

ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОЭКОЛОГИЯ

Известия ТСХА, выпуск 2, 2001 год

УДК 631.459:631.465

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В СИСТЕМЕ ПОЧВА — РАСТЕНИЕ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

Г. И. БАЗДЫРЕВ, Н. Б. ПРОНИНА, Д. Р. РОДРИГЕС

(Кафедра земледелия и методики полевого опыта,
кафедра с.-х. биотехнологии, кафедра экологии и БЖД)

Изучали изменение содержания тяжелых металлов в почве и растениях в зависимости от почвозащитной технологии, насыщения гербицидами, элементов склона, метеорологических условий года и биологических особенностей выращиваемой культуры (пшеница, овес). Показано, что уровень ТМ в почве, как правило, не достигает ПДК, а их содержание в исследованных растениях в некоторых вариантах превышало ПДК, что зависело от видовой специфики пшеницы и овса.

Создание экологически безопасного сельскохозяйственного производства с целью получения экологически чистой продукции для человека и животных является очень важной проблемой для многих стран. Это связано с тем, что антропогенное и техногенное влияние на почвы, водные ресурсы, растения и другие компоненты биосфе-

ры в большинстве стран мира превышает допустимые нормы [1, 7, 9, 12, 17, 18, 20, 25].

В Центральном районе Нечерноземной зоны России 66% пашни находится на склонах круче 1°, т. е. в условиях эрозионного стресса. Из 19,9 млн га сельскохозяйственных угодий эродировано 3,4 млн га, из них 2,5 млн га пахотных земель. Среднегодовой

сток талых вод составляет 90–100 мм, а годовой смыв почвы — 21,8 млн т (6 т/га).

Недобор растениеводческой продукции достигает 1,8 млн ц корм. ед. (5,2 ц/га). Наибольший ущерб от эрозии наблюдается в Орловской, Тульской, Рязанской, Московской и Калужской областях, где баланс гумуса, за исключением почв Московской области, — отрицательный [13, 14, 15]. В существующих зональных системах земледелия наименее разработаны звенья почвозащитной природоохранной обработки почвы, касающиеся применения средств защиты растений, оптимизации питательного режима почвы, а также агрохимических, экологических и фитосанитарных свойств склоновых земель. Среди экотоксикантов, оказывающих неблагоприятное воздействие на экологическую ситуацию в почве, следует назвать наряду с азотсодержащими вредными соединениями и тяжелые металлы (ТМ). В условиях комплексной химизации возрастающие масштабы хозяйственной деятельности человека, промышленное производство, транспорт, а также агропромышленный комплекс существенно влияют на природную среду, приводя к широкому рассеиванию, миграции и локальному накоп-

лению химических элементов. Поэтому контроль и мониторинг уровня загрязнения пахотных земель и растениеводческой продукции вредными для человека и животных элементами в повышенных концентрациях представляется актуальной проблемой. Особое внимание эти вопросы заслуживают в условиях комплексной химизации, когда на растения и почву влияют и удобрения, и пестициды, и различные технологии обработки почвы и т. д. Многие из химикатов содержат тяжелые металлы, которые, поступая в почву и растения, способны существенно изменить их экологический статус.

К токсичным микроэлементам относятся химические элементы с атомной массой свыше 50, обладающие свойствами металлов и металлоидов (кадмий, свинец, никель, цинк, медь, ртуть и др.). При высоких концентрациях этих элементов в почвенном растворе угнетаются все живые организмы, в том числе и растения, находящиеся в агроценозе. Тяжелые металлы токсичны и для людей. Под токсичностью тяжелых металлов следует понимать не просто их присутствие в продуктах питания, а избыточную концентрацию. В связи с этим и для тяжелых металлов введено понятие о пре-

дельно допустимой концентрации (ПДК), которая не оказывает вредного действия и не отражается на здоровье человека и животных.

Все источники поступления токсичных элементов объединяются в две группы: природные и техногенные. К первым относятся выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы и вулканическая деятельность. Техногенные источники загрязнения почв тяжелыми металлами, мышьяком, фтором можно расположить с учетом масштабов загрязнения и удельного вклада следующим образом:

Аэральные выбросы предприятий черной и цветной металлургии (наиболее мощный источник загрязнения)

**I
Автотранспорт**

Жидкие и твердые бытовые коммунальные отходы, включая осадки сточных вод (ОСВ)

Пестициды, органические удобрения, минеральные удобрения

Известно, что с минеральными удобрениями в почвенную среду поступают тяжелые металлы, а с некоторыми из них — и радио-

нуклиды, содержащиеся в агрудах.

По данным ЦИНАО, количество тяжелых металлов в фосфорных удобрениях, производимых в России, колеблется в значительных пределах в зависимости от видов и форм удобрений и составляет в среднем (в г д.в./т): медь — 127, цинк — 164, кадмий — 3, свинец — 34, никель — 92, хром — 121. Азотные и калийные туки загрязнены токсическими микроэлементами в меньшей степени. Помимо тяжелых металлов в фосфорных удобрениях содержатся естественные радионуклиды, например, стронций.

На Долгопрудненской агрохимической опытной станции проводили изучение накопления в почве ТМ, токсичных элементов (ТЭ) и их подвижность в условиях длительного применения фосфорных удобрений на известкованной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве [16, 20, 24, 26]. Систематическое применение балластных и концентрированных удобрений в течение 20 лет и фосфоритной муки различных месторождений в течение 8 лет не оказало существенного влияния на валовое содержание в почве тяжелых металлов и токсичных элементов, но привело к увеличению подвижности в ней некоторых ТМ

и ТЭ. Содержание подвижных и водорастворимых форм в почве возросло примерно в 2 раза при систематическом применении всех изученных форм фосфорных удобрений, составляя, однако, только 1/3 ПДК. Количество подвижного стронция возросло в 4,5 раза в почве, получавшей простой суперфосфат. Внесение сырых фосфоритов Кингисеппского месторождения привело к увеличению содержания в почве подвижных форм (ацетатно-аммонийный буфер, рН 4,8): свинца — в 2 раза, никеля — на 20%, хрома — на 17%, что составило соответственно $\frac{1}{4}$ и 7_{10} ПДК. Эти данные свидетельствуют о том, что даже очень длительное применение фосфорных удобрений не привело к повышению уровня ПДК в почве ни по валовым, ни по подвижным формам ТМ. В то же время эти данные говорят о том, что нормирование ТМ в почве недостаточно обосновано и должно быть дополнено данными о содержании подвижной формы, которая отражает как химические свойства самих металлов, так и свойства почвы, на которой выращиваются растения.

