

УДК 631.862.2:502

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, СОДЕРЖАЩИМИСЯ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКАХ

*П. Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук*

*РУП «Институт мелиорации»,  
г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Рассматривается влияние утилизации отходов свиноводческих комплексов на содержание тяжелых металлов в различных типах почв. Приведены предельно (ПДК) и ориентировочно (ОДК) допустимые концентрации этих металлов. Делается вывод о зависимости подвижности соединений от применяемых реагентов при их определении. Наряду с содержанием тяжелых металлов вблизи животноводческих комплексов в грунтовых водах необходимо определять ХПК (химическое потребление кислорода), а также содержание аммония и нитратов.

**Ключевые слова:** медь, цинк, марганец, свинец, кадмий, валовые и подвижные формы, жидкие органические удобрения.

### Abstract

**P. Ph. Tivo**

### ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY METALS CONTAINED IN LIVESTOCK MANURES

The influence of recycling pig-breeding wastes on the contents of heavy metals in the different types of soils is examined. The maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible concentrations (APC) of these metals are given. It is concluded that the content of the mobility of the compounds depends on the reagents used in their determination. Along with heavy metals, in the vicinity of livestock-breeding complexes it is necessary to determine the COD (chemical oxygen demand), as well as the concentration of ammonium and nitrates in groundwater.

**Keywords:** copper, zinc, manganese, lead, cadmium, gross and movable forms, liquid organic fertilizers.

### Введение

Загрязнение природной среды нередко связывают с проблемой нитратов. Никто не спорит, что качество овощей или картофеля, а также кормов резко ухудшается из-за высокой концентрации этих соединений, хотя оно может снижаться и по другим причинам. Недаром в странах Запада проблема нитратов как бы «отходит» на задний план, уступая место тяжелым металлам и пестицидам. Это обусловлено тем, что последние многократно опаснее нитратов, которые, если можно так сказать, находятся на периферии современной токсикологии [31, 34].

Интерес к тяжелым металлам особенно возрос после сообщений из японских источников о заболеваниях Минаматы и итай-итай. Причиной первого из них, как известно, стало употребление в пищу отравленной ртутью рыбы. При этом наиболее тяжелые случаи заболевания заканчивались параличом, слепотой, расстройством психики и речи. Младенцы подвергались интоксикации еще до появления на свет. Итог оказался печальным: умерли десятки людей, а еще больше продолжали болеть. Не менее опасна и болезнь итай-итай (в дословном переводе «ой-ой»), вызываемая отравлением кадмием. Заболевшие ею люди испытывали страшную боль в суставах, что и определило такое название. Весьма

токсичен и свинец [3, 6, 34]. С отравлением его соединениями нередко связывают слабоумие у детей и другие негативные последствия [32].

Может показаться странным, что к тяжелым металлам отнесены также марганец, цинк, медь, кобальт, молибден, известные под названием микроэлементы. Их физиологическая роль для организма животных и человека научно доказана. Эти элементы являются составной частью ферментативных систем. Они участвуют в переносе кислорода, энергии, передвижении электронов через мембраны клеток, влияют на синтез и передачу наследственной информации, т.е. являются незаменимыми в жизненно важных процессах. Недостаток или полное их отсутствие губительно сказываются на организме. Благодаря этому они нашли широкое применение в сельском хозяйстве и медицине. Их классификация зависит от концентрации: при дефиците в живых организмах эти соединения рассматриваются как микроэлементы, а при избытке – как тяжелые металлы. Иначе говоря, высокая концентрация любого элемента делает его опасным для всего живого. Не являются исключением кобальт, цинк, а также медь [4].

Но существует группа металлов, за которыми закрепилось только одно определение – «тяжелые»,

т. е. токсичные. Это прежде всего ртуть, кадмий, свинец и мышьяк, или, как их называют отдельные авторы, «большая четверка». Среди названных металлов особенно ядовиты для всего живого ртуть и кадмий, хотя и с остальными тоже не все так просто. В общем, «большая четверка», породила и большие экологические проблемы.

По степени опасности химические вещества подразделяют на три класса (согласно ГОСТ 17.4.1.02-83, переизданному в 2008 г.):

- 1 – вещества высокоопасные;
- 2 – вещества умеренно опасные;
- 3 – вещества малоопасные.

К первому классу относятся мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор. Ко второму – бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром. Третий класс включает барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций.

Однако нужно иметь в виду, что такое деление химических элементов в определенной степени условное. Следует согласиться с мнением [18] о том, что токсичность элемента не противоречит его биологической необходимости, и он при чрезвычайно малых концентрациях может стать полезным. Примерно такого же мнения придерживался в свое время и Б. А. Ягодин [37].

