50 мг/кг). Накопление Sr, F и Sn в животноводческих отходах отчасти обусловлено применением в качестве минеральных кормовых добавок фосфатов, которые нередко составляют до 0,8–1,5% общего веса комбикормов [55] и относительно обогащены, кроме указанных элементов, также P, As, Cd, Y, La, Ce и Pb (табл. 6). Например, в животноводческих кормах, в свое время используемых на фермах Германии, были обнаружены высокие концентрации Pb и Cd [79]. Их присутствие явно было обусловлено кормовыми фосфатными добавками. Источником поступления некоторых химических элементов в отходы могут быть различные гигиенические средства, применяемые в животноводстве (дезодораторы, инсектициды, бактерициды, каустическая сода и др.).

Таблица 6

**Ассоциации химических элементов в кормовой добавке (кальция фосфат кормовой) [48]**

Порядок значений значения $K_k$ *химических элементов				
> 30	30–10	10–3	3–1,5	1,5–1
P <sub>264</sub>	–	As-F-Y-Cd-Sn-Sr-Ba	Pb-Ce	Mn

\* Коэффициент концентрации относительно кларка земной коры.

Исследование различных кормов, используемых на фермах КРС в Англии и Уэльса, установило наличие в них ряда тяжелых металлов и As. Особенно значимы были концентрации Zn и Cu (табл. 7). В отдельных образцах обнаружена Hg. Обращает на себя внимание выраженная неоднородность распределения многих химических элементов даже в одном и том же типе кормов. Обобщение данных о содержании тяжелых металлов в корме (203 типичных рациона) молочных коров с 54 молочных ферм в Висконсине (США) показало, что в кормах Cd относительно повышенных концентрациях стабильно присутствуют Zn, Cu, Cr, Pb, As, Cd [88]. Необходимо отметить, что присутствие, нередко в высоких концентрациях, в отходах животноводческих комплексов Hg, W и Mo в существенной степени связаны, очевидно, с попаданием в них вышедших из строя ртутных ламп, ламп накаливания, ртутных термометров [53, 63, 68]. В литературе имеются сведения о повышенных содержаниях Hg в комбикормах [83].



Сухое вещество (%) и химические элементы (мг/кг сухой массы) в кормах КРС [101]

Тип кормов (кол-во проб)	Содержание *	Сухое вещество	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	As	Cr
Жмых/орехи (15)	среднее	86,2	129	42,2	2,8	2,0	0,19	0,37	2,07
	интервал	84,5–87,9	39–289	10,6–76,9	0,6–7,2	<1,0–5,18	<0,1–0,41	0,1–0,87	0,6–3,94
Глютен кукурузы (6)	среднее	86,2	91	10,2	1,6	2,07	0,12	0,13	1,27
	интервал	85,1–87,6	64–192	3,9–35,6	0,8–3,6	<1,0–3,51	<0,1–0,21	<0,1–0,28	0,71–2,47
Меласса (4)	среднее	63,9	26	9,3	1,2	2,24	<0,1	0,20	0,66
	интервал	60,7–67,8	23–32	5,7–15,0	0,3–2,1	<1,0–5,28	<0,1	<0,1–0,29	<0,2–1,12
Жом сахарной свёклы (3)	среднее	87,0	27	4,6	2,5	2,24	0,29	1,06	1,77
	интервал	86,9–87,0	21–32	3,2–6,1	1,3–4,0	<1,0–3,54	0,2–0,4	0,87–1,26	0,52–2,90
Минералы (5)	среднее	96,7	2900	1484	9,0	5,50	1,79	3,03	42,0
	интервал	95,4–98,0	1540–4530	909–2500	7,3–11,2	3,33–8,23	0,36–3,59	1,26–4,13	18,1–53,8
Зерновые, злаки (1)	среднее	86,2	26	6,9	<1,00	1,88	<0,1	0,11	0,26
	интервал	85,9–86,2	21–30	6,2	0,8	<1,00	<0,1	0,10	0,21
Силос из злаковых культур (18)	среднее	28,9	21–48	3,2–9,9	0,1–2,0	<1,0–3,97	<0,1–0,15	<0,1–0,15	<0,2–0,75
	интервал	18,6–41,4	29	4,2	4,3	<1,00	0,16	<0,1	1,90
Кукурузный силос (2)	среднее	28,6	28–30	2,8–5,7	0,4–8,2	<1,00	<0,1–0,27	<0,1	<0,2–3,75
	интервал	27,6–29,6	Корм мясного КРС						
Жмых/орехи/гранулы (9)	среднее	83,6	189	34,6	3,1	<1,0	0,27	0,49	1,66
	интервал	84,9–88,8	56–77	5,3–61,5	2,1–4,3	<1,0–2,69	0,10–0,79	0,24–1,16	0,95–3,06
площенный овес и ячмень (4)	среднее	84,1	39	7,6	2,4	1,16	<0,1	<0,1	<0,20
	интервал	82,3–86,8	22–59	3,7–15,9	0,3–8,3	<1,0–3,14	<0,1–0,16	<0,1–0,13	<0,20
Сено (2)	среднее	83,0	29	6,8	0,8	3,64	0,11	<0,1	0,28
	интервал	78,2–87,8	17–41	5,0–8,6	0,5–1,1	2,84–4,43	<0,1–0,17	<0,1–0,10	<0,2–0,45
Солома (4)	среднее	88,7	11	3,7	0,5	<1,0	0,10	<0,1	<0,20
	интервал	86,9–92,7	43–252	2,0–5,6	0,3–0,7	<1,0	<0,1–0,13	<0,1–0,19	<0,2–0,33
Силос из злаковых культур (10)	среднее	35,0	38	7,0	1,1	1,19	0,10	0,16	0,47
	интервал	18,3–69,5	26–53	3,3–10,8	0,2–2,5	<1,0–4,99	<0,1–0,33	<0,1–0,44	<0,2–2,09
Осадочные породы [Григорьев]**			69	31	38	12	0,78	7,7	76,6

\* Если концентрация была ниже предела обнаружения (ПО), то при расчете среднего использовали 0,5 x ПО.

\*\* Здесь и далее в таблицах среднее содержание химических элементов в осадочных породах приводятся для условного сравнения.

Источником поступления Hg в комбикорма явно является рыбная мука, которая готовится из морской рыбы, отличающейся повышенными содержаниями Hg [30]. По [27], в органических удобрениях концентрации Hg составляли 0,3–2,9 мг/кг сухой массы (в 5–48 раз выше фонового уровня в почвах). Показательно, что в пробах пыли, осаждаемой со снегом, отобранных в окрестностях одного из свиноводческих комплексов и расположенного рядом завода по производству комбикормов, были установлены повышенные (в 1,5–2 раза выше фона) концентрации Hg [70].

Типичным химическим элементом, присутствующим в отходах свиноводства, является мышьяк. Известно, что его органические соединения используются как кормовые добавки для профилактики заболеваний и предотвращения снижения веса свиней. Так, китайскими специалистами было изучено распределение мышьяка в 29 образцах кормов для свиней и в 29 образцах свиного навоза, отобранных на 20 фермах, расположенных в окрестностях Пекина [87]. Было установлено, что концентрации этого элемента в кормах варьировались в пределах 0,15–37,8 мг/кг (при его среднем содержании в осадочных породах в 7,7 мг/кг). За последние 20 лет на этих фермах в корма было введено более 126,5 т мышьяка (рис. 1).

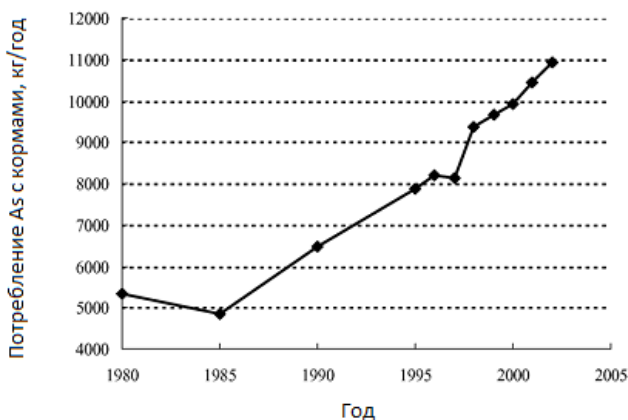


Рис. 1. Потребление свиньями мышьяка с кормами в 1980–2005 гг. [87].

Таким образом, в современном животноводческом производстве имеется достаточное количество различных потенциальных источников, в конечном счете определяющих поступление (нередко существенное) тяжелых металлов и других химических элементов в органические отходы.

### 3. Состав сточных вод

Сточные воды животноводческих комплексов в общем случае представляют собой сток, состоящий из жидкого навоза, производственных и хозяйственно-бытовых вод, силосного сока и ливневых вод (вод поверхностного стока). Объемы сточных вод крупных комплексов очень велики и, как правило, в 2–3 раза превышают объемы образующихся экскрементов живот-

ных, что в большинстве случаев обусловлено применением для их удаления гидросмыва [14, 31]. Эти стоки могут загрязнять поверхностные и подземные воды биогенными веществами, аммонийным азотом, взвешенными веществами, пестицидами, патогенными организмами, тяжелыми металлами, гормонами, антибиотиками [45].

Сточные воды животноводства обычно содержат значительные концентрации органических веществ и поэтому имеют высокие показатели биохимического потребления (БПК) и химического потребления (ХПК) кислорода, отличаются высокой мутностью, а также содержат биогенные вещества (особенно соединения азота). Животноводческие стоки отличаются, например, от сточных вод агропоселков и предприятий пищевой промышленности очень высокими содержаниями взвешенных веществ, органики и ряда других ингредиентов (табл. 8–10). Установлено, что сточные воды животноводческих предприятий являются потенциальным источником распространения возбудителей свыше 100 заболеваний животных и человека [9]. К таким болезням относятся: ящур, бруцеллез, сибирская язва, лептоспироз, сальмонеллез, энцефалит, рожа и чума свиней, кокцидиозы и многие другие. В течение года объем и состав животноводческих стоков, поступающих из мест хранения навоза, обычно существенно изменяются. Особенно значимые колебания наблюдаются в содержании взвешенных и органических веществ, азота, фосфора, калия. Как правило, более высокие концентрации поллютантов характерны для зимнего периода [33]. В ходе разложения навоза в местах хранения происходит его обеднение органическим веществом, некоторыми макро- и микрокомпонентами [11].

Своеобразен состав сточных вод, образующихся при содержании скота на откормочных площадках (табл. 11). Обычно характеристики таких сточных вод изменяются по мере того, как навоз подвергается высыханию, действию микробов, смачиванию осадками, перемешиванию и уплотнению при движении животных, что обуславливает чрезвычайно высокую временную вариацию основных компонентов стоков.

В районах размещения животноводческих комплексов КРС особую опасность представляют так называемые силосные соки, химический состав которых зависит в основном от компонентов силосного материала [18, 59, 61]. В животноводстве пользуются силосованием для консервирования летних трав, кукурузы, ботвы, жома, сахарной свеклы. Обычно 1 т свежих трав дает около 270 л силосного сока. Силосные соки содержат большое количество органических веществ (сахара и другие углеводы, органические кислоты), во многом определяющих токсичность этих стоков, а также азот и различные группы бактерий. В результате гидролиза растительных веществ, содержащих фенольные ядра, соки обогащены фенолами. Значения pH соков в пределах 3,5–4,5 обуславливают присутствие в них тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn, Co, Fe и др.). Считается, что один литр силосного сока способен загрязнить до 10000 л воды.