На базе длительного опыта в Чашниково (МГУ) было показано, что создание оптимальных условий для роста и развития растений способ-

ствует существенному снижению содержания подвижных форм свинца и кадмия в почве (на фоне органо-минеральных удобрений и извести). При систематическом внесении азотно-калийных удобрений из-за повышения кислотности раствора и снижения содержания подвижного фосфора в почве удваивается концентрация подвижных соединений свинца и никеля и в 1,5 раза увеличивается содержание кадмия [19].

В число загрязнителей окружающей среды входят тяжелые металлы, пестициды, ряд производных углерода, серы, азота, фтора, жидкие углеводороды, синтетические органические вещества, радионуклиды и другие вредные вещества [6, 25].

Согласно действующему в России ГОСТ, химические вещества, попадающие в почву из выбросов, сбросов и отходов, по степени опасности подразделяются на 3 класса: высокоопасные — мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, фтор, бензопирен; умеренно опасные — бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром; малоопасные — барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенол.

При всем многообразии поступающие в почву техногенные вещества можно

объединить по степени воздействия в 2 группы. Назовем их (с некоторой долей условности) «педохимически активные» и «биологически активные» вещества.

Интенсивные технологии выращивания сельскохозяйственных культур, предусматривающие применение удобрений, пестицидов, извести, которые во многих случаях являются источниками тяжелых металлов, с одной стороны, способствуют получению высоких урожаев, но, с другой, могут изменить содержание микроэлементов в почве, нарушить их баланс в агроценозе. Поэтому как с экологической, так и с экономической точек зрения целесообразнее предупреждать неблагоприятные изменения почвы, чем выполнять дорогостоящие работы по ее восстановлению.

В данной работе мы попытались выяснить роль минимальной и обычной почвозащитных обработок почвы и системы гербицидов в изменении содержания тяжелых металлов в системе почва — растение на склоновых землях. Были поставлены задачи: определить группы маркерных тяжелых металлов в почве и сравнить их с соответствующими ПДК; рассчитать Z_c — суммарный показатель содержания ТМ в поч-

ве, используя полученные аналитические данные и расчетный коэффициент K_c , равный отношению абсолютного содержания ТМ в почве к фоновому; оценить с помощью коэффициента Z_c экологическую ситуацию в почве склонов по 4-балльной системе; определить содержание ТМ в зерне озимой пшеницы (1998 г.) и зерне овса (1999 г.) и сравнить аналитические показатели с ПДК для зерна; рассчитать коэффициент биологического поглощения, равный отношению содержания ТМ в зерне к содержанию ТМ в почве и представить ряды интенсивности поглощения (РИП) для изученных вариантов.

Методика

Исследования выполнены в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области. Опыт заложен в 1997 г. в севообороте во времени: ячмень (1978) + травы — травы (1979) — озимая пшеница (1980) — овес (1981). Экспозиция склона южная с крутизной $3,5^\circ$. Экологические факторы: А — минимальная и обычная обработка почвы, В — система гербицидов, С — элементы склона.

Верхняя часть склона представлена в основном дерново-слабо- и среднеподзолистыми среднесуглинисты-

ми почвами, у которых частично смыт гумусовый горизонт А, нижняя часть — преимущественно намытыми дерново-подзолистыми почвами тяжелого гранулометрического состава (иловатопылеватые суглинки, подстилаемые мореной). Система удобрений рассчитана с учетом агрохимической характеристики пахотного слоя на положительный баланс питательных элементов и планируемую урожайность ячменя — 4,0 т, многолетних трав — 8 т сена, озимой пшеницы — 5 т, овса — 3 т. Исходная агрохимическая характеристика пахотного слоя следующая: С — 0,79%; гумус — 1,36%; общий азот — 0,13%; P_2O_5 — 14 мг/100 г; K_2O — 14,6 мг/100 г; $pH_{КС}$ — 6,34; гидролитическая кислотность — 2,4 мг-экв/100 г; сумма обменных оснований — 14,6 мг-экв/100 г [2—5, И, 29]. Технология выращивания сельскохозяйственных культур — общепринятая для зоны. Использовали сорта озимой пшеницы и овса, включенные в Реестр сортов и рекомендованные к выращиванию в центре России.

Варианты применения гербицидов следующие: 1 — без гербицидов, 0%; 2 — насыщенные гербицидами 50% (в 2 полях севооборота); 3 — насыщенные 100% (во всех 4 полях севооборота). В отдельные

годы использовали базагран, аминную соль 2,4-Д, глин, 2М-4ХП, лонтрел, диален, прометрин, 2М-4Х, дифезан, смесь 2,4-Д и глина в рекомендованных дозах.

Содержание тяжелых металлов в растениях и почве определяли в экстрактах на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-4 по методике ЦИНАО [19]. Отбор образцов и учет урожая проводили по общепринятым методикам.

Результаты

Содержание тяжелых металлов в почве

Известно [8, 9, 10], что природные уровни микроэлементов в почвах различных природных зон и областей, а в пределах последних — в различных почвообразующих породах существенно различаются. Даже на территории одного района почвы геохимически автономных ландшафтов на водоразделах и почвы геохимически подчиненных ландшафтов речных долин и депрессий значительно различаются по содержанию элементов [8—10, 13, 14].

Неоднородность исходного геохимического фона необходимо учитывать при определении степени опасности загрязнения почв микроэлементами: для одних почв уровень

содержания микроэлементов уже близок к критическому, для других он настолько низок, что даже некоторое добавление микроэлементов с пылью или осадками может иметь уже положительный эффект (как, например, в песчаных бедных почвах или почвах на сильно выщелоченных древних корках выветривания).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что главными факторами подвижности микроэлементов в почвах являются кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия [7, 16, 17]. Подвижные в кислых почвах стронций, барий, медь, кадмий становятся слабоподвижными и неподвижными в нейтральных и щелочных почвах. Наоборот, молибден, ванадий, мышьяк, хром, никель (неподвижные и слабоподвижные в кислых почвах) в щелочной среде переходят в растворимые и крайне токсичные формы. Группа слабоподвижных элементов наиболее обширна в нейтральных почвах, несколько меньше — в кислых и сильно уменьшается в щелочных за счет перехода части элементов (барий, кобальт) в нерастворимые и части элементов (хром, никель, молибден) — в более растворимые формы.

