

*Е.Е. Петрова, Е.В. Райхерт*

**Загрязнение почв вблизи автомагистралей кадмием и цинком и их биологическое поглощение яровой пшеницей (в условиях Алейского района Алтайского края)**

*E.E. Petrova, E.V. Reikhert*

**Soil Pollution by Cadmium and Zinc near Highways and their Biological Uptake by Spring Wheat (in Alei Zone of the Altai Territory)**

Рассмотрено влияние физико-химических свойств почвы на степень накопления в ней подвижных форм кадмия и цинка. Изучено влияние валовой и подвижной форм Cd и Zn в почве на накопление их в генеративных и вегетативных органах растений яровой пшеницы. Рассмотрено распределение Cd и Zn в генеративных и вегетативных органах растений яровой пшеницы.

**Ключевые слова:** почва, загрязнение почв, тяжелые металлы, яровая пшеница, кадмий, цинк, формы тяжелых металлов.

Развитие цивилизации и рост урбанизации усиливают вмешательство человека в природный комплекс. Вследствие нарушения естественных ландшафтов, загрязнения разнообразными твердыми, жидкими и газообразными отходами снижается устойчивость территорий, повышается степень экологического риска для всех компонентов окружающей среды, в том числе для почв. Мощным антропогенным фактором деградации почв является загрязнение их тяжелыми металлами (ТМ).

ТМ играют важную роль в обменных процессах, но в высоких концентрациях вызывают загрязнение почв и в целом оказывают вредное воздействие на экосистемы. ТМ обладают способностью аккумулироваться в почвах и живых тканях, что приводит к серьезным физиологическим нарушениям и заболеваниям [1].

При максимальном загрязнении химическими веществами почва теряет способность к продуктивности, биологическому самоочищению, происходит потеря экологических функций и гибель экосистемы. Изменяются состав, структура и численность микрофлоры и мезофауны [2].

Отсюда вытекает несколько экологических проблем, связанных с загрязнением почв ТМ: деградация почвенного покрова, нарушение процессов синтеза органических веществ почвы, гумусообразования, т. е. нарушение почвообразования [3, с. 55]. Кроме этого, происходит поглощение ТМ растениями и попадание их по пищевой цепи в организмы животных и человека.

The article considers the influence of physical and chemical properties of soil on the degree of accumulation of mobile forms of cadmium and zinc in it. It is studied that total and mobile forms of Cd and Zn in soil effect on their accumulation in the generative and vegetative parts of plants of spring wheat. The distribution of Cd and Zn in the generative and vegetative parts of plants of spring wheat is considered.

**Key words:** soil, soil pollution, heavy metals, spring wheat, cadmium, zinc, forms of heavy metals.

Исходя из этого оценка развития растений на загрязненных почвах, возможности аккумуляции ими тяжелых металлов, а также поиск путей детоксикации почв представляют реальный интерес.

В связи с этим целью наших исследований явилось изучение накопления в почве кадмия и цинка и их биологического поглощения растениями яровой пшеницы (*Triticum aestivum*) в придорожных агроценозах.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить взаимосвязь накопления в почве цинка и кадмия с физико-химическими свойствами исследуемых почв;
- установить закономерности накопления кадмия и цинка в растениях яровой пшеницы;
- выявить взаимосвязи и зависимости содержания кадмия и цинка в системе «почва — растение».

Исследования проводились на территории Алейского района Алтайского края. Объектами послужили почвы реперных участков, наблюдения за содержанием цинка и кадмия в которых ведутся в течение 11 лет, а также учетные площадки, расположенные вблизи автомагистралей с достаточно высокой интенсивностью транспортного потока.

Почвы исследуемых участков представлены черноземами обыкновенными и выщелоченными средне-мощными слабогумусированными и малогумусными среднесуглинистыми слабосвеянными. Реакция почвенного раствора нейтральная (рНв = 6,4). Почвы обладают хорошими водно-физическими свойствами.

Однако расчлененность рельефа и наличие ветровых склонов вызывают развитие в районе как ветровой, так и водной эрозии [4].

Исследования проводились в агроценозах мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum*) сортов Алтайская 80 и Алтайская 530.

Для оценки загрязнения почв и растений яровой пшеницы кадмием и цинком были отобраны почвенные и растительные образцы. Отбор почвенных образцов проводился на глубину пахотного горизонта в 3-кратной повторности. Сбор растительных образцов осуществлялся на пробных площадках размером 1х1 м в фазу полной спелости мягкой яровой пшеницы в 3-кратной повторности.