Основными направлениями в утилизации животноводческих стоков является использование их для орошения сельскохозяйственных угодий (в свежем виде или после осветления в отстойниках). Нередко животноводческие стоки (после их осветления в отстойниках и предварительной обработки) просто сбрасываются в водотоки. Все это не исключает поступления различных загрязняющих веществ в почвы, грунтовые воды и поверхностные водные объекты.

**Главные компоненты сточных вод животноводческих комплексов**

Неорганические вещества	Органические вещества	Препараты, добавляемые в корм	Патогенные организмы и бактерии
Соли аммония и другие соединения азота, калий, фосфаты, сульфаты, хлориды, медь, марганец, цинк, кобальт, мышьяк, железо, бор, молибден, ртуть, вольфрам, сера, сульфиды, фтор, стронций и др.	Мочевина, уровая кислота, ги-поуровая кислота, креатин, креатинин, фенолы, инсектициды, бактерициды, СПАВ и др.	Гормоны, эмульгаторы, энзи-мы, стимуляторы роста и кор-мовые добавки (включая мик-роэлементы), диуретики, антибиотики и др.	Группа паратифоидных бакте-рий, простейшие (амебы, кок-цидии, лентоспиреи), парази-тные черви, бактерии фекального загрязнения, гете-рофильные сапрофитные ор-ганизмы и др.

Таблица 9

**Состав навозных стоков крупных животноводческих комплексов [31]**

Показатель, мг/л	Животноводческие комплексы		Жилой поселок
	Свиноводческие	Крупнорогатого скота	
pH	7,5–8,1	7,2	8,1
Взвешенные вещества	5000–12000	19000–60000	212
БПК <sub>5</sub>	2000–6000	3000–8000	68
ХПК	5000–10000	6000–25000	320
Хлориды	100–150	–	56
Азот аммиака	100–600	300–1400	37
Азот нитратов	1,0–2,0	–	–

Таблица 10

**Химический состав сточных вод животноводческого комплекса (КРС) и предприятий пищевой промышленности, мг/л [26]**

Компонент	Животноводческий комплекс	Гидролизный завод	Крахмалопаточный завод	Реки мира [96]
Сухой остаток	5352–15961	2680	1536	89,2
Взвешенные вещества	6340–8440	600	445	–
Азот общий	1177–1587	358	133	–
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1275–3916	–	303	52
Cl <sup>-</sup>	539–1173	126	45	5,75
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	120–288	834	58	8,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	352–400	37	45	–
Ca <sup>2+</sup>	246–627	253	40	13,4
Mg <sup>2+</sup>	102–176	81	69	3,35
K <sub>2</sub> O	1025–1465	66	117	1,3 (K <sup>+</sup> )
Na <sup>+</sup>	400–632	46	16	5,15
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1110–1212	383	84	0,52*

\* Среднее в водах зоны гипергенеза [60].

Состав стока с откормочных площадок мясного скота, мг/л [33]

Элемент	Среднее	Диапазон	Реки мира [19, 96]
Натрий	840	40–2750	5,15
Магний	490	30–2350	3,35
Калий	2520	50–8250	1,3
Кальций	790	75–3460	13,4
Марганец	27	0,5–146	0,01
Железо	765	24–4170	0,41
Медь	7,6	0,6–28	0,007
Цинк	110	1–145	0,02

#### 4. Состав твердых отходов

Анализ данных, характеризующих особенности распределения химических элементов в отходах животноводства, позволяет отметить следующее (табл. 12–18). Как правило, распределение большинства химических элементов в отходах отличается выраженной неоднородностью, т. е. для разных объектов и разных отходов не наблюдается стабильной ассоциации доминирующих химических элементов. Это вполне закономерно и связано с местными факторами, различными условиями содержания животных, своеобразием используемых технологий удаления отходов и стоков, с видом, возрастом, характером использования и физиологическими особенностями сельскохозяйственных животных. Тем не менее в различных разновидностях отходов, обладающих в каждом конкретном случае химическим своеобразием, практически всегда в повышенных концентрациях присутствуют азот и некоторые другие макроэлементы, цинк, марганец, железо, медь, довольно часто – кобальт, молибден, бор, в отдельных случаях – никель, свинец, кадмий, ртуть. Концентрации указанных химических элементов нередко могут заметно превышать различные глобальные параметры их распределения в поверхностных водах и осадочных породах.

Таблица 12

Химические элементы в отходах животноводства [33]

Элемент	Отходы свиноводства			Навоз молочного скота, мг/л навоза	Реки мира [19, 96]
	мг/л навоза	фекалии, мг/л	моча, мг/л		
Азот	–	34600	5000	–	–
Натрий	–	2630	1300	–	5,15
Магний	800	8020	88	8700	3,35
Фосфор	–	16700	178	–	–
Сера	1440	1040	1100	5800	–
Калий	–	10200	2300	–	1,3
Кальций	4900	25100	340	17000	13,4
Марганец	–	176	0,3	–	0,01
Железо	280	456	1,1	300	0,41
Цинк	60	510	2,3	120	0,02
Медь	16	108	0,16	40	0,007

Примечание. Фекалии влажностью 65%, моча – 96%; в работе [33] приводятся данные о том, что в экскрементах домашних животных в значимых количествах обнаружены также Co, As, B, Mo, Cu, Pb, Mn.

Химический состав отходов животноводческих комплексов, мг/кг  
(обобщение данных разных авторов) [56]

Химические элементы	Отходы комплексов крупного рогатого скота		Отходы свинокомплексов		Осадочные породы [13]	
	Свежий навоз взрослых животных	Жидкий навоз	Свежий навоз	Жидкий навоз		
Макроэлементы	Азот общий (N)	2900	5800	6000	19500	600
	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1700	100	4100	700	2000*
	Калий (K <sub>2</sub> O)	1000	4900	1500	8300	30000*
	Кальций (CaO)	3500	100	900	100	46000*
	Магний (MgO)	1300	400	1000	800	31000*
	Сера (SO <sub>3</sub> )	400	1300	400	800	—
	Mn	230		156,0–268,8		670
	Pb	120		170		20
	B	17,4–20,2		18		100
	Cu	9,8–15,6		12,8–28,8		57
Zn	247,0–329,9		198,5–343,1		80	
Mo	1,1–4,2		1,4		2	
Ni	10		—		95	
V	5		—		130	
Co	4,7–11		11		20	
Sr	48		65		450	
Cr	12		14		100	
I	0,4–0,5		—		1	

Примечание. Курсив – содержания элементов на сырое вещество; обычный шрифт – усредненные содержания элементов для разных видов навоза на сухое вещество; \* – континентальная кора.

Таблица 14

**Химические элементы в навозе КРС и свиней, мг/кг сухой массы  
(обобщение данных разных авторов) [50]**

Элемент	Навоз КРС	Свиной навоз	Осадочные породы [21]
Бор	0,3–24	–	72
Кобальт	0,3–24	11	14
Медь	2–62	13	31
Марганец	30–550	168	730
Железо	–	–	35400
Молибден	0,05–49	34	1,53
Цинк	12–250	198	69

Таблица 15

**Состав навоза на соломенной подстилке, мг/ кг свежего навоза [3]**

Компонент	Навоз	Кларк земной коры [13]
Бор	4,5–52	12
Марганец	75–549	1000
Медь	7,0–40	47
Кобальт	0,25–4,7	18
Цинк	43–247	83
Молибден	0,84–4,2	1,1

Таблица 16

**Химический состав отходов (юго-восточная Норвегия), мг/кг сухой массы [100]**

Материал	pH	Минеральный азот	Неорганический фосфор	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd	Ni
Коровий навоз	7,2	208	1040	418	168	69	9	0,04	4,0
Свиной навоз	6,8	633	2741	659	81	158	15	0,08	4,2
Торфяная почва	3,7	следы	5	659	13	7	2	0,04	2,0

Таблица 17

**Металлы в различных видах навоза, мг/кг, обобщение литературных данных [90]**

Навоз	Страна	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
КРС	Италия	0,7	56	12	31	253
Загон фермы, молочный скот	Великобритания	0,38	37,5	3,7	3,61	153
Жижа, молочный скот		0,33	62,3	5,4	5,87	209
Загон, мясной КРС		0,13	16,4	2,0	1,95	81
Жижа, мясной скот		0,26	33,2	6,4	7,07	133
Свиной загон		0,37	374	7,5	2,94	431
Свиная жижа		0,30	351	10,4	2,48	575
Корова		Испания	<0,2	<3	3	<3
Корова	0,24		59	46	8	219
Коза	Венесуэла	1	13	4,4	3,7	71
КРС	Австрия	0,27	51	6,3	4,1	164
Свиной навоз		0,46	282	12,5	1,9	1,156
Разложивший коровий навоз	Южная Корея	0,5	10	4	21	21
Корова, ферма	Тунис	0,7	26	22	10	120
Осадочные породы [21]		0,78	31	38	12	69

Химический состав бесподстилочного навоза (Т.Н. Хруслева, 1975, , цит. по [29]), мг/л

Показатель	Жидкий	Твердый	Реки мира [19]
Al	16,2	18,6	0,05
Fe	16,2	9,5	0,41
Mn	1,6	1,9	0,01
Ni	0,05	0,01	0,0025
Ti	0,3	0,9	0,003
V	0,01	0,01	0,001
Cr	0,02	0,01	0,001
Mo	0,01	—	0,001
Zn	—	0,19	0,02
Cu	0,16	0,05	0,007
Pb	0,05	0,01	0,001
Be	0,01	—	—
Ba	—	0,09	0,02
La	0,27	0,09	0,00005
pH	7-15	—	—
Сухой остаток	13500	—	89,2*

\* Минерализация, по [96].

Таблица 19

Содержание химических элементов в различных видах жидкого и твердого навоза, мг/кг сухой массы [71]

Материал	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
КРС, навозная жижа	0,21-0,61	4,6-17	42-71	0,04-0,33	3-21	5-29	166-237	0,35-0,62
Навоз КРС	0,22-0,76	5,1-56	33-60	0,04-0,38	4-47	5-18	109-347	0,67-1,77
Свиный, навозная жижа	0,31-0,82	8,4-20	294-499	0,03-0,2	11-26	3,5-29	619-1270	0,52-0,83
Свиный, навоз	0,43-1	10,5-14	276-740	0,04	8,7-24	8,7-13	733-1450	—
Овцы, козы, навоз	0,28-0,41	6,3-60	26-41	0,17	6,8-16	3,4-28	107-204	0,99-2,65
Компост из отходов животноводства	0,32-1,08	11-32	36,41-89	0,05-0,07	9,3-26,2	20-102	150-264	3,4-9,2
Осадочные породы [21]	0,78	76,6	31	0,057	38	12	69	7,7



Химические элементы в органических удобрениях (обобщение [27])

Элемент	Удобрения, мг/кг сухой массы	Осадочные породы, мг/кг [13]
As	3–25	6,6
B	0,3–0,6	100
Ba	270	800
Br	16–41	6
Cd	0,3–0,8	0,03
Co	0,3–24	20
Cr	5,2–55	100
Cu	2–60	57
F	7	500
Ge	19	2
Hg	0,3–2,9	0,4
In	1,4	0,05
Mn	30–550	670
Mo	0,05–3	2
Ni	7,8–30	95
Pb	6,6–15	20
Rb	0,06	200
Sc	5	100
Se	2,4	0,6
Sn	3,8	10
Sr	80	450
Te	0,2	0,01
Zn	15–250	80
Zr	5,5	200

Показательны данные табл. 19 и 20. Так, из табл. 19 следует, что концентрации Zn, Cd, Cu, Hg, Pb, As в компосте из отходов животноводства нередко заметно выше, нежели в самих отходах, и превышают их уровни в осадочных породах верхней части континентальной коры. Табл. 20 свидетельствует о том, что органические удобрения (основу которых обычно составляет навоз), отличаются более высокими (нежели осадочные породы) концентрациями Br, Cd, In, Se, Te, в ряде случаев – Zn, As, Co, Hg, Mo.

