

УДК 631.4 : 549.281

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

С. В. Лукин

Среди множества экологических проблем, стоящих в настоящее время перед человечеством, одно из центральных мест занимает проблема загрязнения экосистем тяжелыми металлами (ТМ). Термин «тяжелые металлы» используется, когда речь идет об опасных для живых организмов концентрациях элемента с относительной атомной массой более 40.

По степени опасности ТМ подразделяются на три класса. К первому классу (высокоопасные вещества) относятся: Pb, Zn, Cd, As, Se, F; ко второму классу (умеренно опасные вещества) – В, Со, Ni, Мо, Cu, Cr, Sr. Малоопасные элементы Ва, V, W, Mn, Sr относятся к третьему классу. Наиболее вероятными загрязнителями окружающей среды считаются Pb, Zn, Cd, Cu, так как эти металлы широко используются в промышленности и на транспорте (Алексеев, 1987).

Источники поступления ТМ подразделяют на природные и техногенные. К природным источникам относится выветривание горных пород и минералов. Валовое содержание элементов в незагрязненных почвах обусловлено их содержанием в материнской породе. Знать фоновое содержание ТМ в почвах необходимо для оценки степени их загрязнения.

В качестве фонового содержания ТМ в почвах часто используются кларки по А. П. Виноградову (1957), однако условность такого подхода очевидна, поскольку даже в пределах одного региона разброс величин фонового содержания ТМ достаточно велик (табл.1).

Техногенные источники загрязнения почв ТМ могут быть расположены в следующий ряд по масштабам загрязнения и удельному вкладу: аэральные выбросы предприятий металлургии и энергетического комплекса, автотранспорт, жидкие и твердые бытовые отходы, включая осадки сточных вод (ОСВ), пестициды, минеральные удобрения (Кирюшин, 1996).

Загрязнение почвы может наблюдаться на значительном расстоянии от промышленных объектов. Например, на расстоянии 1 км от Новочеркасской ГРЭС содержание Cu и Pb превышает ПДК и только на расстоянии 20 км приближалось к фоновым значениям (Кизильштейн, Соборникова, 1987).

Автотранспортные загрязнения обнаруживаются, как правило, на расстоянии до 50-100 м от автотрассы. Результаты наших исследований свидетельствуют, что загрязнение пахотного слоя типичного чернозема ТМ закономерно уменьшается при увеличении расстояния с 5 до 60 м от автотрассы (табл. 2). На расстоянии более 60 м загрязнения почвы не отмечается. Наиболее сильно почвы придорожных экосистем загрязняются свинцом, что вполне объяснимо, поскольку доля загрязнений от автотранспорта в общем выбросе этого токсиканта составляет 60% (Овчаренко, 1997).

Однако, хотя содержание свинца в почве существенно превышает фон, оно в несколько раз ниже установленных в настоящее время ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) этого металла в тяжелосуглинистых почвах. Более серьез-

ную опасность представляет загрязнение почв кадмием, потому что это самый мобильный и токсичный ТМ, а его содержание в почве уже в настоящее время достигло или приближается к значениям ОДК.

При полиэлементном загрязнении почв степень загрязнения оценивается по величине суммарного показателя загрязнения (Z_c). Даже в непосредственной близости от автотрассы Москва – Симферополь величина Z_c не превышает 4,4. Для сравнения: в Харькове она составляет 33, в Екатеринбурге – 21.

Достаточно большие количества ТМ попадают в почву с ОСВ. Концентрация тех или иных ТМ в ОСВ имеет большую амплитуду, которая зависит от расположения очистных сооружений, характера промышленных стоков, времени года, способа обработки ОСВ. Безреагентный ОСВ Москвы содержит в среднем Pb, Zn, Cd, Cu, соответственно, 611, 4000, 91, 1600 мг/кг (Овчаренко, 1997). Результаты исследований Г. Е. Мерзлой и др. (1994), Н. Т. Чеботарева (1997), Е. М. Никифоровой (1998) свидетельствуют, что при систематическом внесении ОСВ повышается содержание ТМ в почве и растениеводческой продукции. В настоящее время в России обнаружены сельскохозяйственные угодья, загрязненные ТМ вследствие применения очень высоких доз ОСВ. Для того чтобы как-то нормировать поступление тяжелых металлов в почву с ОСВ, во многих странах устанавливаются ограничения на их содержание. Норму внесения ОСВ устанавливают, исходя из содержания ТМ в почве, их ОДК и концентрации ТМ в ОСВ.