Из 92 встречающихся в природе химических элементов 81 обнаружен в организме человека. Микроэлементы Fe, I, Cu, Zn, Co, Mo, Ni, Se, Mn, As, F, Si, Li признаны эссенциальными, т. е. жизненно необходимыми. Элемент считается таковым, если при его отсутствии или при недостаточном содержании организм перестает расти и развиваться, не может осуществлять свой жизненный цикл, обнаруживает пониженную жизнеспособность [4].

Тяжелые металлы – часть природы. Они входят в состав горных пород, почв, пресных и морских вод, содержатся в растительных и животных организмах. Почему же они стали нашими врагами? Виной всему деятельность людей, значительно изменивших естественные потоки химических элементов. В итоге концентрация тяжелых металлов в окружающей среде постоянно растет. Значительную роль играют выбросы в атмосферу при сжигании топлива, прежде всего каменного угля. Причем на долю автотранспорта приходится в свое время основное количество выбросов свинца. Вносят свою долю в загрязнение заводы и фабрики, особенно гальваническое производство [8, 24].

Наряду с этим тяжелые металлы поступают в почву с атмосферными осадками, минеральными удобрениями, осадками сточных вод и различными компостами из бытового мусора. Свинец попадал на осушенные торфяники в результате внесения медьсодержащих промышленных отходов – пиритных огарков. Ртуть со-

держится в протравителе семян – гранозане, который еще недавно применялся в земледелии.

В определенной мере способствует накоплению тяжелых металлов в почве и растениях внесение бесподстилочного навоза [2, 12]. Объясняется это тем, что комбикорма обогащаются фосфатами, которые содержат в качестве примесей кадмий и другие элементы. Кроме того, в рацион животных, и прежде всего свиней, с целью повышения их продуктивности включаются медь и цинк. Через корма тяжелые металлы попадают в навозные стоки, а затем в почву и растениеводческую продукцию. Не лишены тяжелых металлов также обычный подстилочный навоз и известковые удобрения [5, 20, 25]. Словом, эти соединения распространены в природе гораздо шире, чем считалось ранее.

Содержатся тяжелые металлы также в пище, кормах и воде, для которых установлены их предельно допустимые концентрации (ПДК). Анализ отечественных и зарубежных литературных источников свидетельствует, что эти показатели в различных странах далеко не одинаковы. В большинстве случаев действующие в нашей республике ПДК соответствуют мировому уровню. При их разработке соблюдалось требование Всемирной организации здравоохранения об ограничении поступления с продуктами питания в течение недели свинца – до 3 мг, кадмия – 0,4–0,5, ртути – 0,3 мг, в то время как допустимая норма нитратов для взрослого человека – 1540 мг. Располагая такой информацией, читатель сам может сделать правильный вывод о токсичности тех или иных соединений. Что касается наших ПДК в почвах, то они более строгие, чем нормативы ряда зарубежных стран. Но прямые параллели не всегда правомерны, поскольку часть сельскохозяйственных угодий республики загрязнена радионуклидами. Совместное же действие последних с тяжелыми металлами особенно опасно.

При кажущейся ясности понятия «тяжелые металлы» однозначного его толкования в литературе пока нет. Так, в группу тяжелых металлов часто относят более 40 элементов с атомной массой свыше 50. Советский энциклопедический словарь включает сюда только цветные металлы с плотностью большей, чем у железа. Согласно В. А. Большакову с коллегами [1] – тяжелыми являются металлы с плотностью более 5 г/см<sup>3</sup>. Если исходить из последней цифры, то тяжелыми металлами следует считать 43 элемента. При этом наиболее низкую плотность имеет германий (5,36 г/см<sup>3</sup>), а самую высокую – осмий (22,48 г/см<sup>3</sup>).

Из 43 элементов 10 обладают не только металлическими, но и нематаллическими свойствами. К ним относятся теллур, мышьяк, сурьма, висмут, германий, олово, свинец, галлий, индий, таллий.

Исходя из экологических и токсиколого-гигиенических позиций, не все тяжелые металлы могут быть восприняты однозначно. По мнению И. М. Трахтенберга и др. [32], интерес представляют прежде всего те металлы, которые широко используются в производстве и в результате накопления во внешней среде представляют серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств, например кадмий [18]. Тем более, что, в отличие от органических поллютантов, большинство тяжелых металлов не подвержено микробиологической или химической деградации и способно накапливаться в почвах в течение длительного времени. Период полужизни в результате вымывания, потребления растениями, эрозии длится от 13 до 110 лет для кадмия, от 70 до 510 лет – для цинка. Чтобы это произошло для меди, потребуется 310–1500 лет, хотя самый долгодлительный здесь свинец [16]. Аккумуляция в почвах, проникновение в поверхностные и грунтовые воды, попадание в пищевые цепи могут сопровождаться токсичным воздействием на живые организмы.