По П.И. Анспоку [4], в 1 т навоза с влажностью 80% содержится: бора – 2 г (действующего вещества), молибдена – 0,25, цинка – 7,6, меди – 2,4, кобальта – 0,16, марганца – 25 г, причем до 25% от их валового содержания присутствует в подвижной (геохимически активной) форме. Согласно данным румынских авторов [46], в экскрементах домашних животных и птицы в повышенных концентрациях присутствуют соединения цинка, марганца и меди. В навозе крупного рогатого скота обнаружены относительно повышенные концентрации кадмия, хрома, кобальта, никеля, свинца, цинка и (в отдельных случаях) некоторых других химических элементов [78], в свином навозе установлены высокие уровни меди, железа, алюминия, марганца [106]. Белорусские авторы в жидком навозе крупного животноводческого комплекса, применяемого для орошения сельскохозяйственных угодий, установили повышенные концентрации марганца, меди, ванадия, кобальта, никеля, хрома, цинка и титана [32]. В данном случае максимальные уровни указанных химических элементов наблюдались в иле из вертикальных отстойников и в навозных стоках поливальных машин непосредственно в

день полива. В осветленных стоках из резервуаров концентрации химических элементов были существенно меньше. Очень высокие концентрации меди (1060 мг/кг) отмечались в свином навозе одной из ферм, расположенной в шт. Джорджия (США) [99]. В навозе крупного рогатого скота на откормочных площадках (шт. Оклахома, США) содержания алюминия составили 7560 мг/кг, железа – 3780, титана – 790, марганца – 120, меди – 17, цинка – 138, мышьяка – 3 мг/кг [107]. В одном из районов Бразилии изучено распределение Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr и Zn в свином навозе [103]. Была установлена высокая вариация их распределения во временном аспекте. Кроме того, отмечено снижение концентраций химических элементов в грубых ( $> 2$  мм) и тонких ( $< 0,45$  мкм) фракциях навоза.

Польский исследователь Ю. Коц [85] изучил распределение некоторых тяжелых металлов в жидком навозе, образующегося при содержании свиней и крупного рогатого скота (табл. 21). Им была установлена значительная изменчивость состава жидкого навоза в пределах одной и той же фермы и одной и той же группы животных. Как правило, концентрации химических элементов положительно коррелировали с количеством сухого вещества в жидком навозе и с содержанием в последнем общего азота. Основной причиной изменчивости химического состава жидкого навоза, по мнению автора цитируемой работы, являлась неоднородность разбавления отходов водой (в процессе уборки помещений гидросмывом).

Таблица 21

**Среднее содержание металлов в жидком навозе, мг/кг [85]**

Металл	Навоз крупнорогатого скота *	Свиной навоз **
Цинк	29,8	15,1
Марганец	18,1	12,1
Медь	3,0	1,7
Молибден	0,13	0,07
Железо	0,03	53,5

\* 124 образца из 12 молочных ферм.

\*\* 162 образца из 14 свиноводческих ферм.

Детальные исследования химического состава отходов, образующихся в Московской области на комплексе крупного рогатого скота молочного направления и на свиноводческом комплексе, были выполнены Н.Я. Трефиловой и А.И. Ачкасовым [55, 56]. На указанных комплексах для формирования статистически представительной выборки отбирали не менее 20 проб каждого из видов животноводческих отходов (табл. 22, 23). Установлено, что ассоциации химических элементов для разных видов навоза крупного рогатого скота выглядят следующим образом (в скобках коэффициенты концентрации относительно уровней элементов в фоновых почвах): свежий навоз молодняка – Zn (12,3), Ag (5), W (4,6), Sr (4,4), Mo (1,1); свежий навоз взрослых животных – Zn (13,9), W (4,8), Sr (1,3); сухой отжим – Zn (4,1), W (2,2); осадок жидкой фракции – Zn (17,5), W (14,6), Sr (7,8), F (2,6), Ag (2), Mo (1,5), Bi (1,3). По уровню обогащенности (значениям суммарного показателя загрязнения  $Z_c$ ) всем комплексом химических элементов исследованные виды навоза крупного рогатого скота составили следующий ряд убывания: осадок жидкой фракции ( $Z_c=42,3$ ) – свежий навоз молодняка (23,4) – свежий навоз взрослых животных (18,0) – сухой отжим (5,3).

Химические элементы в органических отходах животноводческих комплексов Московской области [56]

Элемент	Валовые содержания химических элементов, мг/кг сухого вещества						Отходы свиногомплекса		Фон в почвах Московской области [48]
	Отходы комплекса крупного рогатого скота			Отходы свиногомплекса			осадок жидкой фракции		
	свежий навоз молодняка	свежий навоз взрослых животных	сухой отжим	осадок жидкой фракции	сухой отжим	осадок жидкой фракции	сухой отжим	осадок жидкой фракции	
Pb	13,8	5	2,3	13,9	3,1	8,7	3,1	8,7	25
Cr	12,3	10,6	2,8	21,2	9,2	19,0	9,2	19,0	46
Sn	0,6	0,4	0,3	1,1	0,3	18,9	0,3	18,9	5,2
V	4,3	5,3	1,6	19,7	2,0	19,5	2,0	19,5	64
Co	1,2	1	0,4	1,1	0,5	1,7	0,5	1,7	7,2
Mn	132,2	55,2	33,4	211,8	153,4	346,2	153,4	346,2	590
Mo	1,1	1	0,3	1,5	0,9	1,3	0,9	1,3	1
Zn	614,8	696	203	876,5	9,2	30,3	9,2	30,3	50
Cu	23,1	9,6	5,8	21,9	18,4	39,0	18,4	39,0	27
B	9,2	12,2	5,2	35,8	9,4	19,9	9,4	19,9	38
Ag	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,04	0,2	0,1
Bi	0,1	0,01	0,04	0,4	1	0,3**	1	0,2	0,1
Ni	4,6	3,6	1,1	11	1,5	6,5	1,5	6,5	20
Ti	276,7	360	80	1972	317,1	908,9	317,1	908,9	6000
Ba	46,1	48	14,5	73	82,3	86,6	82,3	86,6	230
Sr	123	36	29	219,1	411,6	129,8	411,6	129,8	28
Zr	18,4	24	5,8	21,9	8,2	43,3	8,2	43,3	423
Y	0,8	0,7	0,2	7,3	0,3	2,2	0,3	2,2	18
Yb	0,2	0,1	0,04	0,7	0,1	0,4	0,1	0,4	2
Nb	0,2	0,7	0,1	2,2	0,3	1,3	0,3	1,3	15
W	4,6	4,8	2,2	14,6	3,1	8,7	3,1	8,7	1
Ga	1,2	1,2	0,4	7,3	0,3	4,3	0,3	4,3	12*
F	-	-	-	572,4	-	-	-	-	210
Sb	0,5	0,4	0,1	1,1	-	-	-	-	2***
As	0,5	0,7	0,1	2,2	0,3	1,3	0,3	1,3	3
Sc	0,1	0,2	0,1	0,7	0,1	0,4	0,1	0,4	2,8*
La	-	-	-	-	-	-	-	-	33***
(Hg)	-	-	-	(0,3) <sup>x</sup>	(0,4) <sup>x</sup>	-	(0,4) <sup>x</sup>	-	0,009

\* Данные авторов цитируемой работы; \*\* стандарт дерново-подзолистой почвы; \*\*\* по А.П. Виноградову [12]; прочерк – элемент не обнаружен;  
 x – вероятность обнаружения 20%.

**Интенсивность накопления химических элементов в органических отходах  
животноводческих комплексов Московской области [56]**

Элемент	Накопление химических элементов относительно фоновых почв (K <sub>c</sub> )					
	Отходы комплексов крупного рогатого скота		Отходы свинокомплексов			
	свежий навоз молодняка	свежий навоз взрослых животных	сухой отжим	осадок жидкой фракции	сухой отжим	осадок жидкой фракции
Pb	0,6	0,2	0,1	0,6	0,1	0,3
Cr	0,3	0,2	0,1	0,5	0,2	0,4
Sn	0,1	0,08	0,06	0,2	0,06	3,6
V	0,07	0,08	0,02	0,3	0,03	0,3
Co	0,2	0,2	0,06	0,2	0,07	0,2
Mn	0,2	0,1	0,06	0,4	0,3	0,6
Mo	1,1	1,0	0,3	1,5	0,9	1,3
Zn	12,3	13,9	4,1	17,5	0,2	0,6
Cu	0,9	0,4	0,2	0,8	0,7	1,4
B	0,2	0,3	0,1	0,9	0,2	0,5
Ag	5,0	1,0	1,0	2,0	0,4	2,0
Bi	0,3	0,03	0,04	1,3	3,3	0,7
Ni	0,2	0,2	0,06	0,6	0,08	0,3
Ti	0,05	0,06	0,01	0,3	0,05	0,2
Ba	0,2	0,2	0,06	0,3	0,4	0,4
Sr	4,4	1,3	1,0	7,8	14,7	4,6
Zr	0,04	0,06	0,01	0,5	0,02	0,1
Y	0,04	0,04	0,01	0,4	0,02	0,1
Yb	0,1	0,05	0,02	0,4	0,05	0,2
Nb	0,01	0,05	0,01	0,1	0,02	0,1
W	4,8	4,8	2,2	14,6	3,1	8,7
Ga	0,1	0,1	0,03	0,6	0,02	0,4
F	-	-	-	2,6	-	-
Sb	0,2	0,2	0,05	0,6	-	-
As	0,2	0,2	0,03	0,7	0,1	0,4
Sc	0,04	0,07	0,04	0,2	0,04	0,1
La	-	-	-	-	-	-
Zc	23,4	18,0	5,3	42,3	19,1	16,7

Наибольшая обогащенность химическими элементами осадка жидкой фракции объясняется их концентрированием в результате седиментации с твердыми взвешенными частицами, а обедненность химическими элементами сухого отжима легких органических остатков отходов – «промытостью» их водой. Большая обогащенность химическими элементами свежего навоза молодняка в сравнении с навозом взрослых животных явно обусловлена большей долей в кормовом рационе первых различных комбикормов и питательных смесей, тогда как в кормовом рационе коров заметно доминируют растительные корма. Ассоциации накопления химических элементов, установленные для отходов свиноводческого комплекса, выглядят так: для сухого отжима – Sr (14,7), Bi (3,3), W (3,1); для осадка жидкой фракции – W (8,7), Sr (4,6), Sn (3,6), Ag (2), Cu (1,4), Mo (1,3). Значения суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  в этих фракциях отходов довольно близки и составляют 19,1 и 16,7 соответственно. Не исключено, что эпизодическое появление в отходах значимых концентраций ртути обусловлено (как отмечалось выше) ее присутствием в комбикормах, при изготовлении которых используется морская рыба, а также при попадании в отходы вышедших из строя ртутных ламп и термометров. Высокие уровни вольфрама отчасти могут объясняться его попаданием в животноводческие отходы с вышедшими из строя лампами накалывания.