Тяжелые металлы могут поступать в почву с некоторыми пестицидами. Например, трихлорфенолятом меди, медным купоросом, хлорокисью меди, цинебом, цирамом. Однако расход пестицидов небольшой, поэтому они не представляют серьезной опасности как источник загрязнения почв ТМ. Только препараты меди, которые часто используются для защиты виноградников, могут представлять реальную угрозу для загрязнения почвы (Алексеев, 1987).

Среди источников возможного техногенного загрязнения почв и растений ТМ иногда рассматриваются минеральные удобрения. Однако, основываясь на содержании ТМ в отечественных удобрениях и их вносимых дозах, многие ученые В. Г. Минеев (1994), В. И. Кирюшин (1996), М. М. Овчаренко (1997) и др. считают, что опасность загрязнения почв ТМ, поступающими из удобрений, крайне мала. Как правило, в длительных стационарных опытах с минеральными удобрениями не отмечается повышения содержания ТМ в почве (Богомазов, 1994; Постников и др., 1994).

В настоящее время в России выявлено почв, загрязненных свинцом, цинком, кадмием и медью выше ОДК, соответственно: 519, 326, 184 и 1416 тыс. га (Кузнецов, 1997). В Белгородской области выявлено около 7 тыс. га пашни, где содержание кадмия превышает ОДК. По мнению А. П. Щербакова и И. И. Васенева (1996), сохранение современной тенденции накопления тяжелых металлов приведет к массовому загрязнению черноземов в течение ближайших 50-150 лет.

Сохранить почву в нативном состоянии в современных условиях практически невозможно, так как вся поверхность земного шара в той или иной мере подвержена воздействию антропогенных продуктов. Следовательно, вопрос состоит не в том, чтобы иметь чистую почву, а в том, чтобы уровни содержания ТМ антропогенного происхождения находились в почвах сельскохозяйственного использования в количествах, не приводящих к негативным последствиям. Уровень содержания ТМ в растениях, величина их урожая с различной степенью тесноты коррелируют с содержанием ТМ в почвах (Овчаренко, 1997). Поэтому наиболее важной задачей является нормирование ТМ в почве, которое предусматривает установление их предельно допустимых концентраций (ПДК). Сельскохозяйственные растения являются промежуточным звеном, через которое ТМ попадают из почвы в организм человека. Если при выращивании сельскохозяйственных культур на почве, содержащей ТМ, их концентрация

в растениях в фазу технической спелости меньше ПДК, установленной для продуктов питания, то такую почву можно считать условно чистой, а содержание ТМ в ней будет характеризовать уровень, не достигший предельного значения. Такой подход к определению ПДК является наиболее целесообразным, однако практическое осуществление

идеи выражения ПДК тяжелых металлов в почве через качество растительной продукции оказывается трудновыполнимым. Связано это с тем, что загрязнение конкретного вида растений ТМ определяется не только его содержанием в почве, но зависит от многих факторов (свойств почвы, применения удобрений и т.д.).