Определение свойств почв проводилось с применением общепринятых методов [5].

Содержание тяжелых металлов в почвенных и растительных образцах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр-5» [6].

Материалы аналитических исследований и результаты опытов обработаны с использованием статистического пакета Excel.

Цинк относится к тяжелым металлам повышенной токсичности при высокой концентрации в почвах [7]. У цинка высокая технофильность [8], которая с годами только возрастает [9]. В настоящее время повсеместно наблюдается накопление цинка в почвах и промышленных районах, и районов сельскохозяйственного использования. Источниками дополнительного поступления цинка в почву являются применяемые в сельскохозяйственном производстве минеральные и органические удобрения. Частицы почвы, поступающие в атмосферу в результате эрозии, содержат до 58% цинка, имеющего природное происхождение.

В результате наших исследований была прослежена динамика содержания подвижных форм цинка в почвах реперных участков (рис. 1).

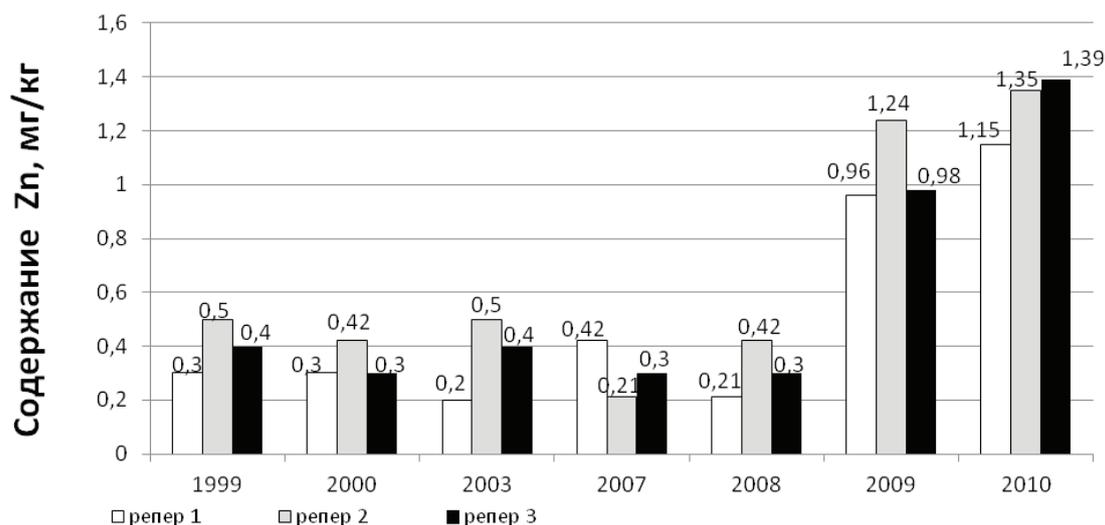


Рис. 1. Динамика накопления подвижных форм Zn в почвах реперных участков

За рассматриваемый период наблюдается тенденция к увеличению содержания цинка в почвах реперных участков. За период с 2009 по 2010 г. произошло 3-кратное увеличение содержания цинка в почвах всех этих участков. Хотя эти значения не превышают ПДК (23 мг/кг почвы), но динамика положительная. Возможными причинами повышения содержания цинка в почвах, на наш взгляд, являются увеличение грузопотока автотранспорта, а также внесение минеральных удобрений (сульфат аммония) в исследуемые почвы. В результате возрастающей антропогенной нагрузки на почвы цинк в больших концентрациях может выступать в роли загрязнителя. В условиях цинкового загрязнения отрицательное влияние этого металла на физиологические процессы в растениях и микроорганизмах прежде всего связано с отсутствием физиологических барьеров к его избыточному поглощению.

Кадмий представляет собой один из опаснейших токсикантов окружающей среды. Существенную долю в загрязнение кадмием почв, находящихся вдоль автомагистралей, вносят выбросы автомобилей. Так как кадмий содержится в дизельном топливе и освобождается при его сжигании, концентрация этого металла в воздухе крупных городов может достигать 15 мг/м<sup>3</sup> [10; 11]. Кроме того, загрязнение почвы кадмием происходит за счет внесения удобрений. Поскольку кадмий в удобрениях находится в основном в подвижном состоянии, он легкодоступен возделываемым культурам. Именно этим и объясняется небольшое повышение содержания этого металла в почве при существенном увеличении его количества в растениях. С фосфорными удобрениями в течение года в почву попадает кадмия в 2–3 раза больше, чем потребляется растениями, поэтому ежегодный

прирост содержания кадмия в почвах за счет применения фосфорных удобрений составляет 0,15%.