В западном и южном районах Шри Ланка местными специалистами изучен состав навоза различных групп сельскохозяйственных животных: навоз КРС, экскременты буйволов, экскременты коз, свиной навоз [111]. Образцы (25 проб) были высушены до постоянной массы при 60°C, измельчены и исследованы на содержание различных металлов (табл. 24). Установлено, что концентрации металлов не превышают максимально допустимые уровни, установленные для компоста, хотя, как отмечалось выше, нередко при производстве компоста происходит концентрирование («вторичное обогащение») некоторых химических элементов, уровни которых могут превышать содержание в перерабатываемом на компост навозе. В то же время для Zn, Cu, Pb и особенно Cd максимальные их концентрации в навозе нередко существенно превышали среднее содержание в осадочных породах. С этой точки зрения наиболее высокими содержаниями Zn и Cu отличался свиной навоз, Pb – навоз буйволов, Cd – навоз коровий, буйвола и коз. Очень высокие уровни As (при широкой вариации его концентраций) установлены в свином навозе 20 ферм, расположенных в окрестностях Пекина [87]. Его уровни изменялись в интервале от 0,42 до 119 мг/кг. По данным испанских авторов [72], в свежем навозе овец концентрации Cu составляли 14 мг/кг, Ni – 37, Pb – 18, Zn – 94 мг/кг.

На молочной ферме, расположенной в Калифорнии (США), осуществлялся ежемесячный (в течение года) отбор проб кормов, навоза и переработанного навоза (навоза-композита), в которых исследовалось распределение Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn (табл. 25). Обращают на себя внимание, во-первых, более низкие удельные концентрации Cu, Fe, Mn в кормах по сравнению со свежим навозом и более низкие уровни Cd, Cr, Ni и Pb в свежем навозе по сравнению с кормами, во-вторых, более высокие концентрации почти всех указанных металлов в переработанном навозе, нежели в свежем навозе.

Масштабные исследования (1100 проб) распределения меди, цинка, кадмия и свинца в жидком и твердом навозе коров и свиней в 1991–1997 гг. были выполнены швейцарскими специалистами [98]. Результаты этих исследований также свидетельствуют об очень высокой неоднородности распределения содержаний изученных металлов как в одном и том же типе навоза, так и в навозе различных групп животных (табл. 26). Наиболее интенсивно (как уже отмечалось выше) в навозе концентрируется цинк, медианные значения которого стабильно превышают его средний уровень в осадочных породах.

Содержание металлов в различных видах навоза, мг/кг сухой массы [111]

Тип навоза	Цинк		Марганец		Железо	
	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал
навоз коровий	50,3	10-175	197	10-400	3418	765-7931
навоз буйволов	23,8	6-109	233	11-774	3673	1371-6249
навоз коз	64,2	10-171	216	126-381	5797	1007-1717
свиной навоз	118,3	30-325	298	68-858	8858	884-27858
Максимально допустимый уровень для компоста	1000		нет		нет	нет
Осадочные породы [21]	69		730		35400	
Тип навоза	Медь		Свинец		Кадмий	
	среднее	интервал	среднее	интервал	среднее	интервал
навоз коровий	16,0	2-62	13,1	1,6-26,6	2,6	0,5-7,3
навоз буйволов	15,8	4-45	23,2	5,0-44,4	3,9	0,5-7,8
навоз коз	17,4	3-42	16,1	2,3-38,6	2,2	0,3-7,3
свиной навоз	63,0	4-232	12,1	2,9-32,5	3,2	0,4-2,5
Максимально допустимый уровень для компоста	400		250		10	
Осадочные породы [21]	31		12		0,78	

Окончание табл. 24

Таблица 25

Металлы в кормах, навозе и навозе-композите КРС, мг/кг свежей массы [75]

Металл	Корм	Свежий навоз	Навоз-композит
Cd	0,32±0,11*	< 0,03	0,46±0,26
Cr	0,46±0,16	< 0,15	4,89±0,96
Cu	7,40±0,56	15,63±0,82	17,87±0,78
Fe	201,84±6,91	499,36±5,52	3679,47±361,79
Mn	23,68±5,10	49,63±0,80	104,37±6,61
Ni	12,19±2,77	< 0,1	6,99±1,24
Pb	11,39±3,07	< 0,5	1,27±0,66
Zn	48,71±12,52	39,63±0,37	83,90±10,64

\* Стандартная ошибка.

Таблица 26

Металлы в различных типах навоза, мг/кг сухой массы [98]

Категория животных	Тип навоза	Медь		Цинк		Кадмий		Свинец	
		Медиана	Интервал значений	Медиана	Интервал значений	Медиана	Интервал значений	Медиана	Интервал значений
Молочный КРС	Жидкий	37,1	13–160	162,2	102–395	0,178	<0,08–3,2	3,77	1,3–50
	Твердый	23,9	2,5–80	117,7	40–412	0,172	0,04–3,1	3,77	0,09–15,6
Мясной КРС	Жидкий	52,5	12–267	244,7	88–938	0,168	<0,08–0,80	2,98	0,3–14,2
	Твердый	22,0	15–51	91,1	49–448	0,151	<0,08–0,62	2,81	1,3–11,9
Свинья на откорме	Жидкий	115,3	30–376	746,5	337–2490	0,210	<0,08–0,51	1,76	0,9–15,8
	Холостая свиноматка	71,1	28–418	517,5	269–1112	0,170	0,09–0,56	2,53	1,2–23,9
Свиноматка кормящая	Жидкий	119,2	12–1459	553,8	146–5832	0,230	0,06–1,3	2,55	0,34–12,8
	Оседочные породы [21]	31		69		0,78			12

На примере животноводческих (молочных, мясных, свиноводческих) хозяйств Англии и Уэльса было изучено распределение цинка, меди, никеля, свинца, хрома, кадмия и мышьяка в различных видах навоза, а также особенности концентрирования указанных элементов в зависимости от содержания в отходах сухого вещества и общего азота [74, 101]. Авторы также рассчитали медианные и средние содержания металлов и мышьяка в разных отходах (табл. 27, 28). Практически все разновидности навоза отличались высокими (относительно осадочных пород) концентрациями цинка, а навоз свиней – также меди. Установлена прямая зависимость концентрации цинка (и отчасти других элементов) от содержания сухого вещества в навозе (рис. 2). Прослеживается также прямая зависимость содержания химических элементов в навозе от количества в нем общего азота.

Таблица 27

Медианные содержания химических элементов в навозе, мг/кг сухой массы [74]

Тип навоза (кол-во проб)	Общий азот, %	Zn	Cu	Ni	Pb	Cr	As	Cd
Стойловый навоз молочного КРС (6)	6,0	145	31,4	2,8	2,24	2,58	1,15	0,42
Навозная жижа, молочный КРС (20)	4,5	176	51,0	5,5	4,79	5,13	1,09	0,20
Стойловый навоз мясного КРС (12)	–	63	15,6	2,1	1,40	1,50	0,71	0,14
Навозная жижа, мясной КРС (8)	3,5	132	30,9	3,3	5,80	2,62	0,98	0,22
Стойловый навоз свиней (7)	7,0	387	346	5,0	2,83	1,87	0,73	0,68
Навозная жижа свиней (12)	7,0	403	364	7,8	<1,0	2,44	1,33	0,30
Осадочные породы [21]	–	69	31	38	12	76,6	7,7	0,78

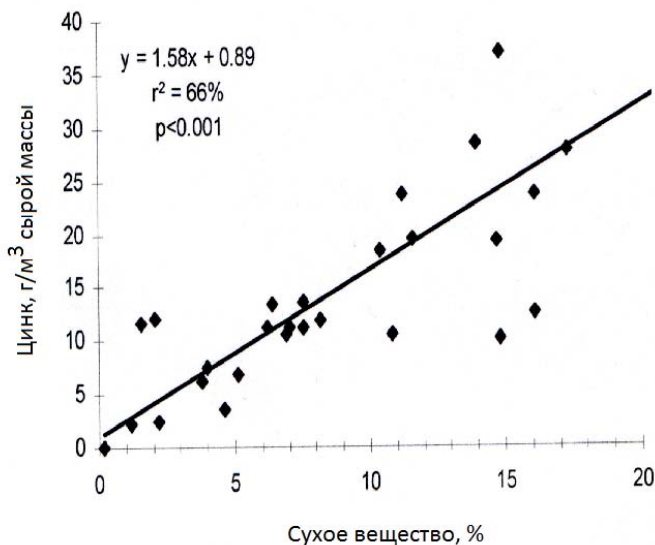


Рис. 2. Соотношение между содержанием сухого вещества и концентрацией цинка в свежем навозе КРС [74].



Таблица 28

Сухое вещество (%) и химические элементы (мг/кг сухой массы) в навозе [101]

Тип навоза (кол-во проб)	Содержание *	Сухое вещество									
		Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	As	Cr			
Стойловый навоз молочного КРС (6)	среднее	153	37,5	3,7	3,61	0,38	1,63	5,32			
	интервал	99-238	26,2-55,8	1,7-9,1	<1,0-9,18	<0,1-0,53	0,57-4,83	0,77-21,4			
Навозная жижа молочного КРС (20)	среднее	209	62,3	5,4	5,87	0,33	1,44	5,64			
	интервал	<5-727	<1,0-352	0,1-11,4	<1,0-16,9	<0,1-1,74	<0,1-4,48	<0,2-12,9			
Стойловый навоз мясного КРС (12)	среднее	81	16,4	2,0	1,95	0,13	0,79	1,41			
	интервал	41-274	10,5-27,9	0,2-3,1	<1,0-6,40	<0,1-0,24	0,39-1,53	0,79-2,05			
Навозная жижа мясного КРС (6)	среднее	133	33,2	6,4	7,07	0,26	2,60	4,69			
	интервал	68-235	17,5-48,7	1,9-20,4	1,07-18,0	0,11-0,53	0,43-10,8	1,13-15,7			
Стойловый навоз свиней (7)	среднее	431	37,4	7,5	2,94	0,37	0,86	1,98			
	интервал	206-716	160-780	3,0-24,3	1,01-4,65	0,19-0,53	0,52-1,34	0,67-3,42			
Навозная жижа свиней (12)	среднее	575	35,1	10,4	2,48	0,30	1,68	2,82			
	интервал	<5-2500	<1,0-807	<0,1-49,8	<1,0-9,74	<0,1-0,84	<0,1-6,7	<0,2-6,81			
Осадочные породы [21]		69	31	38	12	0,78	7,7	76,6			

\* Если концентрация была ниже предела обнаружения (ПО), то при расчете среднего использовались 0,5 х ПО.

Таблица 29

Химические элементы в необработанных и обработанных отходах животноводства [81]

Параметр	Необработанные, мг/л		Анаэробно-сброженные, мг/л		Дигестат, мг/кг	
	1*	2**	1*	2**	1*	2**
Интервал	3,20-17,00	11,1-14,4	Цинк		399,70-671,2	14,10-13,20
	12,75±1,65	6,96±2,60	1,02-93,20	0,26-46,60	477,08±40,45	57,13±29,34
Интервал	1,12-17,80	3,65-6,61	Медь		113,60-312,9	10,50-25,30
	7,54±2,96	5,13±1,48	0,21-73,40	0,06-12,80	204,02±30,04	16,63±4,46
Интервал	0,004-0,53	0,04-0,06	Мышьак		0,17-5,94	0,11-0,37
	0,13±0,10	0,05±0,008	0,01-2,08	0,02-0,17	2,19±0,88	0,22±0,08

\* Свальные фермы. \*\* Молочные фермы.

