

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИПРОФИЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИКЕЛЯ, СВИНЦА И КАДМИЯ В ЧЕРНОЗЕМАХ ЦЧР

Н.С. Горбунова, Н.А. Протасова

Воронежский государственный университет

Установлены основные закономерности внутрипрофильного распределения подвижных соединений Ni, Pb, Cd в черноземах Центрально-Черноземного региона в зависимости от условий их формирования. Показано, что внутрипрофильная дифференциация подвижных соединений ТМ связана с распределением рН, обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺, гидролитической кислотности и гумуса.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении распределения тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах необходимо иметь информацию о их содержании в «фоновых» почвах. Такая информация имеет большое значение для региональных и локальных работ, когда специфика элементного химического состава местных почв должна обязательно учитываться. В случае существенного отличия регионального фона от глобального можно или не заметить начавшееся техногенное загрязнение местного почвенного покрова, или, напротив, принять естественный региональный фон за результат техногенного воздействия. Для исключения подобных оценок необходимо получение сведений о содержании ТМ в почвенном покрове и главных типах почв отдельных регионов [6]. При этом важно знать не только как влияют процессы почвообразования на характер внутрипрофильного распределения ТМ. Необходимо выяснить, какими химическими и физико-химическими свойствами почв обусловлена внутрипрофильная дифференциация ТМ.

Тяжелые металлы – Ni, Pb, Cd – относятся к числу наиболее распространенных и опасных для биоты загрязнителей окружающей среды. Их распределение в почвенном и растительном покрове конкретных географических зон и регионов исследовано крайне недостаточно. Это в полной мере касается лесостепной и степной зоны – важнейшей «житницы» России, которая, с одной стороны, характеризуется высокопроизводительным сельским хозяйством, а, с другой стороны, – интенсивным техногенным воздействием на среду [10]. В ЦЧР исследования тяжелых металлов про-

водятся только в верхнем горизонте техногенно загрязненных почв [14], что не позволяет судить о характере их внутрипрофильного распределения.

Целью настоящей работы явилось выявление особенностей внутрипрофильной дифференциации содержания подвижных соединений Ni, Pb, Cd в черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных Центрального Черноземья.

Биологическая роль Ni не вполне выяснена, хотя он широко распространен в растительных организмах. Очень важно участие Ni во многих биогенных процессах. Ni оказывает неспецифическое влияние на ряд металлоферментных комплексов. Он способствует формированию спиральной структуры нуклеиновых кислот, входит в состав гормона инсулина, активизирует аргиназу, трипсин, оксалоацетат-декарбоксилазу, ряд пептидаз, действующих на азотсодержащие группировки, является катализатором окисления лецитина и линолевой кислоты [15]. Ni принадлежит к числу элементов, вызывающих эндемические заболевания, – хлорозы и некрозы. Для злаковых растений получены данные о влиянии Ni на активность нитратредуктазы, играющей важную роль как в восстановлении нитратов, так и в азотофиксации. Выявлено участие Ni в стабилизации структуры рибосом. В настоящее время имеется достаточно данных, позволяющих отнести Ni к биоэлементам [12].

Повышенная концентрация Pb в растениях (более 3-5 мг/кг сухой массы) подавляет фотосинтез, дыхание, митоз, ростовые процессы и в целом их продуктивность. При повышенном содержании Pb в почвах он в основном накапливается в корнях растений, в меньшей степени – в корне- и клубнеплодах. Поступление его в наземные органы растений ограничивается функ-

ционированием защитных физиолого-биохимических механизмов [7, 8].

Cd относится к числу наиболее фитотоксичных элементов. Токсичность воздействия Cd проявляется прежде всего в снижении урожайности сельскохозяйственных культур. Возрастающие дозы Cd в почве способствуют снижению содержания в растениях Ca, Mn, Fe, Zn, Sr, Ba, Pb и увеличению содержания Cu, Rb, Sn. Присутствие ионов Cd в питательной среде подавляет активность корней, что проявляется в ингибировании поглощения ионов K и нитратов [2].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются черноземы выщелоченные средне- и малогумусные тяжелосуглинистые (Сосновский район Тамбовской области, Верхнехавский район Воронежской области, Хлевенский район Липецкой области, Курский район Курской области); черноземы типичные средне- и малогумусные тяжелосуглинистые (Таловский, Павловский и Верхнехавский районы Воронежской области); черноземы обыкновенные средне- и малогумусные тяжелосуглинистые (Богучарский, Павловский и Таловский районы Воронежской области). Почвообразующими породами для данных почв послужили лессовидные и покровные карбонатные тяжелые суглинки и глины.