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах с pH > 5.5 Белгородской области
(Авраменко, Лукин, 1998)

Район	Цинк		Кадмий		Медь		Свинец	
	Среднее значение, мг/кг	Ошибка среднего, ± мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ошибка среднего, ± мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ошибка среднего, ± мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ошибка среднего, ± мг/кг
Алексеевский	58,9	2,60	0,88	0,025	15,2	0,42	18,7	0,81
Борисовский	23,9	0,60	0,69	0,040	11,1	0,36	17,5	1,60
Валуйский	34,9	0,80	0,69	0,061	14,4	0,33	18,5	0,61
Вейделевский	74,2	1,40	0,73	0,046	17,6	0,41	22,4	0,87
Грайворонский	33,0	1,45	0,40	0,016	10,8	0,29	15,8	0,40
Губкинский	50,0	1,82	0,66	0,038	12,5	0,22	12,9	0,23
Ивнянский	28,5	1,88	0,70	0,035	11,8	0,31	14,4	0,58
Краснояржский	26,4	0,93	0,43	0,049	9,8	0,20	13,7	0,67
Красненский	70,9	2,95	0,86	0,038	15,5	0,50	20,1	1,45
Ракитянский	27,0	1,22	0,57	0,026	18,0	0,64	11,3	0,37
Ровеньской	67,8	2,02	0,78	0,045	15,7	0,42	22,3	0,90
В среднем по области	45,0	5,95	0,67	0,047	13,9	0,85	17,1	1,13
* ОДК	110,0		1,00		66,0		65,0	
** ОДК	220,0		2,00		132,0		130,0	
Кларк	50,0		0,50		20,0		10,0	

* ОДК для глинистых и суглинистых почв с pH_(кел) < 5,5;

** ОДК для глинистых и суглинистых почв с pH_(кел) > 5,5.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почве придорожной экосистемы, мг/кг
(Белгородский район, автотрасса Москва-Симферополь, 1999)

Расстояние от трассы, м	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Суммарный показатель загрязнения, Zc
5	1,23	22,0	44,9	19,8	44,9	13,8	22,5	4,44
10	1,15	20,6	44,3	18,8	43,3	13,3	22,5	3,83
15	1,15	19,9	43,6	18,8	43,3	12,8	20,0	3,55
20	1,00	19,3	43,5	17,8	43,3	12,8	20,0	3,11
30	0,70	13,5	42,8	17,8	41,6	12,8	20,0	1,96
40	0,70	13,5	39,9	17,3	41,6	12,3	17,5	1,67
Фон, 60-200	0,45	13,5	39,0	17,3	41,6	11,3	17,5	1,00

К свойствам почвы, которые существенно влияют на накопление ТМ в растительной продукции, относятся: реакция среды, гранулометрический состав, емкость катионного обмена, содержание органического вещества и подвижного фосфора. Реакция среды в почве является важнейшим фактором, определяющим токсичность ТМ и их вероятное накопление в растительной продукции. При реакции среды в интервале рН 6,0-6,5 большинство ТМ образуют труднорастворимые соединения в виде карбонатов. Содержание фосфатов в почве, по своему действию на доступность растениям ТМ, аналогично влиянию реакции среды. С ростом содержания в почве подвижных соединений фосфора увеличивается содержание труднодоступных для растений фосфатов ТМ. Малодоступные комплексные соединения ТМ образуются с органическим веществом почвы, поэтому на почвах с высоким содержанием гумуса опасность накопления ТМ в растениях меньше, чем на почвах с низким содержанием гумуса.

Прямое влияние на подвижность ТМ оказывает гранулометрический состав почвы. На глинистых и суглинистых почвах токсичность ТМ проявляется слабее, чем на песчаных и супесчаных, что связано с большей удерживающей способностью илистой фракции. Минералогический состав глинистой фракции и содержание органического вещества определяют емкость катионного обмена. С ростом обменной емкости катионов возрастает удерживающая способность почв в отношении ТМ.

В большинстве случаев, при разработке ПДК или ОДК ориентируются на валовое содержание ТМ в почве. Однако многие исследователи считают, что для определения ПДК в первую очередь следует руководствоваться подвижными формами ТМ, поскольку валовое содержание ТМ характеризует общую загрязненность почвы и не отражает степень доступности элемента для растений, а концентрация подвижных форм характеризует наиболее мобильную, доступную для растений часть запасов ТМ в почве.