В литературе опубликовано достаточное количество статей по определению ТМ в почве, но нам неизвестны работы о накоплении ТМ в почве склоновых земель. В наших исследованиях во многих случаях варианты по содержанию ТМ различались незначительно (табл. 1). Различия в содержании Cd и Си в верхней части склона существенны только по одному варианту (4-й и 3-й соответственно), разница по содержанию Pb и Zn достоверна во всех вариантах, за исключением 5-го. В нижней части склона лишь по содержанию Pb обнаружены достоверные различия между всеми вариантами, а по остальным металлам наблюдается следующая закономерность: существенные различия по количеству Cd установлены при минимальной обработке почвы и 50 и 100% насыщении гербицидами и в отсутствие гербицидов при вспашке. По содержанию Zn и Си достоверность различий была одинаковая: во всех трех вариантах со вспашкой (10—12) возрастание концентрации ТМ оказалось существенным.

Необходимо отметить, что за контроль в данной серии опытов принят 1-й вариант, где проводилась минимальная обработка почвы и ни на

Т а б л и ц а 1

Содержание ТМ в почве (мг/кг)

Вариант*	1998 г.				1999 г.			
	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	0,17	15,5	13,17	3,50	0,06	4,8	12,4	6,8
2. — » — 50%	0,18	10,67	10,80	3,30	0,14	5,6	12,7	6,2
3. — » — 100%	0,17	10,30	11,57	2,90	0,04	4,4	10,0	6,4
4. Вспашка, 0%	0,22	10,90	15,57	3,50	0,05	5,0	10,3	5,6
5. — » — 50%	0,16	11,86	13,47	3,40	0,02	5,3	10,2	7,0
6. — » — 100%	0,16	10,67	11,77	3,30	0,10	6,3	11,0	6,5
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	0,18	11,37	12,86	3,50	0,08	6,0	13,2	6,8
8. — » — 50%	0,15	10,77	14,06	3,90	0,16	7,3	12,3	6,3
9. — » — 100%	0,15	10,60	12,36	3,67	0,20	6,7	14,1	7,2
10. Вспашка, 0%	0,19	11,43	14,26	4,30	0,18	6,6	13,6	6,9
11. — » — 50%	0,17	11,07	14,57	4,30	0,20	6,8	13,5	7,0
12. — » — 100%	0,16	9,77	10,96	4,26	0,22	8,0	12,3	6,3
Относительная ошибка средней, %	3,5	3,16	2,28	3,10	2,93	2,58	3,58	3,36
НСР ₀₅	0,018	1,04	0,86	0,33	0,01	0,46	1,27	0,65

* Здесь и в других таблицах варианты — обработка почвы и % гербицидов.

одном из полей севооборота не применялись гербициды. Данные об изменении содержания ТМ по отношению к этому контролю представлены в табл. 2. Так, при 100% насыщении гербицидами содержание ТМ во всех вариантах ниже по сравнению с 50% насыщением и вариантом 1, где гербициды не применяли. На основании полу-

ченных данных можно высказать очень осторожное предположение, что в присутствии гербицидов в почве все 4 исследуемые ТМ, считающиеся маркерными, становятся менее подвижными и менее экстрагируемыми. Микроэлементы Zn и Si обладают наибольшей способностью формировать комплексы с физиологически активными

Таблица 2

Содержание ТМ в почве (мг/кг воздушно-сухой почвы)
(1998 г., возделываемая культура озимая пшеница
Мироновская 808)

Вариант	Cd	% к контр.	Pb	% к контр.	Zn	% к контр.	Cu	% к контр.
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	0,17	100	15,1	100	13,2	100	3,5	100
2. — » — 50%	0,18	105,8	10,7	69,0	10,8	81,8	3,3	94,2
3. — » — 100%	0,17	100	10,3	66,4	11,6	87,8	2,9	82,8
4. Вспашка, 0%	0,22	129,4	10,9	7,3	15,6	118,1	3,5	100
5. — » — 50%	0,16	94,1	11,9	76,7	13,5	102,2	3,4	97,1
6. — » — 100%	0,16	94,1	10,7	69,0	11,8	89,3	3,3	94,2
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	0,18	105,8	11,4	73,5	12,9	97,7	3,5	100
8. — » — 50%	0,15	88,2	10,8	69,6	14,1	106,8	3,9	111,4
9. — » — 100%	0,15	88,2	10,6	68,3	12,4	93,9	3,7	105,7
10. Вспашка, 0%	0,19	111,7	11,4	73,5	14,3	108,3	4,3	122,8
11. — » — 50%	0,17	100	11,1	71,6	14,6	110,6	4,5	128,5
12. — » — 100%	0,16	94,1	9,8	63,2	11,0	83,3	4,2	120

соединениями, в том числе и с пестицидами.

Как известно, предельно допустимая концентрация вредных химических веществ — это максимальная массовая доля загрязняющего почву химического вещества, в том числе ТМ, которая прямо или косвенно не влияет на окружающую среду и здоровье человека, включая отдаленные последствия. Определение ПДК в почвах является сложной задачей и в настоящее время она решена лишь в первом приближении.

На основе полученного аналитического материала (табл. 3) выяснилось, что ни в одном из вариантов содержание ТМ не только не превышало ПДК, а составляло в зависимости от варианта 6,0–24%. Этот факт согласуется с литературными сведениями о том, что даже через 100 и более лет уровень ТМ в почве не достигает ПДК [22—25].

В настоящее время в нашей стране уровни загрязнения тяжелыми металлами на большинстве посевных площадей не представляют ре-

Содержание ТМ в почве в расчетных долях от ПДК* (%)