После прекращения действия факторов, увеличивающих содержание этого тяжелого металла, его концентрация в почве долгое время остается высокой вследствие длительного срока вывода.

Максимальная аккумуляция кадмия свойственна нейтральным и щелочным почвам с большим содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что содержание кадмия в почвах

на протяжении 11 лет наблюдения (рис. 2) снижается практически в 2 раза во всех реперных точках, при этом не превышает ПДК (2,0 мг/кг). Такое снижение, возможно, связано с тем, что данные территории подвержены водной и ветровой эрозии в довольно большой степени. Как отмечалось выше, в почвах с достаточно высоким содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды подвижные формы кадмия способны мигрировать вниз по профилю почвы, как следствие, его концентрация уменьшается в верхних генетических горизонтах.

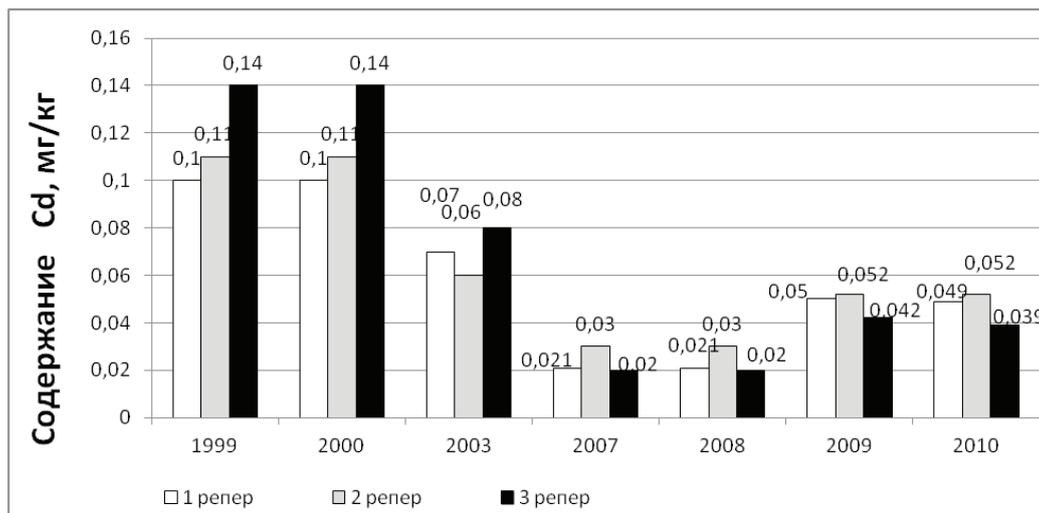


Рис. 2. Динамика накопления подвижных форм Cd в почвах реперных участков

Кроме этого, с помощью корреляционного анализа нами была установлена степень влияния физико-химических свойств почв на содержание и накопление в них подвижных форм цинка и кадмия (табл. 1).

Таблица 1  
Влияние физико-химических свойств почв на степень накопления ТМ (2010 г.)

Физико-химические свойства	Степень влияния на накопление ТМ в почве	
	Zn	Cd
Содержание ила	-0,99	0,78
pH	-0,99	0,76
Содержание физической глины	-0,97	0,78
Содержание гумуса	-0,45	0,70

Наибольшее влияние на содержание в почве подвижных форм цинка оказывают содержание илистой фракции (99%) и реакция почвенного раствора (pH) (99%). Чуть меньшее воздействие — содержание физической глины (97%). Минимально на накопление подвижных форм цинка влияет содержание гумуса (45%). Следует отметить, что характер связи меж-

ду физико-химическими свойствами почвы и содержанием подвижных форм цинка носит обратную зависимость, т. е. при увеличении содержания гумуса, pH, утяжелении гранулометрического состава почвы содержание этого ТМ снижается. Такую закономерность, по-видимому, можно объяснить очень высокой степенью связывания этого металла именно илстыми частицами почвы. Благодаря большой удельной поверхности этих частиц степень адсорбции на их поверхности цинка значительно выше, чем у других гранулометрических фракций. Кроме того, как указывалось выше, почвы исследуемых участков имеют нейтральную реакцию почвенного раствора, что способствует также связыванию этого металла почвенным поглощающим комплексом (ППК) за счет более высокого содержания оснований в ППК.

На накопление кадмия в почвах их физико-химические свойства оказывают меньшее влияние по сравнению с цинком. Причем связь между физико-химическими свойствами почвы и содержанием кадмия носит прямой характер. Возможной причиной этого, на наш взгляд, является высокая способность кадмия к комплексообразованию и, как следствие, связывание его с почвенными частицами.