Таблица 3

Концентрации подвижных (ААБ с рН 4,8) форм Pb, Zn, Cd в черноземе типичном, при которых происходит загрязнение растениеводческой продукции выше ПДК и МДУ, мг/кг (Лукин, 1999)

Растение	Часть растения	Pb	Zn	Cd
<i>Превышение ПДК для пищевых продуктов</i>				
Картофель	клубни	51	>180	0,7
Горох	зерно	19	>180	0,7
Пшеница	зерно	24	92	0,7
Ячмень	зерно	39	103	2,0
<i>Превышение МДУ для кормов</i>				
Картофель	клубни	>73	>180	>2,3
Сахарная свекла	корнеплоды	>73	>180	>2,3
	ботва	>73	>180	1,6
Горох	зерно	>73	>180	>2,3
	солома	22	>180	>2,3
Кормовая свекла	корнеплоды	>73	>180	2,2
	ботва	>73	>180	1,2
Кукуруза на силос		>73	>180	>2,3
Озимая пшеница	зерно	>73	92	2,2
	солома	>73	>180	0,7
Ячмень	зерно	>73	103	>2,3
	солома	>73	114	>2,3
Люцерна	сено	55	74	1,0

Наличие утвержденных уровней ПДК и ОДК не снимает проблемы нормирования содержания ТМ в почвах. Условность рекомендуемых нормативов, их слабую научную проработку отмечают многие исследователи (Ильин, 1997; и др.). Например, утвержденные в настоящее время ПДК подвижных, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером (ААБ) с рН 4.8, форм цинка и свинца в почве составляют 23 и 6 мг/кг соответственно. Однако, исследования, проведенные на черноземе типичном, свидетельствуют, что за ПДК подвижных форм цинка и свинца следует принять значения 74 и 19 мг/кг. Утвержденного значения ПДК подвижного кадмия в настоящее время нет; по нашим данным, величину данного норматива можно установить на уровне 0.7 мг/кг (Лукин, 1999).

Загрязнение почв тяжелыми металлами относится к необратимым видам деградации. Практически невозможно снизить валовое содержание ТМ в загрязненных почвах, однако можно значительно снизить их подвижность и сделать менее доступными для растений. Среди основных приемов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, выделяют: известкование, внесение органических и фосфорных удобрений, применение цеолитов, глинование, подбор устойчивых сельскохозяйственных растений.

Наиболее простым и эффективным способом ведения земледелия на почвах, загрязненных ТМ, является подбор сельскохозяйственных растений, устойчивых к накоплению ТМ. На высококультурных почвах с $pH > 5.5$ это практически единственный способ избежать загрязнения сельскохозяйственной продукции, поскольку другие приемы детоксикации на таких почвах малоэффективны. Уровни содержания подвижных форм Pb, Zn и Cd в черноземе типичном, при которых продукция основных сельскохозяйственных культур накапливает ТМ выше ПДК, установленных для продовольственного сырья, и максимально допустимых уровней (МДУ), установленных для кормов, представлены в табл. 3.

1. Авраменко П. М., Лукин С. В. Тяжелые металлы в почвах Белгородской области // *Агрохимический вестник*. 1998. № 5. С. 13-14.

2. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. 142 с.

3. Богомазов Н. П. Эколого-агрохимическая эффективность удобрений на выщелоченных черноземах: Автореф. дис... д-ра с.-х. наук. М.: ВИУА, 1994. 45 с.

4. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 237.

5. Ильин В. Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 1997. № 11. С. 65-70.

6. Кизильштейн Л. Я., Сборникова И. Г. Влияние промышленного загрязнения на содержание тяжелых металлов в почвах окрестностей г. Новочеркаска. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1987. 11 с.

7. Кирюшин В. И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.

8. Кузнецов А. В. Контроль техногенного загрязнения почв и растений // *Агрохимический вестник*. 1997. № 5. С. 7-9.

9. Лукин С. В. Эколого-агро-химические основы адаптивных систем земледелия для эрозийно-опасных и загрязненных тяжелыми металлами агроландшафтов в ЦЧР России: Автореф. дис... д-ра с.-х. наук. М.: ВИУА, 1999. 46 с.