Вариант	1998 г.				1999 г.				Среднее за 2 года			
	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu
<i>Верх склона</i>												
1. Минимальная, 0%	17,5	25,9	22,1	7,1	6,0	8,0	20,6	13,6	11,8	16,9	21,4	10,4
2. — » — 50%	18,5	17,9	18,0	6,6	14,0	9,3	21,1	12,4	16,2	13,6	19,6	9,5
3. — » — 100%	17,5	17,1	19,4	5,9	4,0	7,3	16,6	12,8	10,8	12,2	18,0	9,4
4. Вешка, 0%	14,0	17,6	20,1	7,2	5,0	8,3	17,1	11,2	9,4	12,9	18,6	9,2
5. — » — 50%	17,0	17,8	20,2	7,8	2,0	8,8	17,0	14,0	9,5	13,3	18,6	10,9
6. — » — 100%	12,0	17,8	21,3	8,4	10,0	10,3	18,5	13,0	11,0	14,0	19,9	10,7
<i>Низ склона</i>												
7. Минимальная, 0%	19,0	19,0	24,2	6,9	8,0	10,0	22,0	13,6	13,5	14,5	23,1	10,2
8. — » — 50%	16,5	18,5	20,2	6,7	16,0	12,2	20,5	12,6	16,2	15,4	20,3	9,6
9. — » — 100%	19,0	18,5	24,0	7,3	2,0	11,1	23,5	14,4	10,5	14,8	23,7	10,8
10. Вешка, 0%	19,0	19,0	23,8	8,6	18,0	11,0	22,6	13,6	18,5	15,0	23,2	11,1
11. — » — 50%	17,0	18,5	24,3	9,0	2,0	11,3	22,5	14,0	9,5	20,5	23,4	11,5
12. — » — 100%	16,0	16,3	18,3	8,4	22,0	13,3	20,5	12,6	19,0	14,8	19,4	10,5

* ПДК (мг/кг почвы) составляют: по Cd - 1,0; Pb - 60,0; Zn - 60,0; Cu - 50,0 [23, 25].

альной опасности. Ученые подсчитали, что при использовании средних доз минеральных и органических удобрений содержание тяжелых металлов в почве может достигнуть действующих значений ПДК лишь за сотни лет. Нормирование загрязнения по каждому отдельному элементу имеет существенный недостаток, поскольку не учитывается суммарное негативное действие нескольких элементов, каждый из которых присутствует в токсичных концентрациях. При этом может проявляться антаго-

нистическое или синергическое взаимодействие веществ [27, 28]. В настоящее время исследователи пользуются суммарными показателями загрязнения, представляющими собой сумму значений коэффициентов концентрации, т. е. отношений реальной концентрации каждого элемента к фоновому значению. За фоновое содержание ТМ в почвах приняты величины, рассчитанные с учетом литературных данных [6, 8, 19, 24] и региона исследования. В табл. 4 приведены данные по Кс, рассчитанные при

Т а б л и ц а 4

Отношение содержания ТМ в почве к их фоновому содержанию (коэффициент концентрации Кс)

Вариант	Cd		Pb		Zn		Cu	
	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	1,16	0,40	4,14	1,28	9,39	8,79	1,74	3,3
2. — » — 50%	1,23	0,93	2,86	1,49	7,65	9,0	1,61	3,03
3. — » — 100%	1,16	0,26	2,74	1,17	8,26	7,10	1,44	3,13
4. Вспашка, 0%	0,93	0,33	2,82	1,33	8,58	7,30	1,76	2,74
5. — » — 50%	1,13	0,13	2,85	1,41	9,00	7,23	1,91	3,43
6. — » — 100%	0,80	0,66	2,85	1,65	9,07	7,80	2,05	3,18
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	1,26	0,53	3,04	1,60	10,31	9,36	1,69	3,3
8. — » — 50%	1,10	1,06	2,97	1,94	8,61	8,72	1,64	3,10
9. — » — 100%	1,26	1,33	2,96	1,78	10,24	10,0	1,78	3,52
10. Вспашка, 0%	1,26	1,20	3,04	1,76	10,14	9,64	2,10	3,33
11. — » — 50%	1,13	1,33	2,96	1,81	10,35	9,57	2,20	3,43
12. — » — 100%	1,06	1,46	2,61	2,13	7,80	8,72	2,05	3,08
Фоновое содержание	0,15		3,75		1,41		2,04	

использовании метода ЦИ-
НАО [14]. На величину K_c
оказали влияние факторы (А,
В, С), а также биологические
особенности культур (1998 г.
— озимая пшеница, 1999 г. —
овес) и метеорологические ус-
ловия вегетационного перио-
да. Для научных и практиче-
ских целей необходимо знать
не только коэффициенты
концентрации по отдельным
элементам, но и суммарный
показатель загрязнения.

Суммарный показатель за-
грязнения (Z_c) определяется
по формуле

$$Z_c = K_c i - (n - 1),$$

где $K_c i$ — коэффициент кон-
центрации металла, равный
частному от деления массо-
вой доли i -го элемента в за-
грязненной и фоновой почвах;
 n — число определяемых
ингредиентов. Специалисты
ЦИНАО предложили схему
оценки почв сельскохозяй-
ственного использования по
степени загрязнения хими-
ческими веществами с уче-
том суммарного показателя
 Z_c (табл. 5).

Определение Z_c за оба года
исследований показало, что
во всех вариантах опытная
величина оказалась ниже
стандартной, что позволило
нам оценить экологическую
ситуацию в почве опытных
полей как допустимую и, со-
гласно градации, приведен-
ной в табл. 5, рекомендовать

высевать здесь любые куль-
туры при контроле уровня
фитотоксичности почв.

Если судить по данным
табл. 6, «слабыми» сигнала-
ми экологического неблагопо-
лучия могут быть многие ва-
рианты нижней части скло-
на, особенно варианты с
обычной обработкой почвы
при 0 и 50% насыщении гер-
бицидами. Самыми благопри-
ятными в экологическом пла-
не оказались варианты 4, 5,
6 в верхней части склона
(1999 г.) и вариант 12 в оба
года исследований, где при-
менялась вспашка, а насыще-
ние гербицидами было 100%.
Вполне возможно, что в ни-
жней части склона, несмот-
ря на высокое насыщение
гербицидами, действовал за-
кон биологического разбавле-
ния, поскольку показатели
влажности почвы в этом ва-
рианте были значительно
выше, чем в других вариан-
тах.

Тяжелые металлы в растениях

Растения различных видов
обладают неодинаковой спо-
собностью аккумулировать
токсичные микроэлементы,
однако биоаккумуляция эле-
ментов подчиняется опреде-
ленной закономерности. На
основании литературных
данных [20, 22], в настоящее
время некоторые элементы
по способности проникать в

Таблица 5

Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования по степени загрязнения химическими веществами (Метод, указания ЦИНАО, 1992; [14])

Категория почв по степени загрязнения	Суммарный показатель загрязнения (Zс)	Загрязненность относит. ПДК	Возможное использование почв	Необходимые мероприятия
1. Допустимая	<16,0	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Можно использовать под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения
2. Умеренно опасное	16,1–32,0	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателе вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Можно использовать под любые культуры при условии контроля качества продукции растениеводства	Мероприятия, аналогичные категории 1. Контроль этих веществ в поверхностных и подземных водах
3. Высокоопасная	32,1–128,0	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Можно использовать под технические культуры без получения из них продуктов и кормов с содержанием токсикантов выше ПДК	Мероприятия, аналогичные категории 1. Обязательный контроль за содержанием токсикантов в продуктах и кормах
4. Чрезвычайно опасная	>128,0	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК по всем показателям вредности	Исключить из сельскохозяйственного использования	Мероприятия, аналогичные категории 1. Контроль почвы, воды, атмосферы

Таблица 6

Оценка загрязнения почвы по коэффициенту Zc

(в числителе — 1998 г.,
в знаменателе — 1999 г.)