На территории указанных регионов, на «фоновых» почвах, расположенных вдали от источников локального техногенного загрязнения, были заложены полнопрофильные разрезы, вскрывающие почвообразующую породу. Отбор образцов проводился послойно (0-10, 10-20, 20-30...140-150 см). Во всех почвенных образцах определены рН водной вытяжки (потенциометрическим методом), гидролитическая кислотность (по Каппену), содержание гумуса (по Тюрину в модификации Симаковой), обменные катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} по Гедройцу в некарбонатных образцах и по Тюрину в карбонатных.

Реакция среды во всех изучаемых почвах в верхних горизонтах нейтральная или слабокислая, постепенно изменяется с глубиной и становится щелочной или слабощелочной. Так, в верхних горизонтах выщелоченных черноземов величина рН составляет в среднем – 6,52, в типичных – 6,73, в обыкновенных – 7,32, в почвообразующей породе рН возрастает до 8,1.

В верхних горизонтах черноземов выщелоченных величина гидролитической кислотности (мг-экв/100 г почвы) равна 2,94, типичных – 1,71, обыкновенных – 0,70. С глубиной величина гидролитической кислотности постепенно уменьшается.

В профильном распределении обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} наблюдается та же дифференциация, что и при распределении гумуса, поскольку они прочно связываются с гуминовыми кислотами. Среднее значение суммы обменных катионов в верхнем горизонте чернозема выщелоченного составляет (мг-экв/100 г почвы) 34,2, типичном – 39,4, обыкновенном 44,4. С глубиной сумма обменных катионов уменьшается.

В гор. А выщелоченных черноземов в среднем содержание гумуса равно 6,18 %, типичных – 6,21 %, обыкновенных – 6,25 %. С глубиной во всех почвах происходит очень постепенное уменьшение содержания гумуса до 0,1 %.

Подвижные соединения ТМ – Ni, Pb, Cd – определены в вытяжке 1 н. HNO_3 в соотношении почва – раствор 1:5 атомно-абсорбционным методом на спектрометре КВАНТ. – Z. ЭТА. Вариационно-статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программ Stadia и Microsoft Excel.

Почвенные процессы, влияющие на формирование микроэлементного состава черноземов

Формирование микроэлементного состава черноземов протекает при непромывном типе водного режима, в условиях, когда процессы выщелачивания микроэлементов ослаблены, а их биогенная аккумуляция вследствие интенсивного гумусонакопления под влиянием травянистой растительности усиливается. Выщелоченные черноземы характеризуются сравнительно однородным химическим составом илистой фракции во всех горизонтах, хотя содержание глинистых минералов в гор. А меньше, чем в гор. В и С из-за выноса ила [1]. В гумусовом горизонте аккумулируются ТМ и их подвижные соединения [13].

Формирование микроэлементного состава типичных черноземов связано с однородностью гранулометрического состава по их профилю, вследствие чего микроэлементный состав меняется мало, так же как и валовой химический состав. Отсутствие дифференциации макроэлементов по горизонтам свидетельствует о том, что сколь угодно значительного разрушения минеральной части под влиянием почвообразования не происходит [1]. Основными процессами, нарушающими равномерность распределения микроэлементов в профиле типичных черноземов, являются интенсивное гумусонакопление, миграция карбонатов и их аккумуляция в нижней части профиля. В результате интенсивного гумусонакопления в гор. А

типичных черноземов энергично аккумулируются ТМ и их подвижные соединения [13].