10. Мерзлая Г. Е., Лежнина А. А., Нестерович И. А., Савенюк Л. М. Содержание тяжелых металлов и нитратов в растениях ежи сборной в зависимости от доз осадков сточных вод // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах: Материалы науч.-практ. конф. 21-24 декабря 1992 г. М.: 1994. С. 261-269.

11. Минеев В. Г. Проблема тяжелых металлов в земледелии. Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах: Материалы науч.-практ. конф. 21-24 декабря 1992 г. М.: 1994. С. 5-11.

12. Никифорова Е. М. Тяжелые металлы в антропогенно-деградированных почвах Восточного Подмосковья. Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: Тезисы и доклады Всероссийской конференции. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1998. Т. 2. С. 174-175.

13. Овчаренко М. М. и др. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. М.: ЦИНАО, 1997. 290 с.

14. Постников А. В., Чумаченко И. Н., Кривопуст Н. Л. Влияние различных форм фосфорных удобрений на плодородие и накопление тяжелых металлов в почвах и растениях // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах: Материалы науч.-практ. конф. 21-24 декабря 1992 г. М.: 1994. С. 54-65.

15. Чеботарев Н. Т. Влияние осадков сточных вод на свойства дерново-подзолистой почвы и ее продуктивность // Проблемы антропогенного почвообразования: Тезисы докладов Междунар.

конф. 16-21 июня 1997 г. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1997. Т. 3. С. 190-193.

16. Щербаков А. П., Васенев И. И. Агрэкологическое состояние почв ЦЧО. Курск, 1996. 326 с.

УДК 591.111:636.5

РЕАКЦИЯ СИСТЕМЫ ЭРИТРОНА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ НА ВВЕДЕНИЕ В РАЦИОН ГИДРОАЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОРБЕНТА

Е. А. Липунова, А. А. Беляева

Одна из важнейших особенностей живого организма – его способность поддерживать относительное постоянство физиологических и биохимических констант при широком диапазоне изменений условий окружающей среды. К методам, позволяющим объективно оценить физиологическое состояние и степень напряжения обменных процессов, относится исследование крови (1). Система крови, сформировавшаяся в эволюции как механизм объединения функциональных систем, принимает непосредственное участие в специфических и неспецифических реакциях организма, влияя на его резистентность и реактивность. Кровь, реагируя изменением своего состава и свойств на различные воздействия, которым в процессе жизни подвергается организм, служит надежным критерием его состояния (2). Способность организма к поддержанию гомеостаза является важной характеристикой его возможностей реализации адаптивного потенциала в ответ на угрозу нарушения устойчивости внутренней среды под влиянием повреждающих факторов (2).

Основная масса клеток крови представлена эритроцитами – высоко специализированными клетками, составляющими периферическое звено системы эритрона. Эритроциты, наиболее тонкий продукт биологической конструкции, хорошо приспособлены для выполнения специфических функций: осуществляют транспорт

респираторных газов, активно участвуют в регуляции кислотно-щелочного состояния организма, абсорбции токсинов и антител, в ферментативных процессах и иммунологическом ответе. Поэтому изменения морфологических и функциональных свойств эритроцитов периферической крови тесно связаны с ответной реакцией организма на различные воздействия внешней среды, с его способностью адаптироваться.

Существует мнение оценивать эритроциты с позиции теории автономного управления, в которой состав циркулирующей крови рассматривается как объект регулирования, органы кроветворения и кроверазрушения – как исполнительный механизм и управляющая их активностью нервная система – как аппарат регулирования (3). Поскольку динамические свойства эритроцитарного звена отражают поведение системы эритрона в целом, то многие ее особенности могут быть выявлены посредством изучения динамики эритроцитарной популяции и ее свойств после каких-либо воздействий (3).

В последние годы с ростом техногенного загрязнения агроценозов тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами особую актуальность приобретают разработка и внедрение в животноводческую отрасль технологий, ограничивающих переход экотоксикантов в организм сельскохозяйственных животных и получаемую от них продукцию. В этом плане широко ис-