Наряду с изучением содержания подвижных форм цинка и кадмия в почве нами также было рассмотре-

но их среднее валовое содержание в растениях мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum*), произрастающей на исследуемых участках (табл. 2).

Таблица 2  
Содержание цинка и кадмия в генеративных и вегетативных органах яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*)

Металл	Содержание ТМ в растении, мг/кг			
	Зерно		Солома	
	2009	2010	2009	2010
Zn	23,5	20,7	10,8	15,0
Cd	-	0,026	-	0,032

Было установлено, что содержание цинка примерно в 1,4–2 раза выше в генеративных органах (зерно) по сравнению с вегетативными (солома) в зависимости от года исследований.

В отношении кадмия прослеживается обратная зависимость. Его содержание выше в вегетативных органах (соломе) мягкой яровой пшеницы.

Кроме этого, с помощью корреляционного анализа мы постарались выявить, какое влияние оказывают валовая и подвижная формы исследуемых металлов в почве на их содержание в вегетативных и генеративных органах мягкой яровой пшеницы (табл. 3).

Таблица 3  
Содержание цинка и кадмия в генеративных и вегетативных органах яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) в зависимости от форм их содержания в почве

Форма содержания ТМ в почве	Степень влияния на накопление ТМ в растениях			
	Zn		Cd	
	зерно	солома	зерно	солома
Подвижная	0,93	0,92	0,71	0,30
Валовая	-0,83	-0,88	0,32	0,21

Рассматривая влияние содержания цинка в почве на его содержание в органах яровой пшеницы, следует отметить, что подвижная форма в почве оказывает одинаково высокое воздействие на накопление цинка как в генеративных (зерно), так и в вегетативных (солома) органах. Причем при увеличении содержания подвижной формы цинка в почве происходит повышение его содержания в растениях, о чем свидетельствует прямой характер связи между этими показателями. Валовая форма цинка в почве оказывает меньшее влияние на его накопление в органах мягкой яровой пшеницы. Уровень связи достаточно высокий, но он носит обратный характер. Данное обстоятельство еще раз подтверждает тот факт, что цинк имеет высокую способность к комплексообразованию в почве и переходу в недоступную для растений форму.

Анализируя содержание разных форм кадмия в почве и оценивая их влияние на накопление в вегетативных и генеративных органах яровой пшеницы, можно отметить, что только подвижная форма кадмия в почве оказывает значительное влияние на его содержание в генеративных органах яровой пшеницы. В других вариантах форма содержания кадмия в почве незначительно влияет на его накопление в органах исследуемой культуры, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции.

В заключение отметим, что содержание тяжелых металлов в почвах тесно связано с их физико-химическими свойствами. С увеличением степени гумусированности и смещением реакции почвенного раствора в нейтральную сторону повышается емкость поглощения у почвы и, как следствие, увеличиваются буферность и способность к более интенсивному связыванию рассматриваемых тяжелых металлов.

В годы исследований максимальное накопление цинка отмечается в генеративных органах яровой пшеницы, в вегетативных органах его содержание в 1,4–2 раза ниже. Содержание кадмия как в генеративных, так и в вегетативных органах яровой пшеницы находится на одинаковом уровне.

## Библиографический список

1. Барсуков В.С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам : аналитический обзор / СО РАН ; ГПНТБ ; Ин-т почвоведения и агрохимии. — Новосибирск, 1997.
2. Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация процесса почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов (на примере степной зоны Алтайского края) : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. — Барнаул, 2000.
3. Морковкин Г.Г., Завалишин С.И. Изучение динамики подвижности свинца и меди в зависимости от загрязнения и срока с черноземной почвой // Почвенно-агрономические исследования Сибири : сб. науч. тр. к 100-летию проф. Н.В. Орловского. — Вып. 1. — Барнаул, 1999.
4. Почвы Алтайского края. — М., 1959.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. — М., 1970.

6. Обухов А. И., Плеханова И. О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. — М., 1991.

7. Большаков В. А., Водяницкий Ю. Н., Борисочкина Т. И., Кахнович З. Н., Мясников В. В. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. — М., 1999.

8. Перельман А. И. Геохимия ландшафтов. — М., 1975.

9. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. — М., 2008.

10. Кадмий: экологические аспекты. — Женева, 1994.

11. Большаков В. А., Краснова Н. М., Борисочкина Т. И., Сорокин С. Е., Граковский В. Г. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. — М., 1993.