Среди тяжелых металлов свинец характеризуется высокой токсичностью по отношению к живым организмам. Повышение концентрации этого элемента в почвах вызывает снижение интенсивности процессов минерализации соединений углерода и азота, нитрификации, азотфиксации, активности ряда ферментов. Уменьшается численность и биомасса микроорганизмов. Факультетом почвоведения Московского государственного университета совместно с Институтом гигиены воды, почвы и воздуха (Германия) проведены исследования на дерново-подзолистой суглинистой слабокультуренной почве с целью сравнения микробиологических и биохимических свойств в 4-х вариантах опыта: 1 – контроль; 2 – 125 мг Pb/кг почвы; 3 – 500 мг/кг; 4 – 2000 мг Pb/кг почвы, что соответствует низкому, среднему и высокому уровням загрязнения почв [13].

В этих исследованиях для всех групп бактерий отмечена тенденция снижения их численности в загрязненной почве. Под влиянием тяжелых металлов снижается интенсивность дыхания почв. В опыте под действием свинца вышеназванный показатель уменьшался на 30–60 % по сравнению с контролем. Ферментативная активность почв – чувствительный показатель загрязнения. При содержании свинца в почве в количестве 500 и 2000 мг/кг почвы дегидрогеназная активность почв снизилась соответственно в 2 и 4,5 раза по сравнению с контролем. Активность уреазы снизилась в загрязненной почве в 1,5–10 раз. Денитрифицирующая активность почв уменьшилась в 1,2–1,3 раза при наличии свинца в почве в количестве 125 мг/кг почвы и в 4 раза – при 500–2000 мг/кг почвы. Отрицательное влияние свинца проявилось на азотфиксирующей

активности почв. Отмечено снижение этого показателя в 2–6 раз при минимальном уровне свинца в почве (125 мг/кг), в 3–14 раз – при 500 мг/кг, в 8–35 раз – при максимальном содержании свинца (2000 мг/кг почвы).

Среди групп бактерий наиболее заметное снижение установлено для свободноживущих азотфиксирующих и олиготрофных. Остальные проанализированные виды бактерий (в т. ч. и целлюлозолитические) менее чувствительны к загрязнению почв свинцом. Не изменялась и численность спорообразующих бактерий. Исследования показали нарушение важнейших биохимических процессов в почве в результате загрязнения тяжелыми металлами, что приводит к снижению уровня ее плодородия.

### Основная часть

Отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют, что потенциально наиболее опасными для состояния биосферы могут быть органические удобрения, произведенные на основе бытовых и промышленных отходов (твердых бытовых отходов – ТБО; осадков сточных вод – ОСВ; стоков производственных и хозяйственно-бытовых). При неправильном их использовании в почву поступают многочисленные токсические соединения (табл. 1), остаточные количества дезинфицирующих, моющих, медикаментозных, полициклических органических синтетических веществ, болезнетворных микроорганизмов, жизнеспособных яиц гельминтов. Применение некачественно подготовленных органических удобрений на основе твердых бытовых отходов, ОСВ приводит к загрязнению не только почвы, но и грунтовых, поверхностных вод, атмосферного воздуха, снижению биологической ценности и величины урожая, повышению риска заболеваемости животных, человека. Негативный опыт использования различных видов удобрений, произведенных на основе ТБО, ОСВ, в настоящее время ставит под сомнение целесообразность их широкого использования в сельском хозяйстве с целью повышения плодородия почв. Согласно зарубежному опыту предпочтение будет отдаваться технологиям экологически безопасного захоронения ОСВ, ТБО, их утилизации в качестве источников энергии, для формирования ландшафтной эстетики городов. В ФРГ, к примеру, 50 % ОСВ используется в качестве источника энергии, более 10 % – в ландшафтном благоустройстве [28].