Вариант	Zc	Доля от нормы*, %
<i>Верх склона</i>		
1. Минимальная, 0%	<u>13,43</u> 10,77	<u>83,9</u> 67,3
2. — » — 50%	<u>10,35</u> 11,45	<u>64,7</u> 71,6
3. — » — 100%	<u>10,60</u> 8,66	<u>66,2</u> 54,1
4. Вспашка, 0%	<u>11,9</u> 8,70	<u>74,4</u> 54,4
5. — » — 50%	<u>1189</u> 9,20	<u>74,3</u> 57,5
6. — » — 100%	<u>11,77</u> 10,29	<u>73,6</u> 64,3
<i>Низ склона</i>		
7. Минимальная, 0%	<u>13,30</u> 11,79	<u>83,1</u> 73,7
8. — » — 50%	<u>11,32</u> 11,82	<u>70,8</u> 73,9
9. — » — 100%	<u>13,24</u> 13,63	<u>82,8</u> 85,2
10. Вспашка, 0%	<u>13,54</u> 12,90	<u>84,6</u> 80,6
11. — » — 50%	<u>13,64</u> 13,14	<u>85,2</u> 82,1
12. — » — 100%	<u>10,52</u> 12,39	<u>65,8</u> 77,4

* За норму принимается величина Zc = 16,0 (см. табл. 5).

растения распределяются на следующие группы: легко поглощаются — кадмий, цезий, рубидий; средне поглощаются — цинк, молибден,

медь, свинец, серебро, мышьяк и кобальт; слабо поглощаются — марганец, никель, хром, бериллий и сурьма; трудно поглощаются — селен, железо, цинк, барий и теллур.

По сравнению с другими культурами озимая пшеница и овес отличаются высоким предельным содержанием, например, свинца (0,20 мг/кг); для сравнения в растениях томата предельное накопление этого металла составляет 0,07-0,10 мг/кг сырой массы, в растениях ревеня — 0,04 [22].

Содержание минеральных элементов в растениях значительно варьирует в зависимости от многих условий: доступности и концентрации макро- и микроэлементов в среде (почва, питательные растворы); уровня кислотности среды; условий влажности, температуры, аэрации в зоне корней; возраста растений и анализируемого органа.

Зависимость относительно содержания того или иного минерального элемента в растении от уровня его доступности в питательной среде имеет форму кривой насыщения. Она хорошо прослеживается при выращивании растений на субстратах с возрастающими концентрациями солей. Резистентность растений к токсичным мик-

розэлементам определяется их физиолого-биохимическими особенностями, а количество поступивших в них токсиантов существенно зависит от содержания их водорастворимых или подвижных форм в почвенном растворе, причем для разных металлов эти закономерности различаются.

Во многих случаях увеличение концентрации элементов в среде не приводит к возрастанию их относительного содержания в растении, так как увеличивающееся поглощение элементов до определенного уровня стимулирует обмен веществ растений, в ходе которого изменяется и компартментализация элементов. Приведем несколько примеров. Так, при увеличении концентрации элементов в растворе содержание свинца в растениях возрастает в несколько раз медленнее, чем кадмия. Намечается такая закономерность у тяжелых металлов: по мере роста концентрации элемента в почвенном растворе больше всего в тканях накапливается кадмия, затем идут цинк и медь; меньше всего скорость аккумуляции свинца [20]. Полученные в наших опытах ряды интенсивности поглощения тяжелых металлов несколько иные, чем по данным [20]. Об этом речь пойдет дальше.

Поступление ТМ в растения зависит существенно от реакции среды. При изменении рН почвы от 4,5 до 7,0 снижается содержание кадмия, цинка, свинца в растениях свеклы в 5—10 раз при самом высоком их количестве в почве. При рН 7,0 и содержании в почве цинка 500 мг/кг корнеплоды свеклы соответствовали санитарно-гигиеническим нормам, а при рН 4,5 и той же концентрации цинка в почве уровень этого металла в корнеплодах превышал ПДК более чем в 4 раза. Отсюда вытекает, что действие реакции среды может быть более сильным, чем концентрация тяжелых металлов [20].

К настоящему времени в литературе нет достаточных данных о накоплении и фитотоксичности тяжелых металлов в растениях. Известно, что больше всего металлов накапливается в корнях, затем можно поставить в ряд стебли, зерно, корне- и клубнеплоды. Наиболее легко поглощаются и накапливаются в съедобных частях растений такие элементы, как цинк, кадмий, марганец, молибден. Как уже упоминалось ранее, поглощение свинца, ртути, хрома довольно ограничено [12, 20, 30].

В литературе все чаще появляются сведения о том, что на загрязненных тяжелыми

металлами почвах содержание их в растениях может возрасти в несколько раз, особенно если фоновое содержание этих элементов в результате антропогенных нагрузок многократно увеличивается. Как правило, даже в загрязненных почвах уровень токсичных микроэлементов не достигает ПДК, а содержание этих токсикантов в продукции может превышать ПДК в десятки раз [6, 7, 16, 23, 24]. Пока накоплено мало сведений о механизме устойчивости растений к тяжелым металлам, но известны условия, влияющие на скорость поступления и фитотоксичность металлов. Известно также, что при переносе катионов в растениях очень важную роль выполняют эндогенные вещества растительной клетки, способные образовывать так называемые хелаты — комплексные соединения, в которых атом металла связан ковалентными связями с лигандами, или хелатообразующими группами. Например, в молекуле протопорфирина IX атом железа, а в молекуле хлорофилла атом магния связаны ковалентными связями с 4 пиррольными группами через атомы азота. Кроме хлорофиллов и ферментов лигандообразующими свойствами обладают ди- и трипептиды растений типа цистеина, глутатиона,

активному участию которых в иммобилизации тяжелых металлов в растениях некоторые исследователи придают большое значение [7, 8, 30].