Концентрации элементов в навозе разных животных в различные периоды в Китае, мг/кг сухой массы ( $\pm$  – стандартное отклонение) [92\*]

Элемент	Свиной		КРС		Овцы		Осадочные породы [21]
	2003 г. (n=61)	1990-е гг. (n≥33)	2003 г. (n=42)	1990-е гг. (n≥66)	2003 г. (n=15)	1990-е гг. (n≥24)	
As	12,8±5,0	1,1±?	2,0±2,6	1,0±?	1,5±1,6	1,6±?	7,7
Cd	4,8±7,6	0,86±0,98	3,4±8,2	1,4±1,3	1,3±1,3	2,5±2,3	0,78
Cr	46,6±62,1	10,6±7,0	15,2±21,4	6,1±5,9	8,0±4,8	11,3±8,0	76,6
Cu	472,6±310,5	37,6±38,9	46,5±69,4	26,9±23,2	28,7±13,2	44,3±31,6	31
Hg	0,12±0,23	0,07±?	0,10±0,10	0,04±?	0,19±0,50	0,07±?	0,057
Ni	12,5±7,2	12,7±10,9	14,1±6,8	8,1±6,6	12,4±6,6	12,4±6,7	38
Pb	10,1±10,9	13,2±14,7	15,7±11,3	12,0±11,7	12,4±6,6	25,8±41,9	12
Zn	843,3±504,2	137,2±81,2	151,9±125,7	100,3±49,8	123,4±113,3	110,5±60,2	69

\* Авторы цитируемой работы использовали данные Xing and Li (1999), Liu et al. (2005), Zhang et al. (2005).

В провинции Цзянсу (Китай), расположенной на побережье Жёлтого моря, отходы животноводства используются для получения биогаза. Здесь на 21 крупном сельскохозяйственном предприятии (16 свиных ферм и 5 молочных ферм) было изучено распределение цинка, меди и мышьяка в необработанной навозной жиже, в сброженной навозной жиже и в твердой фракции сброженного осадка (в так называемом дигестате) [81]. Дигестат (т. е. твердое вещество, остающееся после анаэробного процесса брожения, происходящего в установках для производства биогаза) применяется в качестве органического удобрения на сельскохозяйственных угодьях. В целом для изученных химических элементов в ходе переработки навоза прослеживается тенденция направленного увеличения их содержания в соответствующих конечных продуктах. Наиболее интенсивно элементы накапливаются в дигестате (табл. 29), что особенно проявляется для цинка при переработке свиного навоза. Очевидно, данный факт вполне закономерен, поскольку выше отмечалась прямая зависимость содержания металлов (особенно цинка) от количества твердого вещества в навозе, т. е. твердое вещество, таким образом, является в отходах основным концентратом и основным носителем многих металлов.

В другой работе китайские специалисты на основе данных исследования 188 проб навоза, отобранных в разные годы в 18 провинциях и муниципалитетах Китая, рассчитали средние концентрации довольно широкой группы химических элементов в навозе, образующегося при содержании различных животных (табл. 30). Полученные результаты позволяют отметить следующие. Прежде всего, практически для всех химических элементов отмечается заметное увеличение удельных концентраций в свином навозе и навозе крупного рогатого скота в 2003 г. по сравнению с 1990-ми гг. Это, очевидно, связано с укрупнением данного вида сельскохозяйственного производства (создание крупных ферм и комплексов стойлового содержания животных), изменением технологий и условий содержания скота и (что, возможно, является главным фактором) существенным изменением рациона питания, направленного на интенсификацию производства (более широкое использование различных кормовых добавок, лекарственных средств и т. п.). Для навоза овец подобных (явно выраженных) изменений для указанных периодов времени не отмечается. Концентрации мышьяка, хрома, никеля и цинка остаются практически на одном уровне, несколько увеличиваются (в 2003 г.) содержания ртуть и снижаются – кадмия, меди и свинца. Это, возможно, обусловлено содержанием овец практически в одних и тех же условиях (на пастбищах).

Наиболее интенсивно (по сравнению с осадочными породами) во всех отходах и во все периоды концентрируется цинк и (в несколько меньшей степени) кадмий, а также мышьяк и медь (в 2003 г. в свином навозе) и отчасти ртуть (в свином навозе и в навозе КРС в 2003 г.). Подобное увеличение концентраций явно связано с изменением условий содержания и пищевого рациона свиней. Например, как отмечалось выше, органические соединения мышьяка в последние годы широко используются, особенно в Китае, как кормовые добавки для профилактики заболеваний и предотвращения снижения веса свиней. Характерен также тот факт, что практически для всех химических элементов во всех разновидностях отходов наблюдается довольно высокая неоднородность их распределения (о чем свидетельствуют значения стандартного отклонения).

Высокими концентрациями широкой группы макро- и микроэлементов характеризует жидкая фракция свиного навоза (табл. 31). Показательно, что даже после обработки жидкого навоза в прудах (с использованием зарослей тростника обыкновенного) уровни содержания большинства исследованных ингредиентов очень велики.

Химические элементы в жидкой фракции свиного навоза, мг/л

Показатель	Ферма близ Ричланда, Сев. Каролина, США [84]	После предварительной обработки с помощью тростника обыкновенного, Бельгия [97]
Сухой остаток, %	–	1,45±0,0
ХПК	–	3167±969
Азот общий	–	230±45
Азот Кьедаля	–	104±34
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (на азот)	–	4,4±2,5
Фосфор общий	340	265±56
Хлориды	–	2211±68
Натрий	1130	1203±13
Калий	410	4295±41
Кальций	170	59,7±7,4
Магний	100	78,4±11,1
Железо	16,5	6,99±0,47
Цинк	8,8	1,4±0,4
Алюминий	7,3	–
Марганец	2,7	0,59±0,03
Медь	2,1	3,6±0,5
Молибден	0,117	–
Свинец	0,036	–
Кадмий	0,009	–

Французские авторы изучили распределения широкой группы химических элементов в разных гранулометрических фракциях свиного навоза [93]. В табл. 32 приведены данные о содержании химических элементов в различных разновидностях навоза. Как видим, по сравнению с осадочными породами свежий и сброженный навоз, а также его жидкая фракция заметно обогащены фосфором, калием, серой, медью и цинком. Твердая фракция навоза (в сравнении с осадочными породами) характеризуется очень высокими уровнями фосфора, отчасти меди и цинка. В этой фракции навоза также содержится больше (в сравнении с другими разновидностями отходов) кальция и марганца, но меньше – калия, магния, серы, меди и цинка. Основными концентраторами практически всех химических элементов в сброженном навозе являются частицы размером от 0,45 до 3 мкм, характеризующиеся также и наибольшими удельными концентрациями элементов (табл. 33). В то же время в сброженном навозе доминируют частицы размером от 3 до 25 мкм (их доля составляет порядка 44%). Соответственно, именно эти частицы и являются фракциями-носителями основной массы (до 80–85%) присутствующих в навозе цинка, меди, марганца, фосфора и кальция; значительная доля магния (до 70%) и серы (более 52%) также связана с этими частицами. Несколько необычно распределение калия, указывающее на то, что основная масса (доля от общего содержания в изученных животноводческих отходах) его может быть связана с очень тонкими частицами (размером менее 0,45 мкм). В этих же тонких частицах, судя по всему, присутствует и заметное количество серы.

Румынские авторы, изучившие распределение свинца, кадмия, меди и цинка в свином навозе (ферма в селе Михаил-Когэлничану, район Констанца, Румыния), высказали предположение, что указанные тяжелые металлы в нем могут присутствовать преимущественно в виде ионов или органических и неорганических комплексов [91].

Таблица 32

**Химический состав жидкого свиного навоза, мг/кг сухой массы [93]**

Элемент	Свежий	Сброженный	Жидкая фракция	Твердая фракция	Осадочные породы [21]
Фосфор	29500	31500	24900	43800	670
Калий	37400	65600	72300	4100	19800
Кальций	51200	47200	39000	96100	72800
Железо	2500	4000	4300	4100	35400
Магний	14200	15900	12100	6800	18300
Сера	8100	11100	10800	6800	3600
Алюминий	868	1641	998	760	64400
Медь	590	1016	1001	170	31
Марганец	629	708	610	1042	730
Цинк	1507	2628	2563	519	69

Таблица 33

**Распределение сухого вещества и химических элементов в различных гранулометрических фракциях сброженного жидкого свиного навоза [93]**

Элемент	Общая проба	> 250 мкм	> 43 мкм	> 25 мкм	> 3 мкм	> 0,45 мкм
Удельная концентрация, мг/кг сухой массы						
P	31500	43800	26100	37700	42500	–
K	65600	4100	9600	10400	7400	–
Ca	47200	96100	28900	36800	65300	–
Mg	15900	6800	15100	22700	23300	–
S	11100	6800	6500	6700	11400	–
Cu	1016	170	329	364	1402	1001
Mn	708	1042	444	586	1024	873
Zn	2628	519	900	877	3563	2091
Процентное распределение, %						
Сухое вещество	100	7,2	16,9	18,8	62,8	–
P	100	10,5	17,4	27,8	104,7	–
K	100	0,1	2,1	2,5	6,1	–
Ca	100	14,0	12,0	16,9	100,6	–
Mg	100	3,4	19,0	31,6	108,4	–
S	100	5,0	9,7	11,2	63,3	–
Cu	100	1,1	5,8	7,1	91,6	99,3
Mn	100	10,1	12,7	18,5	108,4	–
Zn	100	1,5	6,3	6,8	92,8	99,6

В Гонконге в 1989 г. ежедневно образовывалось свыше 2000 т отходов животноводства (на 5000 свиноводческих, 1500 птицеводческих и на 1000 смешанных фермах). На расположенной здесь же ТЭС ежедневно производилось около 3 тыс. т золы, которая складировалась в лагуну в береговой зоне Гонконга. Авторами [86] проведено сравнительное изучение состава навоза и золы (табл. 34). Как видим, незрелый навоз закономерно отличается более кислой реакцией, тогда как зрелый навоз по этому показателю близок золе. Естественно, что навоз отличается очень высокими концентрациями органического вещества (на порядок больше, нежели в золе). Уровни кислотности экстрагируемых металлов в навозе также многократно выше, чем в золе (и су-

щественно превышают их содержания в осадочных породах). Эти факты должны учитываться при размещении или при использовании отходов животноводства в сельском хозяйстве. Как известно, основным направлением утилизации навоза является его использование в качестве органического удобрения (как источника азота, фосфора, калия). Как сообщается в специальной литературе, максимальное (рациональное) количество вносимого навоза на сельскохозяйственных угодьях должно составлять порядка 6 т/га.

В Северной Италии (провинция Мантуя) практикуется применение навозной жижи и других видов навоза в качестве удобрений в сельском хозяйстве. По сведениям [94], относительно высокие содержания меди и цинка в таких отходах приводят к загрязнению ими почв и сельскохозяйственной продукции (табл. 35).