Потенциально опасными для окружающей среды могут быть традиционные органические удобрения, приготовленные с использованием экскрементов животных, птицы [27]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), экскременты определены как фактор передачи более 100 видов различных возбудителей

болезней животных, птиц, человека с большим сроком выживаемости (табл. 2). Экологи Европы полагают, что основной причиной образования азотсодержащих кислотных дождей является неудовлетворительная работа с навозом и пометом. В настоящее время в ряде европейских стран приняты законы о необходимости их хранения в закрытых накопителях анаэробного типа, обязательном внутрипочвенном внесении данных удобрений. Значительную опасность для экологической обстановки представляют содержащиеся в навозе остаточные количества дезинфицирующих веществ, различных медикаментозных препаратов, в основном антибиотиков, транквилизаторов, применяемых на фермах и особенно на крупных животноводческих комплексах, птицефабриках в целях санитарной обработки производственных помещений и профилактики заболеваний животных, птицы. Остаточные количества антибиотиков подавляют биологическую активность почвы, процессы гумусообразования. При насыщении почвы навозом от животных, прошедших лечение антибиотиками, ослабляется ее способность к самообеззараживанию. Обычно 90 % патогенных кишечных палочек в данных почвах являются суперрезистентными, устойчивыми к воздействию антибиотиков [28].

Во избежание загрязнения окружающей среды органические удобрения должны быть подготовлены и по своим химическим, физическим, токсиколо-

гическим, санитарно-ветеринарным, гигиеническим характеристикам соответствовать требованиям технических условий – нормативным документам, декларирующим единые требования к качеству производимых удобрений, методам их контроля, условиям хранения, транспортирования и применения. Нарушение регламентов применения органических удобрений может явиться причиной резкого обострения экологической ситуации. Наиболее широко распространенным нарушением технологий применения органических удобрений является их использование в необоснованно высоких дозах. В основном это касается бесподстилочного навоза, помета, ненормированное применение которых усиливает дегумификацию, эрозионные процессы в почве, повышает накопление в ней токсичных соединений, вызывает частичную или полную утрату плодородия почв, химическое и биологическое загрязнение земель, грунтовых, поверхностных вод, продукции растениеводства, воздушного бассейна [28].

В Российской Федерации общая площадь химически и биологически загрязненных земель в зонах расположения крупных животноводческих комплексов и птицефабрик превышает 2,2 млн га. Дегумификация почв вследствие нарушений технологий использования органических удобрений в настоящее время рассматривается в качестве одной из причин повышения в атмосфере концентрации парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CO), эмиссируемых сельхозугодьями [28].

Таблица 1 – Поступление на поверхность почвы тяжелых металлов в агроценозах, % [5]

Источник поступления ТМ	Pb	Zn	Cu	Cd	Ni	Cr
с минеральными удобрениями	4,5	2,4	8,4	5,4	3,4	11,2
с фосфоритованием	2,0	2,4	6,3	0,4	3,4	1,9
с известкованием	42,4	12,1	16,5	31,8	27,1	34,8
с органическими удобрениями	23,3	49,9	48,6	45,6	55,7	62,1
- из них с ОСВ	37,6	87,1	93,9	75,4	72,6	89,3
с атмосферными осадками	27,9	33,3	20,4	16,7	9,8	нет данных

Таблица 2 – Сроки выживаемости патогенных микроорганизмов, яиц гельминтов в навозе [27, 28]

Наименование микроорганизмов и яиц гельминтов	Срок выживаемости, лет, более
Микобактерии туберкулеза	25
Бациллы сибирской язвы	60
Сальмонеллы паратифов	2
Сальмонеллы брюшного тифа	3
Листерии	2
Вирус ящура	2
БГКП	2
Яйца аскарид	6,5
Яйца фасциол	2

Увеличение нагрузок на окружающую среду отмечается также при нарушении сроков внесения органических удобрений. В экологическом отношении наиболее опасным является несоблюдение требований зимнего внесения органических удобрений. При высоте снежного покрова более 20 см, температуре воздуха ниже -10 °С, на поля с беспокойным рельефом наблюдаются большие потери удобрений, загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Согласно исследованиям ВНИИА, ВНИИОУ вместе с талыми водами из органических удобрений теряется до 25 % азота, свыше 10 % фосфора, 15 % калия, наблюдается также загрязнение почв, артезианских питьевых источников болезнетворными микроорганизмами, яйцами гельминтов.

Умеренное же применение жидких органических удобрений не приводит к интенсивному загрязнению природной среды тяжелыми металлами, что подтверждается нашими исследованиями в Ивановском районе Брестской области. При этом установлено, что эти соединения преимущественно располагаются в пахотном слое (табл. 3). Причем отмеченная закономерность проявляется как на минеральных, так и на торфяных почвах.