В литературе нет сведений о концентрации ТМ в растениях, выращенных в условиях почвенной эрозии. Полученные нами данные о содержании ТМ в зерне озимой пшеницы и овса представляют теоретический и практический интерес.

Установлено, что наряду с видовой специфичностью растений в отношении накопления тяжелых металлов существуют и определенные общие закономерности. Например, наиболее высокое содержание ТМ обнаружено в зеленых и силосных культурах, а наименьшее — в бобовых, злаковых и технических культурах.

Тяжелые металлы, поступая в растения в небольшом количестве и становясь участниками метаболизма, включаются в состав ферментов и выполняют сервисные функции в обмене веществ [7]. Поведение каждого ТМ в растениях и почве следует рассматривать по отдельности, с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур и почвенно-агрохимических условий. Согласно полученным результатам (табл. 7), как правило, в зерне овса больше

накапливается кадмия, свинца и меди, чем в зерне пшеницы. Эти данные совпадают с литературными сведениями о том, что по причине своих биологических особенностей растения овса обладают большой способностью аккумулировать свинец и медь. Имеются указания на то, что растения овса поглощают эти элементы в 2,0—2,5 раза активнее, чем, например, растения картофеля [8, 23, 27, 28].

Озимая пшеница. Содержание Cd и Zn в зерне при выращивании в нижней части склона больше, чем в верхней; по свинцу четкой закономерности не обнаружено, а содержание меди в нижней части склона значительно меньше, чем на верху склона, и прежде всего в варианте с обычной вспашкой. Особенно заметно накопление меди в варианте со 100% насыщением гербицидами. Здесь, вероятно, сказывается действие одного из компонентов дифезана — сульфонилмочевина, которая способствует развитию корневой системы растений, интенсивно поглощающей ионы меди. Изменение содержания Cd, Pb, Си во всех вариантах в нижней части склона достоверно, а Zn в половине вариантов не существенно.

Овес. Содержание Cd, Pb, Си в зерне овса значительно

выше, чем в зерне пшеницы. Наши данные согласуются с литературными [7, 8, 16]. В подавляющем большинстве вариантов все различия по содержанию Cd, Pb и Си в овсе, выращенном в нижней части склона, оказались достоверными.

Особо следует обратить внимание на результаты по содержанию Zn в зерне исследуемых растений. В [31] в опытах с дихлофопметилом показано, что этот гербицид индуцировал дефицит данного элемента растениями. В наших исследованиях данные о содержании Zn в зерне пшеницы и овса, выращенных на различных участках склона, в большинстве вариантов оказались недостоверными. Вполне возможно, что здесь, как и в случае накопления меди, определенную роль сыграла сульфонилмочевина, входящая в состав дифезана.

С 1986 г. официально установлены предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в продовольственном сырье и пищевых продуктах, в том числе и для зерновых культур (в мг/кг сухой массы): Pb — 0,5(0,3); Cd — 0,1(0,03); Си — 10,0; Zn — 50,0. В скобках указаны ПДК в продовольственном сырье, предназначенном для производства детских и диетических продуктов [8, 27]. По

Таблица 7

Содержание ТМ в зерне озимой пшеницы (1998 г.) и овса (1999 г.) в условиях эрозийного стресса (кг/кг сухой массы)

Вариант	Cd		Pb		Zn		Cu	
	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	0,050	0,060	0,46	0,58 (1,16)	30,4	20,37	4,7	9,11
2. — » — 50%	0,040	0,048	0,34	0,76 (1,52)	29,0	24,3	5,0	9,36
3. — » — 100%	0,060	0,072	0,33	0,53 (1,06)	28,2	17,4	4,7	9,07
4. Вспашка, 0%	0,050	0,060	0,41	0,80 (1,60)	28,4	13,4	4,8	8,67
5. — » — 50%	0,040	0,048	0,35	0,62 (1,24)	24,5	13,2	8,6	15,71 (1,57)
6. — » — 100%	0,050	0,060	0,32	0,74 (1,48)	30,0	19,9	15,6	27,68 (2,77)
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	0,080	0,098	0,36	0,77 (1,54)	33,1	24,1	4,1	7,96
8. — » — 50%	0,050	0,072	0,29	0,79 (1,58)	32,0	19,9	3,9	6,30
9. — » — 100%	0,160	0,192	0,41	1,04 (2,08)	33,2	26,8	3,4	5,62
10. Вспашка, 0%	0,060	0,072	0,25	0,58 (1,16)	26,9	18,3	2,9	4,56
11. — » — 50%	0,070	0,084	0,33	0,84 (1,68)	30,8	20,2	3,8	5,88
12. — » — 100%	0,060	0,072	0,30	0,99 (1,98)	31,6	25,2	3,5	5,73
ПДК	0,10	0,10	0,50	0,50	50,0	50,0	10,0	10,0
Относительная ошибка средней, %	3,07	2,96	3,17	2,91	2,06	1,87	3,71	2,72
НСР ₀₅	0,006	0,007	0,032	0,06	1,79	1,11	0,58	0,77

* В скобках указано, во сколько раз содержание ТМ в зерне превышает ПДК.

**Изменение содержания ТМ в зерне озимой пшеницы (1998 г.)
и овса (1999 г.) под действием экологических факторов**
(доли к ПДК, %)

Вариант	Cd		Pb		Zn		Cu	
	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	50,0	60,0	92,0	116,0	60,8	40,7	47,0	91,1
2. — » — 50%	40,0	48,0	68,0	152,0	48,6	50,0	93,6	
3. — » — 100%	60,0	72,0	66,0	106,0	56,4	34,8	47,0	90,7
4. Вспашка, 0%	50,0	60,0	82,0	160,0	56,8	26,8	48,0	86,7
5. — » — 50%	40,0	48,0	70,0	124,0	49,0	26,4	86,0	157,1
6. — » — 100%	50,0	60,0	64,0	148,0	60,0	39,8	156,0	276,8
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	80,0	98,0	72,0	154,0	66,2	48,2	41,0	79,6
8. — » — 50%	60,0	72,0	58,0	158,0	64,0	39,8	39,0	63,0
9. — » — 100%	160,0	192,0	72,0	208,0	66,4	53,6	34,0	56,2
10. Вспашка, 0%	60,0	72,0	50,0	116,0	53,8	36,6	29,0	45,6
11. — » — 50%	70,0	84,0	68,0	168,0	61,6	40,4	38,0	58,8
12. — » — 100%	60,0	72,0	60,0	198,0	63,2	50,5	35,0	57,3