Таблица 34

**Состав золы, незрелого навоза и зрелого навоза [86]**

Показатель	Зола	Незрелый навоз	Зрелый навоз
pH (1:5)	8,83	5,89	8,21
Сорг, %	0,61	8,32	7,74
	Кислото-экстрагируемые металлы, мг/кг		
Кадмий	5,7	13,7	34,4
Медь	40	2380	1470
Свинец	95	137	134
Цинк	61	1660	750

Таблица 35

**Средний химический состав навозной жижи (Cortellini L., Piccinini S., 1993, цит. по [94])**

Параметр	Свиньи	Телята
Сухое вещество, % на свежую массу	1,5–6,0	0,6–2,9
Летучее твёрдое вещество, %, сухая масса	65–80	60–75
N, кг/т на свежую массу	1,5–5,0	1,3–3,1
P, кг/т на свежую массу	0,5–2,0	0,1–1,8
K, кг/т на свежую массу	1,0–3,1	0,4–1,7
Сu, кг/т на свежую массу	0,25–0,80	0,03–0,06
Zn, кг/т на свежую массу	0,60–1,00	0,60–1,10

Как уже отмечалось выше, в ходе переработки животноводческих отходов (в том числе, при компостировании) происходит определенное обогащение получаемых продуктов некоторыми химическими элементами. Если увеличение содержания питательных элементов (калия, фосфора, азота и др.) является, так сказать, положительным эффектом переработки животноводческих отходов в органические удобрения, то рост концентраций некоторых химических элементов, особенно тяжелых металлов, не всегда желателен. Например, в Онтарио (Канада) в компостированном навозе отмечались высокие концентрации цинка (до 198 мг/кг) и меди (до 56 мг/кг) [109], в Китае в компосте из навоза животных, смешанного с древесными опилками, установлены высокие содержания цинка (474 мг/кг), кадмия (1,65 мг/кг) и меди (143 мг/кг) [112], в Испании в компостированном навозе КРС концентрации цинка составля-

ли 142 мг/кг [104]. Показательно, что уровни содержания тяжелых металлов в компосте, полученном путем вермикультивирования, были в целом невысоки. В частности, концентрации цинка и кадмия лишь в 2 раза превышали их глобальные параметры распространения в осадочных породах верхней части континентальной коры (табл. 36).

Таблица 36

**Химические элементы в вермикомпосте из навоза КРС, мг/кг [82]**

Элемент	Вермикомпост	Осадочные породы [21]
Al	16300±490	64400
Fe	20100±35	35400
Ca	6330±1100	72800
Mg	2670±230	18300
Pb	2,6±0,7	12
Cd	1,7±0,1	0,78
Cu	31,0±3,7	31
Ni	21,7±2,1	38
Zn	108±4,4	69

Таблица 37

**Химический состав различных агромелиорантов, мг/кг сухой массы [89]**

Агромелиорант	pH	Медь	Кадмий	Цинк
Известняк	12,38	6,52	8,60	20,8
Ca-Mg-P-удобрения	7,36	1310	4,81	1,076
Кремневое удобрение	10,85	0,57	7,58	5,11
Цинковое удобрение	4,23	0,31	0,65	–
Свиной навоз	7,65	725	4,11	1417
Торф	4,03	13,8	1,94	44,8
Осадочные породы [21]	–	31	0,78	69

Таблица 38

**Нормы максимального содержания химических элементов в осадках сточных вод (ОСВ) и компосте и допустимые уровни в сельскохозяйственных почвах, мг/кг сухой массы [95]**

Элемент	ОСВ	Обычный компост	Компост высокого качества	Сельскохозяйственные почвы *
Кадмий	1,25	1	0,7	0,45
Хром	75	50	50	56
Медь	75	60	25	17
Ртуть	0,75	0,3	0,2	0,2
Никель	30	20	10	13
Свинец	100	100	65	55
Цинк	300	200	75	61
Мышьяк	15	15	5	17

\* Допустимый уровень для сельскохозяйственных почв. Это целевые значения для чистых почв. Рассчитывается при содержании частиц грунта диаметром меньше двух микрон 3% и содержания гумуса 1,5%.

В одном из районов субтропической зоны Китая (провинция Цзянси) было изучено распределение меди, кадмия и цинка в различных агрометеорологических факторах, в том числе в свином навозе (табл. 37). Как видим, свиной навоз (среди всех изученных агрометеорологических факторов) отличается максимальными содержаниями меди и цинка, а также очень высокими концентрациями кадмия. Авторы цитируемой работы отмечают, что применение некоторых агрометеорологических факторов, особенно навоза и Ca-Mg-P-удобрений, способствовало накоплению меди и кадмия в рисе.

В табл. 38 приводятся уровни содержания химических элементов в осадках сточных вод и компостов из них, рекомендованные в качестве предельно допустимых величин при их использовании в качестве агрометеорологических факторов. Особое следует отметить, что концентрации целого ряда химических элементов в отходах животноводства и компостах из них, как свидетельствуют приводимые выше многочисленные данные, могут превышать указанные нормативы.

## 5. Воздействие животноводческих комплексов на водные объекты

Особенно сильное воздействие крупные животноводческие комплексы оказывают на малые реки и грунтовые воды. Это подтверждается приводимым ниже материалом, полученным при изучении состава речных и грунтовых вод и донных отложений малых водотоков в зонах влияния животноводческих комплексов, расположенных в бассейне р. Пахры (Московская область): свиноводческого (был рассчитан на выращивание и откорм 108 тыс. свиней в год), сточные воды которого поступают в р. Ладырку, и молочного (2000 голов крупнорогатого скота), стоки которого поступают в руч. Сосенки [62, 66, 67, 69]. В указанные водотоки также поступает поверхностный сток с прилегающих к комплексам территорий, в пределах которых размещаются отходы и сточные воды животноводческих производств.

Для характеристики техногенных геохимических ассоциаций в донных отложениях рек использовался комплекс следующих показателей [64]: коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$  относительно фонового содержания; формула геохимической ассоциации (в геохимическую ассоциацию включались элементы со значениями  $K_c$  не менее 1,5); показатель  $N_{\Sigma}$  (отражает количество входящих в нее химических элементов); известный суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , а также показатель санитарно-токсикологической опасности  $Z_{CT}$ , который представляет собой сумму коэффициентов концентрации  $K_c$  химических элементов 1-го и 2-го классов опасности, входящих в ассоциацию, для которых известны предельно допустимые уровни (ПДК) в воде водных объектов, и характеризует степень потенциальной санитарно-токсикологической опасности данного уровня техногенного загрязнения. Характеристики уровня техногенного загрязнения и его степени потенциальной санитарно-токсикологической опасности оценивались на основе ориентировочной шкалы (табл. 39).

Исследования показали, что в зоне воздействия животноводческих комплексов для многих химических элементов в донных отложениях наблюдаются аномальные концентрации, заметно (нередко в несколько раз) превышающие их местные фоновые содержания (табл. 40). Это определяет формирование в отложениях комплексных по составу (полиэлементных) техногенных геохимических аномалий, в обоих случаях характеризующихся достаточно схожими геохимическими ассоциациями (табл. 41).



**Ориентировочная шкала оценки загрязнения рек  
по интенсивности накопления химических элементов в донных отложениях [64]**

Z <sub>c</sub>	Z <sub>ст</sub>	Уровень техногенного загрязнения	Степень санитарно-токсикологической опасности	Содержания токсичных элементов в растворе поверхностных вод
< 10	< 10	Слабый	Допустимая	Большинство в пределах фона
10–30	10–30	Средний	Умеренная	Многие повышены относительно фона; некоторые эпизодически достигают ПДК
30–100	30–100	Высокий	Опасная	Многие заметно выше фона; некоторые превышают ПДК
100–300	100–300	Очень высокий	Очень опасная	Многие во много раз выше фона; некоторые стабильно превышают ПДК
> 300	> 300	Чрезвычайно высокий	Чрезвычайно опасная	Большинство во много раз выше фона; многие стабильно превышают ПДК

Среднее содержание химических элементов в донных отложениях водотоков, мг/кг

Элемент	Ладьярка (свиноводство)	Сосенки (крупный рогатый скот)	Фон в реках Московской области [65]
Li	27	28	23
Be	1,1	1,2	1
B	110	81	48
F	308	396	220
P	3500	4200	700
Sc	5,7	7,3	2,6
V	95	92	75
Cr	65	62	51
Mn	952	1460	635
Co	7,1	11,7	4,9
Ni	22	24	18
Cu	63	150	30
Zn	861	861	123
Ga	13	24,3	9
As	15	18	3
Se	1,2	1,44	0,24
Sr	142	143	51
Y	34	34,2	18
Nb	8	9	10
Mo	1,7	4,15	0,83
Ag	0,7	0,44	0,04
Cd	0,84	1,2	0,3
Sn	12,2	28,2	4,7
Ba	250	130	93
Yb	2,7	2,8	2,3
W	4,3	4,7	1,8
Hg	0,39	1,11	0,03
Pb	52,2	72,5	29

Таблица 41

**Геохимические ассоциации в донных отложениях водотоков  
в зоне влияния животноводческих комплексов**

Объект	Порядок значений $K_c$ химических элементов			№	$Z_c$	$Z_{ст}$
	> 30	30–10	10–3			
Крупнорогатый скот, руч. Сосенки	Hg <sub>37</sub>	Ag <sub>11</sub>	Zn <sub>7</sub> -(Se-As-Sn-P) <sub>6</sub> -(Cu-Mo) <sub>5</sub> -Cd <sub>4</sub>	20	94	64
Свиноводство, р. Ладырка	–	Ag <sub>14</sub> -Hg <sub>13</sub>	Zn <sub>7</sub> -(As-Se-P) <sub>5</sub>	16	54	43

Таблица 42

**Химический состав поверхностных и грунтовых вод  
в районе свиноводческого комплекса, мг/л [62]**

Компонент,	Река в зоне влияния комплекса	Колодец	Фоновый водоток
Хлориды	85	52	10
Сульфаты	51	52	15
Натрий	58	12	13
Калий	9	1	1
Аммонийный азот	0,5	0,8	0,5
Нитриты	7	30	2
Нитраты	0,13	0,9	0,02
Минерализация	605	314	433
Фтор	0,4	0,6	0,2
Ртуть	0,0015	0,002	<0,001
Мышьяк	0,0035	0,001	0,001
Цинк	0,053	<0,01	0,01
Селен	0,00048	0,00006	0,00007
Серебро	0,0002	<0,0001	0,0001

Ведущими элементами геохимических ассоциаций, установленных в зонах воздействия обоих животноводческих комплексов, являются Hg, Ag, Zn, As, Se и P. Кроме того, вблизи комплекса крупнорогатого скота в донных отложениях более интенсивно накапливаются Sn, Cu, Mo и Cd, что (наряду с более высокими значениями показателя  $N_3$ ) определяет здесь более сильное техногенное воздействие. Тем не менее в обоих случаях значения суммарного показателя загрязнения  $Z_C$  соответствуют высокому уровню загрязнения, а показателя  $Z_{CT}$  – опасной степени санитарно-токсикологической вредности техногенного загрязнения рек. Как правило, наиболее интенсивные и более комплексные по составу техногенные аномалии фиксируются в ближней зоне воздействия на водотоки животноводческих комплексов. По мере удаления от последних уровни концентрирования большинство химических элементов заметно снижаются, в первую очередь за счет разубоживания вещества отложений природным осадочным материалом.

В районе свиноводческого комплекса был также изучен химический состав поверхностных и грунтовых вод (табл. 42). Данные по составу вод указывают на высокую степень их техногенной метаморфизации. Содержания практически всех компонентов в зоне влияния комплекса значительно превышают фоновые уровни. Обогащенность нитритами, нитратами, фтором и ртутью воды колодца указывает на возможность местного загрязнения грунтовых вод.

Таким образом, в зонах влияния животноводческих комплексов в поверхностных водотоках формируются русловые отложения, отличающиеся специфическим химическим составом, что проявляется в высоких концентрациях целого ряда токсичных элементов, отражающих зоны техногенного загрязнения. Размещение сточных вод свиноводческого комплекса на полях орошения и их поступление в водотоки приводит к загрязнению поверхностных и грунтовых вод соединениями азота и некоторыми химическими элементами.