Микроэлементный состав обыкновенных черноземов также формируется под влиянием процессов гумусонакопления, миграции карбонатов и их аккумуляции. Поскольку почвообразование в степной зоне протекает в условиях более сухого климата и в отсутствие сквозного промачивания, в обыкновенных черноземах происходит более интенсивное накопление в гумусовом горизонте ТМ и их подвижных соединений. Этому способствует и более высокий уровень залегания карбонатов в почвенном профиле, который влияет на степень обеспеченности черноземов подвижными соединениями микроэлементов [13].

Внутрипрофильная дифференциация подвижных соединений Ni, Pb, Cd в черноземах ЦЧР

Содержание тяжелых металлов в покровных и лессовидных суглинках и глинах можно представить в виде ряда $Ni > Pb > Cd$. Значения среднего арифметического, моды и медианы очень близки (табл. 1). В почвообразующих породах отмечается небольшое варьирование концентрации всех элементов. Такой же порядок распределения тяжелых металлов характерен для всех подтипов черноземов.

Никель. Для типичных и обыкновенных черноземов региона характерно небольшое биогенное накопление валового Ni в гумусовом горизонте. Распределение элемента по профилю мало связано с распределением физической глины и гумуса, в типичных черноземах оно определяется распределением граната. Среднее содержание валового Ni в черноземах ЦЧР составляет 30-35 мг/кг [12].

Среднее количество подвижного Ni (мг/кг) возрастает в ряду: черноземы выщелоченные (2,1), типичные (2,54), обыкновенные (3,14) (табл.2). Значения среднего арифметического, моды и медианы очень близки. В верхнем горизонте наблюдается биогенная аккумуляция подвижного Ni. Вниз по профилю происходит постепенное умень-

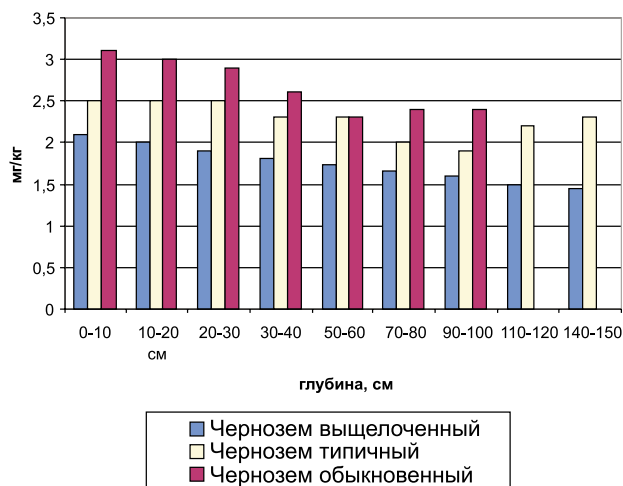


Рис. 1. Распределение подвижного никеля в профиле черноземов

шение его содержания (рис. 1) аналогично распределению гумуса, $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ и гидролитической кислотности. Коэффициент корреляции между содержанием Ni и гумуса ($r = 0,46$, табл. 3) свидетельствует о слабой положительной корреляционной связи между ними. На контакте с карбонатными горизонтами транзитные почвенные растворы способны терять значительную долю Ni, поскольку Ni взаимодействует с карбонатами, образуя труднорастворимые соединения. В результате этого образуется второй пик в профильном распределении подвижного Ni (рис. 1) в типичных и обыкновенных черноземах. Распределение подвижного Ni по профилю в большей степени зависит от гидролитической кислотности ($r = 0,92$, табл. 3), суммы обменных катионов ($r = 0,84$) и в меньшей – от pH почвенного раствора ($r = -0,64$). Для подвижного Ni характерна невысокая степень варьирования его концентрации по всему профилю черноземов ($V = 12-17\%$, табл. 2).

Свинец особенно интенсивно сорбируется органическим веществом почв. С этим связано накопление преимущественно обменных форм Pb в органических горизонтах почв [3]. Наибольшее количество подвижного Pb отмечается в верхних

Таблица 1

Статистические показатели распределения Ni, Pb, Cd в лессовидных и покровных тяжелых суглинках и глинах ЦЧР (глубина 140-150 см)

Элемент	n	$\bar{x} \pm s_x$	Me	Mo	min	max	V
Ni	11	2,05±0,09	2,04	2,05	1,40	2,94	14
Pb	11	0,22±0,02	0,22	0,21	0,16	0,45	11
Cd	11	0,07±0,008	0,06	0,07	0,07	0,14	7

Примечание: n – количество образцов, \bar{x} – среднее арифметическое, мг/кг, s_x – ошибка среднего арифметического, Me – медиана, Mo – мода, V – коэффициент вариации, %.