Имеет значение и то, какой реагент используется для вытеснения тяжелых металлов из почвы. Меньше всего их извлекалось ацетатно-аммиачным буфером (табл. 4). Это, несомненно, надо учитывать при интерпретации результатов исследований различных авторов. То же нужно сказать и о сезонной динамике тяжелых металлов. В содержании железа, марганца и кадмия прослеживается максимум, совпадающий с осенним переувлажнением почв. В этот период их может быть в несколько раз больше, чем в другие сроки. Однако к середине осени снижается биологическая активность и наблюдается уменьшение содержания в почве подвижного железа, марганца и кадмия. Хорошо прослеживается весенний максимум цинка и меди. Наибольшее количество свинца приходится на начало лета [23]. Недоучет этого положения может исказить истинную картину в поведении таких элементов в почве.

В наших опытах на фоне  $N_{300}$  кг/га навозных стоков ежегодно вносилось кадмия – 8 г/га, цинка – 1180 и меди – 140 г. С учетом выноса урожаем и потерь в результате вымывания положительный баланс составил соответственно 5, 260 и 80 г. В итоге даже после 9-летнего орошения стоками их содержание в торфяно-глеевой почве практически не изменилось.

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в почвах в зоне влияния свинокомплекса [31]

Слой почвы, см	Cu	Zn	Pb	Cd
	мг/кг почвы			
Торфяно-глеевая почва				
0–20	4,9	15,0	6,5	0,32
20–30	2,3	5,6	2,6	0,20
30–50	1,4	1,3	1,5	0,10
Дерново-подзолистая супесчаная почва				
0–20	2,2	2,5	4,0	0,20
20–40	1,7	1,3	1,5	0,20
40–60	1,4	0,5	0,7	0,13
60–80	1,4	0,8	1,5	0,13

Таблица 4 – Группировка минеральных почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг [29]

Элементы	Группы и градации почв по содержанию тяжелых металлов					
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
Марганец (Mn)	200/50*	400/100	600/150	800/200	1000/250	1200/300
Хром (Cr)	30/10	60/20	90/30	120/40	150/50	200/60
Ванадий (V)	20 /10	40/20	60/30	80/40	100/50	120/60
Цинк (Zn)	15/5	30/10	45/15	60/20	75/25	90/30
Никель (Ni)	8/2	16/4	24/6	32/8	40/10	48/12
Медь (Cu)	7/1,5	14/3	21/4,5	28/6	35/7,5	42/10
Свинец (Pb)	5/0,8	10/1,5	15/2,3	20/3,2	25/4,0	30/4,8
Кобальт (Co)	3/0,6	6/1,2	9/1,8	12/2,4	15/2,8	18/3,6
Молибден** (Mo)	1/0,5	2/1,0	3/1,5	4/2,0	5/2,5	6/3,0

\* Перед косой чертой – растворимые в 1 М HCl вытяжке, за чертой – в ацетатно-аммонийном буфере (ААБ) с рН 4,8

\*\* Молибден определяется в оксалатной вытяжке по Григу

Более четкая тенденция к повышению количества ряда тяжелых металлов отмечена в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. На орошаемых полях ситуация осложнялась и наличием микрорельефа. По этой причине в микрозападинах возможно избыточное накопление различных соединений, в том числе свинца, кадмия и цинка. Следует иметь в виду, что сами по себе понижения обогащены илистыми частицами и органическим веществом, с которыми взаимодействуют тяжелые металлы. На таких участках как бы накладываются два процесса. Один из них природный, когда накопление различных элементов в понижениях происходит в результате многовекового смыва с повышений. Другой процесс связан с современным внесением удобрений, имеющих в качестве примесей тяжелые металлы.

Подобное имело место в отношении меди на торфяных почвах (рисунок). То же констатировали другие авторы применительно к свинцу [10]. Ими также установлено, что в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве содержание свинца (эстрагент ААБ) было почти в 1,8 раза ниже, чем при его определении в 1 М HCl вытяжке.

Поскольку уровень накопления химических элементов растениями в определенной мере коррелирует с количеством их в почве, считается целесообразным осуществлять нормирование тяжелых металлов в ней, с тем чтобы гарантировать получение гигиенически доброкачественной продукции. Нормирование содержания этих соединений в по-

чвах предусматривает установление их предельно допустимых концентраций (ПДК). Это означает такую концентрацию тяжелых металлов, которая при длительном воздействии на почву и растения не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов, а также исключает избыточное накопление сельскохозяйственными культурами токсических элементов [14–15].