## Заключение

В последние годы во многих странах бурно растущий спрос на продукты питания животного происхождения приводит к значительному увеличению поголовья скота (особенно молочного и мясного направления). В существенной мере этот подъем обеспечивается главным образом за счет коммерческого животноводства и связанной с ним продовольственной цепи. Это обуславливает увеличение (и без того значительных) масштабов и интенсивности образования животноводческих отходов (навоза), которые характеризуются своеобразными физико-химическими свойствами и специфическим химическим составом, а также способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду, которое традиционно связывают с бактериальным загрязнением, с поступлением в окружающую среду яиц гельминтов, плесеней, грибов, а также соединений азота и фосфора, органических веществ, некоторых макрокомпонентов (калий, натрий и др.). Исследования последних лет свидетельствуют о том, что образующиеся на современных предприятиях крупного рогатого скота и свиноводческих комплексах многотоннажные отходы (прежде всего, различные виды навоза) являются не только весьма важным и ценным удобрением, но и также источниками поставки в окружающую среду различных химических элементов, включая некоторые тяжелые металлы.

Химический состав навоза во многом определяется технологией содержания животных, способами сбора, удаления, хранения и использования отходов, зависит от состава используемой воды, подстилочных материалов,

от вида скота, его возраста и особенно от кормового рациона, минеральных добавок, химических препаратов, лекарственных средств и некоторых других факторов. Присутствие, нередко в высоких концентрациях, ртути, вольфрама и молибдена в отходах животноводческих комплексов отчасти может быть обусловлено попаданием в них вышедших из строя ртутных ламп, ламп накаливания, ртутных термометров.

Важнейшей особенностью распределения большинства химических элементов в отходах является выраженная неоднородность, когда для разных объектов и разных отходов не наблюдается стабильной ассоциации доминирующих химических элементов. Это закономерно и связано с местными факторами, различными условиями содержания животных, своеобразием используемых технологий удаления отходов и стоков, с видом, возрастом, характером использования и физиологическими особенностями сельскохозяйственных животных. Тем не менее, во-первых, практически все разновидности навоза закономерно отличаются высокими и повышенными уровнями макроэлементов (азот, фосфора, калия, серы, магния). Во-вторых, навоз крупного рогатого скота характеризуется повышенными концентрациями цинка, кадмия, хрома, кобальта, никеля, свинца и (в отдельных случаях) некоторых других химических элементов, в свином навозе установлены высокие уровни цинка, мышьяка, меди, железа, алюминия, марганца, ртути. В-третьих, концентрации указанных химических элементов нередко существенно превышают их средние содержания в осадочных породах верхней части континентальной коры и в фоновых почвах, а также (в жидкой фракции отходов) глобальные параметры распределения в поверхностных водах и осадочных породах.

Установлена прямая зависимость концентрации металлов, особенно цинка, от содержания сухого вещества и общего азота в навозе. Заметная доля макро- и микроэлементов связана в навозе с частицами, имеющими размеры от 3 до 25 мкм. Для многих химических элементов в последние два десятилетия установлено направленное (во времени) увеличение их концентраций в свином навозе и навозе крупного рогатого скота, что, очевидно, связано с укрупнением данного вида сельскохозяйственного производства (создание крупных ферм и комплексов стойлового содержания животных), изменением технологий и условий содержания скота и (что, возможно, является главным фактором) существенным изменением рациона питания, направленного на интенсификацию производства (более широкое использование различных кормовых добавок, лекарственных средств и т. п.). Особенно ярко подобное увеличение содержаний проявляется для цинка, кадмия, мышьяка и, отчасти, ртути. Высокими содержаниями фенолов, органических кислот и тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn, Co, Fe и др.) отличаются кислые силосные стоки.

В ходе переработки животноводческих отходов на удобрение происходит определенное обогащение получаемых продуктов некоторыми химическими элементами, концентрации которых могут превышать установленные предельные нормативы. Использование навоза, компостов из него и особенно жидких отходов для обработки сельскохозяйственных угодий определяет вероятность поступления загрязняющих веществ в почвы, сельскохозяйственную продукцию и в грунтовые воды. Непосредственный сброс сточных вод животноводческих комплексов и поступление поверхностного стока в водотоки обуславливает их загрязнение соединениями азота и фосфора, некоторыми макроэлементами (калий, натрий, хлориды, сульфаты). В донных отложениях таких водотоков накапливается достаточно широкая ассоциация химических элементов, среди которых наиболее высокими концентрациями отличаются ртуть, серебро, цинк, мышьяк, селен, олово, кадмий, медь, молибден.

## Литература

1. *Александров С.Н.* Технология производства кормов. – М.: ООО «Издательство АСТ»; Донецк: «Сталкер», 2003. – 235 с.
2. *Александров Ю.А.* Основы производства безопасной и экологически чистой животноводческой продукции: Учебное пособие. – Йошкар-Ола: ГОУВПО «Марийский государственный университет», 2008. – 277 с.
3. *Александровская З.П., Кузменкова А.М., Гуляев Н.Ф., Кржамбаров Я.Н.* Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
4. *Ансток П.П.* Микроудобрения. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
5. *Ачкасова Е.В.* Влияние состава рациона на химический состав молока коров-перволеток черно-пестрой породы в условиях западного Предуралья // Аграрный вестник Урала, 2009, № 5, с. 78–79.
6. *Бельшев А.С.* Утонет ли Россия в навозе? // <http://www.wiborwto.ru/t5/utonet.html>.
7. *Берзинь Я.М.* Микроэлементы в животноводстве. – Рига: Госиздат Латвийской ССР, 1961. – 198 с.
8. *Берзинь Я.М., Сажохин В.Т.* Микроэлементы в животноводстве. – М.: Знание, 1963. – 31 с.
9. *Болоцкий П.Л., Семенов В.П., Пруцаков С.В. и др.* Анализ методов обеззараживания животноводческих стоков и помета с ферм // Ветеринария Кубани, 2008, № 3, с. 22–24.
10. *Владимиров Н.П., Черемнякова Л.Н., Луницын В.Г. и др.* Кормление сельскохозяйственных животных: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 211 с.
11. *Васильев В.А., Филиппова Н.В.* Справочник по органическим удобрениям. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
12. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 161 с.
13. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962, № 7, с. 595–571.
14. *Ворошилов Ю.П., Мальцман Т.С.* Охрана окружающей среды на животноводческих предприятиях Московской области // Состояние, перспективы изучения и проблемы охраны природных территорий Московской области. – М., 1988, с. 87–90.
15. *Вэйзенен Г.Н., Савин В.А., Токарь А.П.* Концентрация тяжелых металлов в силосе и сене при традиционных технологиях заготовки // Аграрная наука, 1997, № 5, с. 23–24.
16. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Тишаев С.В., Кобзарь С.Г.* Развитие биоэнергетических технологий в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение, 2002, № 3, с. 3–11.
17. *Гибалкина Н.П.* Молочная продуктивность коров при разных уровнях хрома в рационах Зауралья // Научное обеспечение инновационного развития животноводства: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010, с. 41–43.
18. *Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984.
19. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160 с.

20. *Грехова О.Н.* Динамика токсических элементов молока-сырья Южно-Зауралья // Научное обеспечение инновационного развития животноводства: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010, с. 43–47.

21. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 382 с.

22. *Дементьев А.В., Сухаров К.М.* Применение микроэлементов в кормлении растущих свиней // Животноводство, 1961, № 11, с. 89–90.

23. *Завражнов А.П., Миронов В.В.* Проблемная ситуация в животноводстве // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2010, №4–6(29), с. 9–12.

24. *Землухова Л.А., Будаева В.В., Федорищева Г.А. и др.* Неорганические компоненты соломы и шелухи овса // Химия растительного сырья, 2009, № 1, с. 147–152.

25. *Исаев Н.Н.* Избыток металлов в кормах – причина экологической опасности для сельскохозяйственных животных и продукции животноводства // Российский химический журнал (Журнал Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2005, т. XLIX, № 3, с. 83–85.

26. Использование сточных вод для орошения земель. – М.: Колос, 1983. – 167 с.

27. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

28. Книга свиновода. – Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1982. – 208 с.

29. *Крайнов С.Р., Закутин В.П.* Загрязнение подземных вод в сельскохозяйственных регионах. – М.: АО «Геоинформмарк», 1993. – 86 с.

30. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1. Ртуть: Пер. с англ. – Москва: Медицина, 1979. – 149 с.

31. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда. – М.: Медицина, 1980. – 255 с.

32. *Кузнецов В.А., Жуховицкая А.А., Шимко Г.А., Каган А.М.* Формы микроэлементов в почвах, орошаемых животноводческими стоками // Доклады АН БССР, 1991, т. 35, № 1, с. 76–79.

33. *Аёр Р.* Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. – М.: Колос, 1979. – 415 с.

34. *Макарьев Н.Г.* Кормление сельскохозяйственных животных. – Калуга: Облиздат, 1999. – 646 с.

35. *Межегов А.Б.* Влияние хрома на обмен веществ и молочную продуктивность коров: Автореф. дис... канд. сельскохозяйственных наук. – Элиста, 2012. – 24 с.

36. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. РД-АПК 1.10.15.02-08. – М.: Мин-сельхоз РФ, 2008. – 93 с.

37. Навоз // Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. – М.: Сов. Энциклопедия, 1989, с. 328–329.

38. *Наумов П.А.* Применение микроэлементов при выращивании молодняка свиней // Советская зоотехния, 1953, № 1, с. 71–74.

39. Неорганизованное складирование отходов животноводства: воздействие на окружающую среду и эффективные пути утилизации. Фонд «Окружающая среда для Европы». – Видково, 2007. – 79 с.

40. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справ. пособие. – М.: Агропромиздат, 1986. – 352 с.

41. *Пейве Я.В.* Роль микроэлементов в питании растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 28 с.
42. *Перезудов С.С.* Современная технология переработки стоков навоза на животноводческих комплексах // *Мясная индустрия*. 2007, № 10. С. 68–69.
43. *Перезудов С.* Переработка навоза на животноводческих комплексах // *АгроРынок*. 2008, сентябрь, с. 18–19.
44. *Родионов Г.В.* Справочник бригадира молочной фермы. – М., 2000. – 180 с.
45. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для животноводческого производства. Международная финансовая корпорация. Группа Всемирного банка. 30 апреля 2007 г. // <http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>.
46. *Рэуце К., Кыртия С.* Борьба с загрязнением почвы: Пер. с румын. – М.: Агропромиздат, 1986. – 221 с.
47. Рынок комбикормов: к 2020 году прогнозируется пятикратный рост // *Аграрное обозрение*, 2010, № 2 (18), с. 58–59.
48. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с
49. Свод правил экологически безопасной сельскохозяйственной практики в условиях Ленинградской области России. Часть первая. Содержание крупного рогатого скота и кормопроизводство. – СПб., 2006. – 68 с.
50. *Систани К.Р., Новак А.М.* Аккумуляция, передвижение и ремедиация следовых металлов в почвах, получающих навоз животных // *Микроэлементы в окружающей среде. Биогеохимия, биотехнология и биоремедиация: Пер. с англ.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, с. 773–793.
51. Современные технологии переработки отходов агропромышленного комплекса с получением биогаза // *Энергетика. Энергосбережение. Экология*, 2010, ноябрь / <http://energobser18.ru/energoberezhenie/propaganda/publikaczi/sovremennye-technologie-pererabotki-otxodov-agropromyshlennogo-kompleksa-s-polucheniem-biogaza.html>.
52. *Таланов Г.А., Хмелевский Б.Н.* Санитария кормов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.
53. *Тимошин И.В., Янин Е.П.* О необходимости организации в жилом секторе селективного сбора использованных люминесцентных ламп // *Экологическая экспертиза*, 2016, № 5, с. 92–100.
54. *Торопова Н.М.* Вопросы обращения с навозом и пометом в сельскохозяйственных предприятиях Ленинградской области // *Охрана окружающей среды и «органическое» сельское хозяйство. Сб. докладов научно-производственного экологического семинара.* – СПб.: СЗНИИМЭСХ. 2005, с. 14–20.
55. *Трефилова Н.Я., Ачкасов А.П.* Биогеохимические последствия применения органических удобрений // *Биогеохимические методы при изучении окружающей среды.* – М.: ИМПРЭ, 1989, с. 44–53.
56. *Трефилова Н.Я., Ачкасов А.П.* Органические удобрения как источники загрязнения химическими элементами (на примере животноводческих комплексов Подмосковья) // *Прикладная геохимия. Вып. 6. Экологическая геохимия Москвы и Подмосковья.* – М.: ИМПРЭ, 2004, с. 262–270.
57. *Трифонов Г.А., Суханов А.А., Кулешов К.А.* Рост и развитие яйцевода кур при применении селеносодержащих препаратов // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2009, № 7 (57), с. 45–49.
58. ТР 2010/025/ВУ. Технический регламент Республики Беларусь «Корма и кормовые добавки. Безопасность». Утв. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 14.07.2010 г. № 1055.