Среднестатистические показатели содержания Ni, Pb, Cd в черноземах ЦЧР

Элемент	Глубина, см	n	$\bar{x} \pm s_x$	Me	Mo	min	max	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черноземы выщелоченные тяжелосуглинистые								
Ni	0-10	5	2,10±0,10	2,00	1,90	1,90	2,40	14
	10-20	5	2,00±0,08	1,90	1,90	1,80	2,30	15
	20-30	5	1,90±0,06	1,80	1,80	1,80	2,10	13
	30-40	5	1,80±0,04	1,80	1,70	1,70	1,90	16
	50-60	5	1,74±0,05	1,70	1,70	1,60	1,90	12
	70-80	5	1,66±0,04	1,60	1,60	1,60	1,80	14
	90-100	5	1,60±0,04	1,60	1,50	1,50	1,70	17
	110-120	5	1,50±0,04	1,50	1,40	1,40	1,60	13
	140-150	5	1,44±0,02	1,40	1,40	1,40	1,50	12
Pb	0-10	5	0,17±0,004	0,17	0,16	0,16	0,18	11
	10-20	5	0,16±0,004	0,16	0,16	0,14	0,17	11
	20-30	5	0,15±0,005	0,15	0,15	0,13	0,16	12
	30-40	5	0,14±0,003	0,14	0,14	0,13	0,15	14
	50-60	5	0,13±0,005	0,13	0,13	0,11	0,14	12
	70-80	5	0,12±0,002	0,12	0,12	0,12	0,13	11
	90-100	5	0,12±0,003	0,12	0,12	0,11	0,13	13
	110-120	5	0,12±0,002	0,12	0,12	0,11	0,12	12
	140-150	5	0,12±0,003	0,12	0,12	0,11	0,13	11
Cd	0-10	5	0,08±0,003	0,08	0,08	0,07	0,09	8
	10-20	5	0,08±0,003	0,08	0,08	0,07	0,09	7
	20-30	5	0,07±0,004	0,08	0,08	0,06	0,08	6
	30-40	5	0,06±0,004	0,06	0,07	0,05	0,07	7
	50-60	5	0,05±0,004	0,06	0,06	0,04	0,06	5
	70-80	5	0,05±0,005	0,05	0,05	0,04	0,07	5
	90-100	5	0,04±0,002	0,04	0,04	0,04	0,05	6
	110-120	5	0,04±0,003	0,04	0,05	0,03	0,05	4
	140-150	5	0,04±0,005	0,04	0,05	0,03	0,06	6
Черноземы типичные тяжелосуглинистые								
Ni	0-10	5	2,54±0,31	2,40	2,40	1,80	3,40	14
	10-20	5	2,54±0,31	2,40	2,40	1,80	3,40	16
	20-30	5	2,48±0,31	2,20	1,90	1,90	3,40	16
	30-40	5	2,32±0,24	2,10	2,10	1,80	3,00	17
	50-60	5	2,30±0,24	2,20	2,20	1,70	3,00	15
	70-80	5	2,00±0,19	2,00	1,60	1,60	2,60	14
	90-100	5	1,94±0,15	2,00	2,00	1,40	2,30	13
	110-120	5	2,16±0,24	2,10	2,10	1,40	2,80	16
	140-150	5	2,30±0,23	2,40	2,40	1,50	2,90	15
Pb	0-10	5	0,28±0,05	0,20	0,20	0,20	0,40	10
	10-20	5	0,24±0,05	0,20	0,20	0,10	0,40	11
	20-30	5	0,23±0,03	0,21	0,21	0,14	0,31	10
	30-40	5	0,19±0,02	0,19	0,18	0,13	0,25	12
	50-60	5	0,20±0,04	0,18	0,17	0,12	0,34	12
	70-80	5	0,20±0,04	0,18	0,18	0,11	0,36	13
	90-100	5	0,21±0,04	0,20	0,20	0,11	0,37	11
	110-120	5	0,24±0,05	0,20	0,20	0,12	0,41	12
	140-150	5	0,24±0,06	0,21	0,20	0,11	0,45	11
Cd	0-10	5	0,10±0,004	0,10	0,09	0,09	0,11	8
	10-20	5	0,09±0,005	0,09	0,09	0,08	0,11	6