нашим данным, во всех вариантах содержание Cd в зерне овса составляло большую долю к ПДК, чем в зерне пшеницы (табл. 8). Заслуживает внимания вариант 9, где при использовании почвозащитной технологии и 100% насыщении гербицидами уровень Cd в зерне пшеницы и овса превышал ПДК соответственно в 1,6 и 1,9 раза. Содержание Pb в зерне овса во всех вариантах больше ПДК, причем в верхней части склона оно колебалось от 106,0 до 160%, в ниж-

ней — от 116,0 до 208,0%. Zn в зерне овса накапливалось меньше, а Си больше по сравнению с ПДК. Особенно много меди содержалось в зерне овса, выращенного в верхней части склона при обычной обработке почвы, причем наблюдалась четкая зависимость от степени насыщенности гербицидами: при 25% уровень Си превысил ПДК в 1,6 раза, а при 100% — в 2,7 раза. У овса доля Zn к ПДК оказалась во всех вариантах ниже, чем для растений пшеницы.

Таблица 9

Коэффициент биологического поглощения (1998-1999 гг., %)

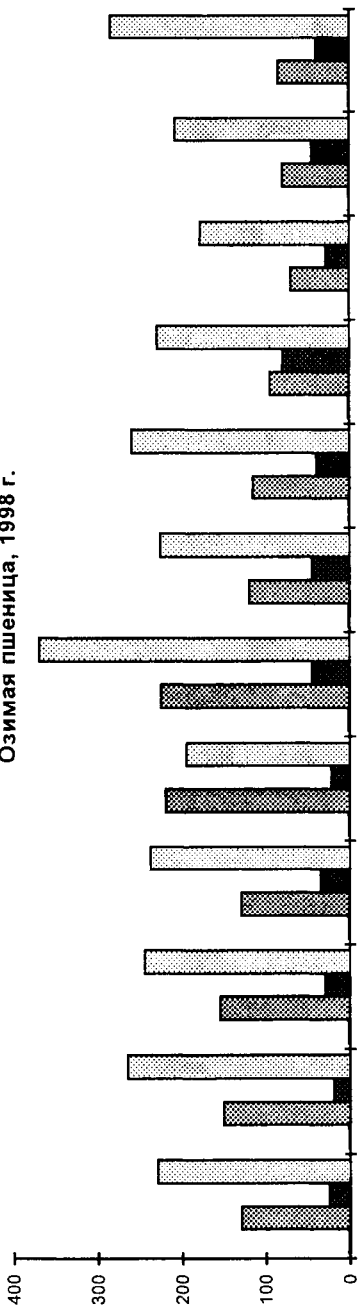
Вариант	Pb		Cu		Cd		Zn	
	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.	1998 г.	1999 г.
<i>Верх склона</i>								
1. Минимальная, 0%	2,9	12,1	132,3	134,0	28,5	100,0	229,4	164,3
2. — » — 50%	3,1	13,6	151,5	151,0	21,6	34,28	268,5	191,3
3. — » — 100%	3,2	12,0	195,3	141,7	34,2	180,0	242,0	271,9
4. Вспашка, 0%	3,8	16,0	133,3	154,8	35,7	120,0	234,7	239,3
5. — » — 50%	3,2	11,7	220,5	224,8	23,5	240,0	192,9	188,6
6. — » — 100%	2,9	11,7	371,1	425,8	41,6	60,0	234,3	306,2
<i>Низ склона</i>								
7. Минимальная, 0%	3,1	12,8	118,8	117,0	42,1	120,0	227,4	354,4
8. — » — 50%	2,6	10,8	116,4	100,0	36,3	45,0	263,3	315,9
9. — » — 100%	3,6	15,5	93,1	78,0	84,2	96,0	229,7	372,2
10. Вспашка, 0%	2,1	8,8	68,4	66,1	31,5	40,0	188,1	265,2
11. — » — 50%	3,0	12,4	84,4	84,0	41,1	42,0	210,9	289,3
12. — » — 100%	3,0	12,4	83,3	91,0	37,5	32,7	287,2	400,0

На основе полученных материалов были вычислены коэффициенты биологического поглощения (КБП), равные отношению содержания ТМ в зерне к их содержанию в почве (табл. 9). КБП для определенного вида растений варьируют в зависимости от элемента и экологических условий среды. Наибольшие значения КБП отмечены для цинка и меди, что свидетельствует об их высокой биологической активности. Высокое значение КБП имеет также кадмий. Это объясняется, по-видимому, тем, что его мета-

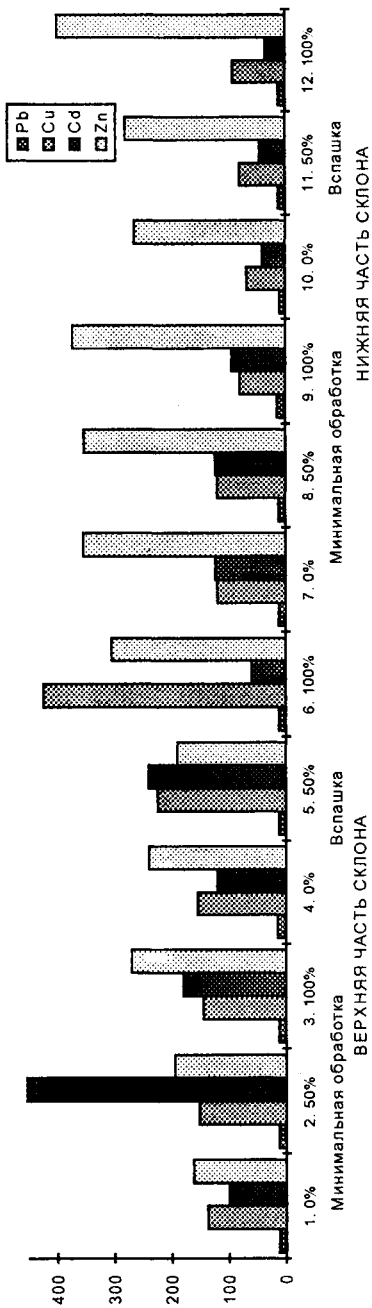
болизм тесно связан с метаболизмом цинка в силу того, что кадмий по химическим свойствам — аналог цинка. Наиболее наглядно изменения величин КБП для зерна озимой пшеницы и овса представлены на рисунке.