59. Хайнши Э., Паукке Х., Нагель Г.Д. и др. Агрехимикаты в окружающей среде: Пер. с нем. – М.: Колос, 1979. – 357 с.
60. Шварцев С.А. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
61. Шкарда М. Производство и применение органических удобрений: Пер. с чеш. – М.: Агропроиздат, 1985. – 364 с.
62. Янин Е.П. Геохимические особенности малых рек сельскохозяйственных ландшафтов // География и природные ресурсы, 1985, № 1, с. 167–168.
63. Янин Е.П. Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки сельскохозяйственных районов // Экологическая экспертиза, 2004, № 4, с. 67–90.
64. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМПРЭ, 2002. – 52 с.
65. Янин Е.П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМПРЭ, 2004. – 95 с.
66. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек агроландшафтов (формирование, состав, экологическая оценка) // Теоретическая и прикладная экология, 2009, № 1, с. 66–71.
67. Янин Е.П. Химические элементы в русловых отложениях малых рек агроландшафтов (оценка интенсивности накопления и экологической значимости) // Аграрная Россия, 2010, № 4, с. 27–30.
68. Янин Е.П. О необходимости сбора люминесцентных ламп // Твердые бытовые отходы, 2015, № 6, с. 6–10.
69. Янин Е.П. Оценка воздействия животноводческих комплексов на химический состав донных отложений малых рек // Экологическая экспертиза, 2017, № 2, с. 2–6.
70. Янин Е.П., Трефилова Н.Я., Григорьева О.Г. Геохимическая оценка воздействия животноводческих комплексов на окружающую среду в условиях юго-западного Подмосковья // Комплексное изучение и рациональное использование природных ресурсов: Тез. док. Всес. сов., г. Калинин, 3–5 сентября 1980 г. – Калинин: Наука, 1980, с. 47.
71. Amlinger F., Pollak M., Favoino E. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers. ENV.A.2./ETU/2001/0024. Final Report – July 2004. European Commission // [http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm\\_finalreport.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_finalreport.pdf).
72. Ayuso M., Hernández T., García C., Pascual J.A. Biochemical and chemical-structural characterization of different organic materials used as manures // Bioresour. Technol., 1996, 57, p. 201–207.
73. Benckiser G., Simarmata T. Environmental impact of fertilizing soils by using sewage and animal wastes // Fertilizer Research, 1994, 37, p. 1–22.
74. Chambers B.J., Nicholson F.A., Solomon D.R., Unwin R.J. Heavy metal loading from animal manures to agricultural land in England and Wales // Proc. 8th International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98), Rennes (F) 26–29 May 1998. 1998, v. 1, p. 475–483 // <http://www.ramiran.net/doc98/FIN-ORAL/CHAMBERS.pdf>.
75. El-Ahraf A., Willis W.V., Moses F. Determination of the Concentration of Metals in Animal Feeds. Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Magnesium, Nickel, Lead, and Zinc in Dairy Cattle Feed, Manure, and Processed Manure // Biological Trace Element Research, 1983, 5, p. 129–137.

76. *Fisher G.E.J.* Micronutrients and Animal Nutrition and the Link between the Application of Micronutrients to Crops and Animal Health // *Turk. J. Agric. For.*, 2008, 32, p. 221–233.

77. Guidelines for Sustainable Manure Management in Asian Livestock Production Systems. A publication prepared under the framework of the RCA project on Integrated Approach for Improving Livestock Production Using Indigenous Resources and Conserving the Environment. IAEA-TECDOC-1582. – Vienna: IAEA, 2008. – 125 p.

78. *Hathorn S., Fuller W.H.* Feedlot manure use on desert cropland // *BioCycle*. 1986, v. 27, № 1, p. 48–51.

79. *Hecht H.* Schwermetalle in Futtermitteln, derzeitige Belastung in der Bundesrepublik Deutschland // *Wiss. und Umwelt.*, 1983, № 4, p. 277–288.

80. *Hostetler, C.E., Kincaid, R.L., Miranda, M.A.* The role of essential trace elements in embryonic and fetal development in livestock // *The Veterinary Journal*. 2003, v. 166, p. 125–139.

81. *Jin H., Chang Z.* Distribution of Heavy Metal Contents and Chemical Fractions in Anaerobically Digested Manure Slurry // *Appl. Biochem. Biotechnol.* DOI 10.1007/s12010-010-9133-7. Published online: 30 November 2010.

82. *Jordão C. P., Fialho L.L., Cecon P.R. et al.* Effects of Cu, Ni and Zn on lettuce grown in metal-enriched vermicompost amended soil // *Water, Air, and Soil Pollution*, 2005, 172, p. 21–38.

83. *Juszkiewicz T., Szprengier T.* Zawartość rtęci w przemysłowych miazgach paszowych // *Med. weter.*, 1977, v. 33, № 9, p. 544–545.

84. *Kebede-Westhead E., Pizarro C., Mulbry W.W.* Treatment of swine manure effluent using freshwater algae: Production, nutrient recovery, and elemental composition of algal biomass at four effluent loading rates // *Journal of Applied Phycology*, 2006, 18, p. 41–46.

85. *Koc J.* Zawartość składników nawozowych w gnojowicy // *Rocz. Glebozn. / PT glebozn.*, 1989, v. 40, № 1, p. 269–278.

86. *Lau S.S.S., Wong J.W.C.* Toxicity evaluation of weathered coal fly ash-amended manure compost // *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, 128, p. 243–254.

87. *Li Y.-X., Chen T.-B.* Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure // *Resources, Conservation and Recycling*, 2005, v. 45, p. 356–367.

88. *Li Y., McCrory D.F., Powell J.M. et al.* Survey of Selected Heavy Metal Concentrations in Wisconsin Dairy Feeds // *J. Dairy Sci.*, 2005, 88, p. 2911–2922.

89. *Li P., Wang X.-X., Zhang T.-L. et al.* Distribution and Accumulation of Copper and Cadmium in Soil–Rice System as Affected by Soil Amendments // *Water, Air, and Soil Pollut.*, 2009, 196, p. 29–40.

90. *Lopes C., Herra M., Franco-Uría A., Roca E.* Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture: evaluating the risk of transfer into the food chain // *Environ. Sci. Pollut. Res.* DOI 10.1007/s11356-011-0444-1. Published online: 28 January 2011.

91. *Lupascu N., Chirila E., Munteanu M.* Heavy metal contaminants in organic fertilizers // *Ovidius University Annals of Chemistry*, 2009, 20, № 2, p. 232–234.

92. *Luo L., Maa Y., Zhang S. et al.* An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China // *Journal of Environmental Management*, 2009, 90, № 8, p. 2524–2530.

93. *Marcato C.E., Pinelli E., Ponech P., Winterton P., Guirese M.* Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry // *Bioresource Technology*, 2008, Vol. 99, № 7, p. 2340–2348.

94. *Mantovi P., Bonazzi G., Maestri E., Marmiroli N.* Accumulation of copper and zinc from liquid manure in agricultural soils and crop plants // *Plant and Soil*, 2003, 250, p. 249–257.

95. *Manure and the environment. The Dutch approach to reduce the mineral surplus and ammonia volatilisation.* 2<sup>nd</sup> edition. 2001. – 23 p. // [www.netherlands-embassy.org/files/pdf/manure.pdf](http://www.netherlands-embassy.org/files/pdf/manure.pdf).

96. *Meybeck M.* Concentrations des aux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans // *Rev. geol. dy-nam. et géogr. phys.*, 1979, 21, № 3, p. 215–246.

97. *Meers E., Rousseau D.P.L., Blomme N. et al.* Tertiary treatment of the liquid fraction of pig manure with *Phragmites australis* // *Water, Air, and Soil Pollution*, 2005, 160, p. 15–26.

98. *Menzi H., Kessler J.* Heavy metal content of manure in Switzerland // *Proc. 8th International Conference on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98)*, Rennes (F) 26–29 May 1998. 1998, v. 1, p. 495–506.

99. *Miller W.P., Martens D.C., Zelazny L.W.* Short-term transformations of copper in copperamended soils // *J. Environm. Qual.*, 1987, 16, № 2, p. 176–181.

100. *Narwal R.P., Singh B.R.* Effect of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil // *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, 103, p. 405–421.

101. *Nicholson F.A., Chambers B.J., Williams J.R., Unwin R.J.* Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales // *Bioresource Technology*. 1999, v. 23, № 1, p. 23–31.

102. *Petersen S.O., Sommer S.G., Béline F. et al.* Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective // *Livestock Science*, 2007, v. 112, p. 180–191

103. *Radis Steinmetz R.L., Kunz A., Dressler V.L. et al.* Study of Metal Distribution in Raw and Screened Swine Manure // *Clean*, 2009, 37 (3), p. 239–244.

104. *Ramos M.C.* Metals in vineyard soils of the Penedès area (NE Spain) after compost application // *J. Environ. Managem.*, 2006, 78, p. 209–215.

105. *Sistani K.R., Adeli A., Brink G.E. et al.* Seasonal and management impact on broiler cake nutrient composition // *Journal of Sustainable Agriculture*, 2003, v. 24, № 1, p. 27–37.

106. *Sweney D.W., Graetz D.A.* Chemical and decomposition characteristics of anaerobic digester effluents applied to soil // *J. Environ. Qual.*, 1988, v. 17, № 2, p. 309–313.

107. *Wang J.J., Zhang H., Schroder J.L. et al.* Reducing Potential Leaching of Phosphorus, Heavy Metals, and Fecal Coliform From Animal Wastes Using Bauxite Residues // *Water, Air, and Soil Pollut.*, 2011, 214, p. 241–252.

108. *Waste but not wasted* // *Soil Conserv.*, 1979, 44, № 9, p. 10–13.

109. *Wen G., Bates T.E., Voroney R.P.* Influence of application of sewage sludges, and sludge and manure composts on plant Ca and Mg concentration and soil extractability in field experiments // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 55, p. 51–61.

110. *Wheeler R.P.* Pollution from farms // *Effluent and water Treat. J.*, 1980, 20, № 2, p. 61, 63–65.

111. *Wijewardena J.D.H., Gunaratne S.P.* Heavy metal contents in commonly used animal manure // *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture*, 2004, v. 6, p. 245–253.

112. *Wong J.W.C., Ma K.K., Fang K.M., Cheung C.* Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong // *Bioresour. Technol.*, 1999, 67, p. 43–46.