Элемент	Глубина, см	n	$\bar{x} \pm s_x$	Me	Mo	min	max	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	20-30	5	0,09±0,004	0,09	0,09	0,07	0,10	5
	30-40	5	0,08±0,003	0,08	0,08	0,07	0,09	6
	50-60	5	0,07±0,007	0,07	0,07	0,05	0,09	8
	70-80	5	0,06±0,007	0,07	0,07	0,04	0,08	9
	90-100	5	0,07±0,009	0,07	0,06	0,05	0,10	7
	110-120	5	0,07±0,009	0,07	0,07	0,05	0,10	6
	140-150	5	0,09±0,009	0,08	0,08	0,07	0,12	8
Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые								
Ni	0-10	5	3,14±0,34	3,48	3,44	2,10	3,99	13
	10-20	5	3,06±0,32	3,21	3,20	2,10	3,97	16
	20-30	5	2,89±0,31	2,93	2,91	2,00	3,84	14
	30-40	5	2,61±0,23	2,50	2,51	1,90	3,22	15
	50-60	5	2,26±0,32	2,30	2,30	1,40	3,15	16
	70-80	5	2,37±0,23	2,40	2,40	1,60	3,01	17
	90-100	5	2,41±0,14	2,39	2,38	2,10	2,94	15
Pb	0-10	5	0,37±0,07	0,36	0,35	0,16	0,56	12
	10-20	5	0,34±0,07	0,29	0,24	0,16	0,52	11
	20-30	5	0,31±0,06	0,28	0,28	0,14	0,48	13
	30-40	5	0,26±0,04	0,24	0,21	0,13	0,37	11
	50-60	5	0,26±0,04	0,28	0,28	0,12	0,36	12
	70-80	5	0,27±0,04	0,29	0,26	0,12	0,36	13
	90-100	5	0,30±0,05	0,34	0,33	0,14	0,40	13
Cd	0-10	5	0,11±0,009	0,11	0,10	0,09	0,14	7
	10-20	5	0,11±0,010	0,10	0,10	0,08	0,14	6
	20-30	5	0,10±0,009	0,09	0,09	0,08	0,13	8
	30-40	5	0,09±0,007	0,09	0,09	0,08	0,12	7
	50-60	5	0,08±0,007	0,08	0,08	0,07	0,11	5
	70-80	5	0,08±0,007	0,08	0,08	0,06	0,10	7
	90-100	5	0,09±0,011	0,09	0,09	0,05	0,12	8

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между содержанием Ni, Pb, Cd, гумуса, обменных катионов, величиной гидролитической кислотности и pH в профиле черноземов

Ni – гумус	Ni – Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ni – H ⁺	Ni – pH
0,46	0,84	0,92	- 0,64
Pb – гумус	Pb – Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Pb – H ⁺	Pb – pH
0,68	0,59	0,84	- 0,41
Cd – гумус	Cd – Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Cd – H ⁺	Cd – pH
0,39	0,76	0,87	- 0,43

горизонтах почв за счет его биогенной аккумуляции. Уровень его содержания (мг/кг) возрастает в ряду: черноземы выщелоченные (0,17), типичные (0,28), обыкновенные (0,37) (табл.2). Характерны близкие значения среднего арифметического, моды и медианы. Обнаружена тесная прямая зависимость между содержанием Pb и гумуса ($r = 0,68$, табл. 3). В карбонатном горизонте типичных и обыкновенных черноземов наблюдается некоторое

увеличение подвижного Pb, где он способен аккумулироваться в результате взаимодействия с карбонатами почвенного раствора (рис. 2). Профильное распределение Pb мало зависит от распределения pH ($r = -0,41$, табл. 3) и Ca²⁺+Mg²⁺ ($r = 0,59$). Основным фактором, определяющим внутрипрофильное распределение подвижного Pb, является гидролитическая кислотность ($r = 0,84$). Для подвижного Pb характерно небольшая степень варьи-