Установить ПДК непросто, так как сама почва – сложное природное тело, важнейший компонент биосферы, взаимосвязанный с деятельностью растительного и животного миров. По мнению В. Г. Минеева [20], загрязнение почвы сопровождается существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности насекомых и дождевых червей. Отмечено также снижение ферментативной активности в почве. Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5–10 раз выше, чем незагрязненной почвы. От избыточного содержания тяжелых металлов больше страдают нитрификаторы, чем аммонификаторы. Многолетние исследования Г. А. Ниязовой и С. В. Летуновой [22] указывают на принципиальную возможность использования азотфиксирующей способности почв в качестве показателя для нахождения ПДК тяжелых металлов в почве.

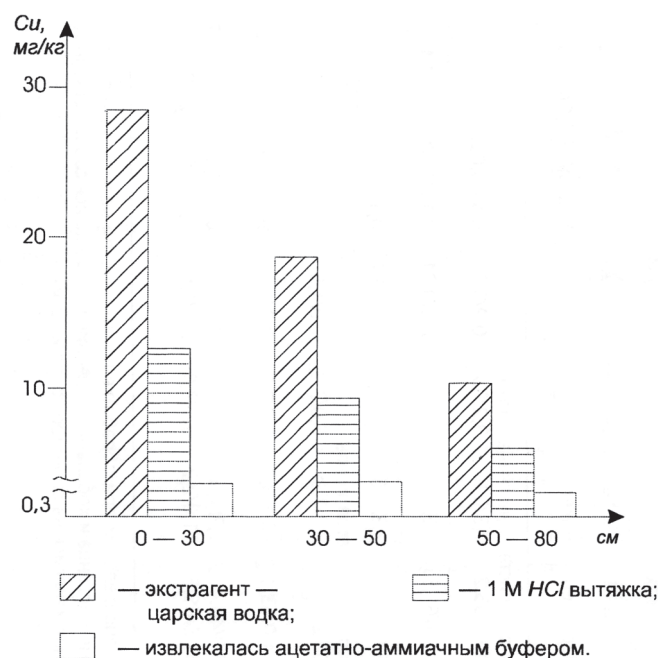


Рисунок. Содержание различных форм меди в торфяных почвах в зависимости от применяемых экстрагентов [31]

К. В. Григорян [11] на основе многочисленных полевых и лабораторных исследований и статистической обработки полученных данных предложил свою градацию степени загрязнения тяжелыми металлами. Согласно ей, к слабозагрязненным отнесены почвы, в которых активность фосфатазы по сравнению с незагрязненными вариантами уменьшается на 25 %, инвертазы – на 20 %, к среднезагрязненным, соответственно, на 25–45 и 20–50 %, к сильнозагрязненным – более чем на 45 и 50 %.

Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами иногда проводится в отношении их валового содержания в почве. Допустимые концентрации валовых соединений металлов приведены в нормативном документе [9].

Нормирование загрязнения по валовому содержанию этих элементов следует, очевидно, рассматривать как сугубо ориентировочное. Дело в том, что при равенстве валовых форм любого тяжелого металла в почве степень его подвижности или мобильности может быть разной. В результате этого в пищевую цепь поступит неодинаковое количество токсиканта. Более объективную оценку дает контроль их подвижных соединений. Но главная трудность здесь – выбор экстрагента. По мнению В. Б. Ильина [15], надо определять не столько условно доступное количество тяжелого металла (что достигается применением «мягких» растворителей), сколько его ближайший резерв. В последнем случае пригодны более «жесткие» экстрагенты. Такой подход позволяет предвидеть размер дополнительного поступления тяжелых металлов в растения при экстремальных условиях. Эта ситуация создается, к примеру, при выпадении кислотных дождей или

интенсивной минерализации гумуса, когда элемент-загрязнитель становится подвижнее. Наиболее подходит для таких целей 1 М раствор соляной кислоты. На основе этого экстрагента РУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработал соответствующие нормативы (табл. 5).

Наряду с тяжелыми металлами в почве, особенно в природных водах, необходимо контролировать другие показатели [17]. Выполненный мониторинг на территории ОАО «СГЦ «Западный»» Брестского района показал, что на полях орошения навозными стоками свинокомплекса, ХПК (химическое потребление кислорода) и содержание аммония в грунтовых водах превышали ПДК соответственно в 10 и 74 раза [7]. Не лучшая ситуация и на промышленном комплексе ОАО «Агрокомбинат «Калита»» (Киевская область), если судить по загрязнению грунтовых вод нитратами в зоне его действия [21]. Как в первом, так и во втором случаях основная причина этого – переудобренность почвы животноводческими стоками.