По величинам КБП изучаемые элементы можно расположить в следующий ряд интенсивности поглощения (РИП): цинк > медь > свинец > кадмий (зерно озимой пшеницы и овес). Данная последовательность сохраняется почти во всех вариантах, за исключением для зерна

Озимая пшеница, 1998 г.



Овес, 1999 г.



Коэффициент биологического поглощения ТМ растениями в различных условиях среды.

Урожайность зерновых в зависимости от почвозащитных технологий обработки почвы и гербицидов на разных склонах
(ц/га)

Технология обработки	Гербициды, %	Верх склона		Низ склона		Средние по обработке
		оз. пшеница	овес	оз. пшеница	овес	
Минимальная	0	13,8	5,7	18,0	9,8	12,5
	50	13,2	6,1	21,2	11,0	
	100	16,0	6,2	20,5	9,3	
Вспашка	0	15,6	7,8	19,	12,4	15,3
	50	17,4	8,6	22,9	11,2	
	100	16,5	8,9	29,8	12,1	
Средние по элементам склона	—	11,3		16,4		—

НСР₀₅ для озимой пшеницы 1,3 ц/га; для овса — 0,97 ц/га.

овса, выращенного в верхней части склона; под влиянием вспашки и дифезана (25% и 100% насыщение) наиболее интенсивно поглощалась медь по сравнению с цинком: $Cu > Zn > Pb > Cd$. Исходя из полученных результатов медь и свинец следует отнести по значениям КБП в группу элементов среднего биологического захвата по классификации А. И. Перельмана [21].

Урожай озимой пшеницы и овса зависел от условий выращивания и складывающихся погодных условий (табл. 10).

Годы исследований были неблагоприятными как по температурному режиму, так и осадкам. Средние данные об урожайности по приемам обработки значительно разли-

чались. Существенные прибавки от гербицидов получены только на озимой пшенице. Элементы склона оказывали влияние на общий уровень урожайности и эффективность гербицидов.

Заключение

Исследования позволили оценить экологическую ситуацию в почве опытных полей. На этих полях можно высевать любые культуры, но надо контролировать уровень фитотоксичности почв. Учитывая высокую степень поглощения свинца, кадмия исследованными растениями, что отмечается в работах многих ученых [8, 30], необходимо постоянно вести контроль за растениеводческой продукцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеева Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. JL: Агропромиздат, 1987. — 2. *Баздырев Г. И.* Фитосанитарное состояние почвы в условиях интенсивного земледелия. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 3, с. 28-39. — 3. *Баздырев Г. И.* Современная концепция борьбы с сорными растениями в системе земледелия Нечерноземной зоны РСФСР. — Изв. ТСХА, 1990, вып. 6, с. 17-31. — 4. *Баздырев Г. И.* Агроэкологические основы интегрированной защиты полевых культур от сорняков в современных системах земледелия Нечерноземной зоны РСФСР. М., 1991. — 5. *Баздырев Г. И.* Биологические показатели плодородия почвы склоновых земель при почвозащитных технологиях. М.: Изд-во ТСХА, 1987. — 6. *Галкина Н. А.* Биохимический мониторинг агролесоландшафтов ЦЧР. Автореф. канд. дис., Воронеж, 1998. — 7. *Ильин В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1991. — 8. *Кабата — Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. — 9. *Каиштанов А. Н.* Концепция развития земледелия в условиях перехода к рыночным отношениям и многоукладному сельскому хозяйству. — Сб.: Земельная реформа и пути развития земледелия СССР. Курск, 1992, с. 387-411. — 10. *Каиштанов А. Н. и др.* Эрозия и охрана почв России. — Сб.: Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения. М.: РАСХН, 1998, т. 2, с. 18-22. — 11. *Каиштанов А. Н., Явтушенко В. Е.* Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. — 12. *Кирпичников Н. А. и др.* Контроль за поступлением микроэлементов в растения. — Химизация сельск. хоз-ва, 1991, № 10, с. 45-49. — 13. *Кирюшин В. И.* Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушкино, 1993. — 14. *Кирюшин В. И.* Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. — 15. *Кирюшин В. И.* Зональные особенности изменения почвенного покрова и почв при сельскохозяйственном использовании. — Сб.: Проблемы антропогенного почвообразования. М.: РАСХН, 1997, с. 64-66. — 16. *Кочетов И. С.* Агроландшафтное земледелие и водная эрозия почв в Центральном Черноземном районе. М.: Колос, 1999. — 17. *Макаров И. П., Кочетов И. С., Журавлева М. И.* Влияние обработки почвы на сток воды и вынос химических элементов питания. — Земледелие, 1985, вып. 9. — 18. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхоз-

угодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. — 19. Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд: 1990. — 20. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. JL: Агропромиздат, 1980. — 21. *Минеев В. Г.* Экологические проблемы агрохимии. М.: МГУ, 1988. — 22. *Овчаренко М. М. и др.* Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение. М.: Колос, 1997. — 23. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1996. — 24. *Плесцов В. М.* Продуктивность агроценозов в условиях загрязнения тяжелыми металлами. — Химизация сельск. хоз-ва, 1991, № 5. — 25. *Попова А. А.* Сезонная динамика и баланс тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве. Автореф. канд. дис. М., МГУ, 1992. — 26. *Потуаева Ю. А. и др.* Влияние длительного применения фосфорных

удобрений на накопление в почве и растениях тяжелых металлов. — Агрохимия, 1994, №11. — 27. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. М.: Медицина, 1986. — 28. *Скрипникова М. А. и др.* Распределение микроэлементов в системе почва — растение. — В кн.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд: 1990, с. 126-127. — 29. Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, 1980. — 30. *Чебаненко С. И. и др.* Влияние почвозащитных разноглубинных систем обработки на плодородие почв склонов. — Изв. ТСХА, 1999, вып. 4, с. 3-19. — 31. *Черных Н. А.* Приемы снижения фитотоксичности тяжелых металлов. — Агрохимия, 1995, № 9. — 32. *Robson A. D., Snowball K.* Aust. J. Agric. Res., 1989, 40, p. 981-990.

*Статья поступила
12 марта 2001 г.*

SUMMARY

Change in the content of heavy metals in the soil and in plants depending on soil-protection technology, saturation with herbicides, slope elements, meteorological conditions of the year and biological distinctions of the crop grown (wheat, oats) were studied. It has been shown that the level of heavy metals in the soil is, as a rule, lower than maximum allowable concentration, and the content of heavy metals in investigated plants in several variants is higher than maximum allowable concentration, which depended on specification of wheat and oats.