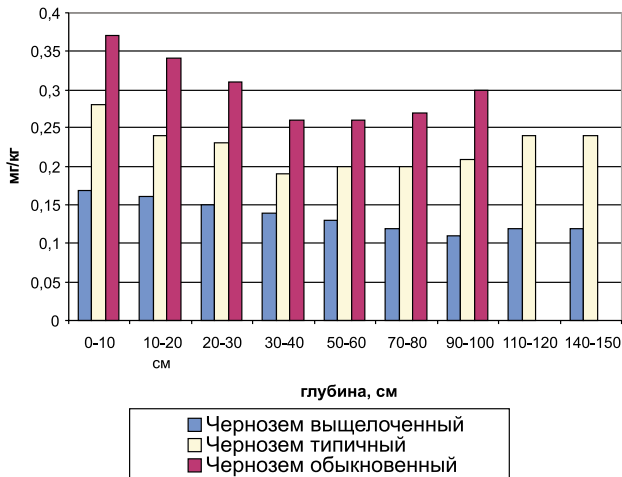


Рис. 2. Распределение подвижного свинца в профиле черноземов

рования его количества во всех горизонтах черноземов ($V = 10-14\%$, табл. 2).

Большинство соединений Pb малоподвижно. Поэтому опасность накопления техногенного Pb в почвах велика [3]. Свинец, как и многие тяжелые металлы, чрезвычайно прочно сорбируется почвами [9], и находится в недоступной для растений форме.

Кадмий. Среднее содержание подвижного Cd в черноземах ЦЧР составляет 0,08-0,11 мг/кг (табл.2). Как и другие ТМ, подвижный Cd концентрируется преимущественно в верхних горизонтах. С глубиной его количество мало изменяется (r с гумусом = 0,39, табл. 3). Величины среднего арифметического, моды и медианы очень близки. В карбонатном горизонте типичных и обыкновенных черноземов отмечается некоторое увеличение концентрации Cd (рис. 3). Между количеством Cd и величиной pH наблюдается слабая отрицательная корреляционная зависимость ($r = -0,43$, табл. 3). Более тесная связь обнаруживается между подвижным Cd и величиной гидролитической кислотности ($r = 0,87$), суммой обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} ($r = 0,76$). Для подвижного Cd характерно незначительное варьирование его концентрации по всему профилю черноземов ($V = 4 - 8\%$, табл. 2).

Таким образом, проведенные исследования показали, что подвижные соединения никеля, свинца и кадмия аккумулируются в верхней части гумусового горизонта с максимальным содержанием гумуса. Для ТМ характерно очень постепенное снижение их концентрации вниз по профилю до глубины залегания карбонатов. Карбонатный горизонт является геохимическим барьером для ТМ, на котором происходит небольшое накопле-

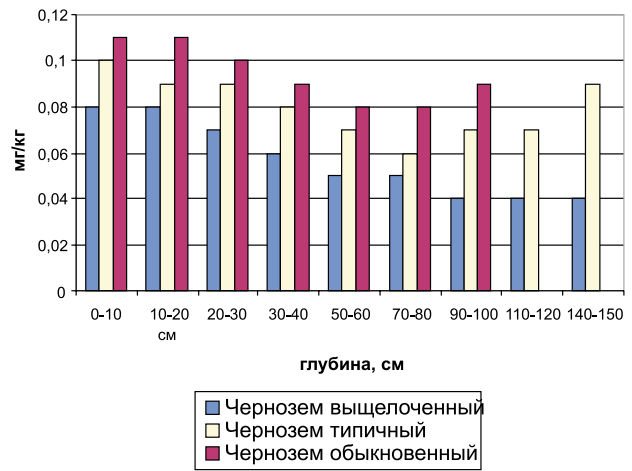


Рис. 3. Распределение подвижного кадмия в профиле черноземов

ние ТМ. Наиболее четко это заметно в типичных и обыкновенных черноземах, которые формируются в условиях непромывного типа водного режима и имеют более высокий уровень залегания карбонатов. В выщелоченных черноземах с периодически промывным водным режимом повышения содержания ТМ в нижней части почвенного профиля не отмечено, поскольку уровень залегания карбонатов в них значительно ниже, чем в типичных и обыкновенных черноземах.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что внутрипрофильное распределение Ni, Pb, Cd в черноземах определяется прежде всего гидролитической кислотностью и распределением Ca^{2+} и Mg^{2+} , в меньшей степени оно связано с распределением гумуса и pH. Наиболее тесная связь с гумусом характерна для Pb; с $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ – для Ni.