В странах же ЕС, особенно Дании, доза азота органических удобрений ограничивается 170 кг/га [30]. В России она дифференцирована следующим образом: для яровых зерновых и однолетних трав – 120–180 кг общего азота; сахарной свеклы – 200–300, столько же и для злаковых и злаково-бобовых многолетних трав; кукурузы на зеленый корм – 200–320; озимых зерновых – 120–140; столового картофеля – 120–200; озимых промежуточных культур – 100–120; кормовой свеклы – 200–320; орошаемого культурного пастбища – 300–360 кг/га [19]. Примерно такие же цифры называют и другие авторы [35].

Таблица 5 – Ориентировочно допустимые концентрации и предельно допустимые уровни тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах, мг/кг [26]

Тяжелый металл	Формы	Почвы		
		песчаные	супесчаные	суглинистые
Кадмий (ОДК)	Валовые	0,3	0,4	0,6
	Подвижные*	0,2	0,3	0,4
Свинец (ОДК)	Валовые	25	35	60
	Подвижные*	10	15	25
Медь (ПДУ)	Валовые	60	70	100
	Подвижные*	10	12	15
Цинк (ПДУ)	Валовые	50	60	80
	Подвижные*	14	16	18

\* 1 М НСІ

**Выводы**

1. Использование животноводческих стоков на орошение – важное водоохранное мероприятие и резерв интенсификации кормопроизводства. Навозные стоки, взаимодействуя с почвой, подвергаются очистке за счет процессов сорбции, механического, физико-химического, биологического поглощения и др. Однако при избыточных нормах нагрузки на поля орошения, превышающих самоочищающую способность почвы, возникает опасность загрязнения окружающей среды.

2. Чтобы исключить загрязнение почвы и грунтовых вод аммонием, нитратами и другими соединениями, необходимо строго контролировать нагрузку навозных стоков на почву. При использовании мобильного транспорта норма жидких органических удобрений в расчете на азот не должна в среднем по севообороту превышать 200 кг/га. На орошаемых злаковых травостоях ее можно увеличить примерно на 25–30 %.

3. Бесподстильный навоз нужно использовать в качестве удобрений лишь при отсутствии в нем патогенной, условно патогенной микрофлоры, а также гельминтов. Если придерживаться научно обоснованных норм полива, то исчезнут опасения по поводу загрязнения почв, природных вод и растений тяжелыми металлами и другими токсикантами.

4. Целесообразно применять на свинокомплексах менее водоемкие технологии навозоудаления, что снизит затраты на утилизацию отходов животных в земледелии и луговодстве. При этом в жидкой фракции бесподстильного навоза и стоков содержание азота составит не менее 500 мг [33], а не 250, как указывается в ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Верхний же предел концентрации общего азота в поливной воде такой: для многолетних бобовых трав и раннего возраста злаковых (спустя 2 месяца после всходов) – 1,0 г/л, кукурузы и зерновых – 0,8, корнеплодов и подсолнечника – 0,5, многолетних злаковых трав 2-го года и последующих лет жизни – 1,5 г/л.

Кроме того, поля утилизации животноводческих стоков не должны иметь высокую плотность корнеобитаемого слоя. В противном случае усилится подвижность тяжелых металлов в почве и их доступность растениям.

5. Будет способствовать экологизации земледелия и стимулирование работ по использованию бесподстильного навоза с учетом природоохранного эффекта, как это делается в Белгородской области Российской Федерации. Там сельскохозяйственным организациям доплачивается по 60 руб. за каждый кубический метр свиностоков, заделанных в почву инъектированием [36].

**Библиографический список**

1. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация / В. А. Большаков [и др.]. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1993. – 91 с.
2. Агроэкологические режимы и технологии использования стоков животноводческих комплексов при орошении малопродуктивных земель: монография / В. И. Желязко [и др.] // Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях – 2-е изд., дополн. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2015. – С. 217-297.
3. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
4. Аристархов, А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А. Н. Аристархов ; под ред. В. Г. Минеева. – М. : ЦИНАО, 2000. – 524 с.
5. Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв Московской области / С. С. Праздников [и др.] // Плодородие почвы и качество продукции при биологизации земледелия. – М. : Колос, 1996. – С. 305-320.
6. Бутовский, Р. О. Тяжелые металлы как техногенные химические загрязнители и их токсичность для почвенных беспозвоночных животных / Р. О. Бутовский // Агрехимия. – 2005. – № 4. – С. 73-91.
7. Влияние орошения сточными водами свиноводческих комплексов на биогенное загрязнение грунтовых вод (на примере ОАО «СГЦ «Западный»») / А. А. Волчек, О. Е. Чезлова, М. М. Дашкевич [и др.] // Мелиорация. – 2017. – № 2. – С. 51-58.
8. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – М. : Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. – 304 с.



9. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Минск, 2004. – 26 с.
10. Головатый, С. Е. Содержание миграционно активных форм свинца в дерново-подзолистых и торфяных почвах / С. Е. Головатый, Н. К. Лукашенко, З. С. Ковалевич // Экологический вестник. – 2010. – № 3. – С. 15-22.
11. Григорян, К. В. Методические указания по установлению степени загрязненности почв тяжелыми металлами / К. В. Григорян. – Ереван : Изд-во ЕрГУ, 1988. – 26 с.
12. Желязко, В. И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья: монография / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво, Ю. А. Мажайский. – 2-е изд., допол. и перераб. – Рязань : Мещерский ф-л Всерос. НИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.
13. Микробиологические и биохимические показатели загрязненной свинцом дерново-подзолистой почвы / Д. Г. Звягинцев [и др.] // Почвоведение. – 1997. – № 9. – С. 1124-1131.
14. Ильин, В. Б. О надежности гигиенических нормативов содержания тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Агрехимия. – 1992. – № 12. – С. 78-85.
15. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
16. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
17. Мажайский, Ю. А. Тяжелые металлы в экосистемах водосборов малых рек / Ю. А. Мажайский, Т. М. Гусева. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 138 с.
18. Мельничук, Ю. П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений / Ю. П. Мельничук. – Киев : Наук. думка, 1990. – 148 с.
19. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета : РД-АПК 1.10.15.02-17. – М., 2017. – 167 с.
20. Минеев, В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М. : Агропромиздат, 1990. – 287 с.
21. Нитратное загрязнение окружающей природной среды животноводческими стоками промышленного свиного комплекса в зоне Полесья / С. Э. Дегодюк [и др.] // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця / НАН Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут. – Брэст : Альтернатыва, 2012. – Выпуск 5. – С. 71-73.
22. Ниязова, Г. А. Новые критерии оценки ответных реакций микроорганизмов на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами / Г. А. Ниязова, С. В. Летунова // Известия АН СССР. Сер. биол. наук. – 1986. – № 2. – С. 250-259.
23. Обухов, А. И. Сезонная динамика и пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвах и почвенно-грунтовых водах / А. И. Обухов, А. А. Попова // Почвоведение. – 1992. – № 9. – С. 42-51.
24. Позняк, С. С. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель в зоне действия крупных промышленных центров : монография / С. С. Позняк. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2010. – 211 с.
25. Селюкова, С. В. Тяжелые металлы в органических удобрениях / С. В. Селюкова // Агрехимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 47-51.
26. Система применения удобрений : учебник / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапы. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.
27. Соколов, М. С. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству агрохимикатов при их государственной регистрации / М. С. Соколов, Г. А. Жариков, Л. М. Соколова // Агро XXI. – 2003. – № 1–6. – С. 138-142.
28. Тарасов, С. И. Актуальные вопросы загрязнения окружающей среды при использовании органических удобрений / С. И. Тарасов // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии : сб. науч. тр. – Владимир : ФГБНУ ВНИИОУ, 2015. – С. 284-294.
29. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 364 с.
30. Тиво, П. Ф. Опыт ряда стран по утилизации навоза и снижению выбросов аммиака / П. Ф. Тиво, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут // Мелиорация. – 2017. – № 1. – С. 62-69.

31. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск : ЮНИПОЛ, 1996. – 192 с.
32. Трахтенберг, И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты / И. М. Трахтенберг, В. С. Колесников, В. П. Луковенко. – Минск : Навука і тэхніка, 1994. – 285 с.
33. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия : ГОСТ 33830-2016. – Введ. РБ 01.01.2018. – Минск. 2017. – 16 с.
34. Шабунин, С. В. Экоотоксиканты, распространение, профилактика и лечение / С. В. Шабунин, В. И. Беляев, С. В. Бузлама // Ветеринария. – 2014. – № 7. – С. 3-8.
35. Экология применения органических удобрений / В. Г. Сычев, О. А. Соколов, А. А. Завалин, Н. Я. Шмырева. – М. : ВНИИА, 2017. – 336 с.
36. Югай, А. Стимулирование работ по восстановлению плодородия сельскохозяйственных земель России / А. Югай // Аграрная экономика. – 2015. – № 6. – С. 52-61.
37. Ягодин, Б. А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко ; под ред. Б. Я. Ягодина. – М. : Колос, 2002. – 584 с.

Поступила 25.01.2019