Концентрация подвижных соединений ТМ возрастает в ряду: черноземы выщелоченные < черноземы типичные < черноземы обыкновенные, что связано с уменьшением процессов выщелачивания и усиления биогенной аккумуляции ТМ.

Содержание подвижных соединений ТМ во всех изученных черноземах, в том числе и в целинных черноземах заповедных территорий (Стрелецкая, Каменная и Хрипунская степи) не превышает ПДК, установленных для черноземных почв [11]. Превышения общего содержания тяжелых металлов в фоновых почвах под влиянием глобального загрязнения в ближайшие сотни лет не ожидается, регулярный контроль их в почвах может проводиться через 5-10 лет [4, 5]. Что касается подвижных соединений, то размер глобальных выпадений металлов на «фоновые» почвы сопос-

тавим с запасом их подвижных соединений в верхних слоях почв природных ландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахтырцев Б.П.* Почвенный покров Среднерусского Черноземья / Б.П. Ахтырцев, А.Б. Ахтырцев. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1993. – 216 с.
2. *Веселов Д.С.* Влияние кадмия на поглощение ионов, транспирацию и содержание цитокининов в проростках пшеницы / Д.С. Веселов, Р.Г. Фахрисламов // *Агрохимия*. – 1999. – № 10. – С. 78-81.
3. *Глазовская М.А.* Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом / М.А. Глазовская // *Почвоведение*. – 1994. – № 4. – С. 110-120.
4. *Добровольский В.В.* Биосферные циклы ТМ и регуляторная роль почвы / В.В. Добровольский // *Почвоведение*. – 1997. – № 4. – С. 431-441.
5. *Добровольский В.В.* Высокодисперсные частицы почв как фактор массопереноса ТМ в биосфере / В.В. Добровольский // *Почвоведение*. – 1999. – № 4. – С. 1309-1317.
6. *Ильин В.Б.* Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири / В.Б. Ильин, А.И. Сысо, Н.Л. Байдина, Г.А. Конарбаева, А.С. Черевко // *Почвоведение*. – 2003. – № 5. – С. 550-556.
7. *Кашин В.К.* Свинец в почвах юго-западного Забайкалья / В.К. Кашин, Г.М. Иванов // *Почвоведение*. – 1998. – № 2. – С. 1502-1508.
8. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский. – Новосибирск : Наука, 1991. – 294 с.
9. *Курочкина Г.Н.* Влияние катионов свинца на структурно-сорбционные свойства серой лесной почвы / Г.Н. Курочкина, Д.Л. Пинский // *Агрохимия*. – 2004. – № 3. – С. 55-62.
10. *Матвеев Н.М.* Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н.М. Матвеев, В.А. Павловский, Н.В. Прохорова. – Самара : Изд-во Самар. ун-та, 1997. – 215 с.
11. *Орлов Д.С.* Химическое загрязнение почв и их охрана: Словарь – справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова, Т.А. Соколова. – М. : Агропромиздат, 1991. – 303 с.
12. *Протасова Н.А.* Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 368 с.
13. *Протасова Н.А.* Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья / Н.А. Протасова, А.П. Щербаков // *Почвоведение*. – 2004. – № 1. – С. 50-59.
14. *Федорова А.И.* Тяжелые металлы в поверхностных горизонтах почв г. Воронежа и их влияние на растения / А.И. Федорова, Е.В. Шунелько, Н.В. Каверина // *Черноземы Центральной России: генезис, география, эволюция*. – Воронеж, 2004. – С. 259-264.
15. *Ягодин Б.А.* *Агрохимия* / Б.А. Ягодин. – М. : Колос, 1982. – 574 с.