

13. Сукачев В. Н. О некоторых современных проблемах изучения растительного покрова // Бот. журн. 1956. Т. 41, № 4. С. 476 – 486.

14. Шенников А. П. Введение в геоботанику. М. 1964. 447 с.

Надійшла до редакції 15.05.2000

УДК: 631.416:669.1

В. Н. Савосько  
Криворожский ботанический сад НАН Украины

### СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К СЕВЕРНОМУ ГОРНООБОГАТИТЕЛЬНОМУ КОМБИНАТУ (КРИВБАСС)

Об'єктом дослідження були вибрані ґрунти територій, що межують з Північним гірничозбагачувальним комбінатом Криворізького залізрудного басейну. Кислоторозчинну витяжку для визначення вмісту рухливих форм важких металів (заліза, марганцю, цинку, нікелю, міді, свинцю, кадмію) одержували шляхом спалювання зразка ґрунту в однорозчинній азотній кислоті. В результаті дослідження встановлено, що в ґрунтах відбувається як вилугування, так і накопичення рухливих форм важких металів.

В настоящее время, чрезмерное накопление тяжелых металлов в почвах промышленных регионов становится глобальной планетарной проблемой, что по-нашему мнению обуславливается следующими основными причинами: во-первых, тяжелые металлы относятся к рассеянным химическим элементам и поэтому их природное содержание в почвах и живых организмах незначительно [1; 8]. Вот почему стало возможным техногенное накопление металлов в почвах промышленных регионов в сотни и тысячи раз превышающее фоновые значения. Это, в свою очередь, негативно отражается как на состоянии экосистем прилегающих территорий, так и на здоровье людей [1; 2; 8; 10]. Во-вторых, почва, обладая рядом свойств, в конечном итоге аккумулирует подавляющее большинство поступающих в окружающую среду тяжелых металлов [2; 3; 6; 9]. Однако, почву необходимо рассматривать не только как пассивную среду, где происходит депонирование металлов или в крайнем случае их фильтрация в грунтовые воды. По образному выражению проф. В. В. Добровольского, почва – это «глобальный биогеохимический реактор, в котором начинается формирование массопотоков химических элементов», в том числе и тяжелых металлов [5]. Поэтому изучение регуляторной роли почвы в перераспределении тяжелых металлов техногенного происхождения в экосистемах загрязненных территорий является весьма актуальным вопросом современного почвоведения. Всесторонняя оценка распределения подвижных форм тяжелых металлов – первый шаг решения этой научной проблемы в горнорудном регионе, что и явилось целью нашей работы.

#### Объект и методы исследований

Исследования были выполнены в окрестностях г. Кривой Рог (Днепропетровская обл., Украина) в зоне влияния Северного горно-обогатительного комбината (СевГОКа). СевГОК – это мощное горнорудное предприятие, которое с 1964 года ведет добычу и переработку железной руды. В 80-е годы комбинатом добывалось порядка 35 – 40 млн. т сырой руды и производилось 12 – 14 млн. т железорудного концентрата в год.

© Савосько В. Н., 2000

Одновременно, в атмосферный воздух ежегодно выбрасывалось около 15 тыс. т загрязняющих веществ, в составе которых до 60 % (около 8,4 тыс. т) неорганической пыли. Исследованиями установлено, что в выбросах комбина-та содержание тяжелых металлов в 20 – 30 раз превышает фоновые значения, что позволяет говорить о наличии значительного техногеннохимического воздействия на почвы прилегающих территорий [11].

Почвенный покров исследованных территорий представлен черноземами обыкновенными мощными и среднemocными среднегумусными. Содержание гумуса в данных почвах составляет 4 – 6 %, суммы обменных оснований – 35 мг-экв на 100 г почвы [14]. По литературным данным в черноземах обыкновенных незагрязненных территорий Днепропетровской обл. содержание валовых форм железа составляет 18200 мг/кг; марганца – 204,1 – 780,0 мг/кг; цинка – 26,0 – 33,0 мг/кг; никеля – 8,0 – 18,0 мг/кг; меди – 7,0 – 11,0 мг/кг; свинца – 1,0 – 20,0 мг/кг; кадмия – 1,11 – 2,38 мг/кг. [7; 12; 13].

Выбор мониторинговых пробных площадок осуществлялся на основании анализа карт распределения пыли в приземном слое атмосферы, которые разрабатывались с использованием прикладной программы ПЛЕНЕР 1,25. Нами было выбрано три зоны наблюдения. Первая зона (ТЗЗ-1) имеет минимальные концентрации техногенной пыли – 0,2 – 0,5 мг/м<sup>3</sup> (или 0,3 – 1,0 долей среднегодовой предельно допустимой концентрации (ПДК<sub>с.г.</sub>)); вторая (ТЗЗ-2) – 0,6 – 1,0 мг/м<sup>3</sup> (или 1,1 – 2,0 ПДК<sub>с.г.</sub>); третья (ТЗЗ-3) – 1,1 – 2,0 мг/м<sup>3</sup> (или 2,1 – 4,0 ПДК<sub>с.г.</sub>).

Известно, что на содержание тяжелых металлов в почвах промышленных регионов оказывает влияние две группы факторов: биогенного и техногенного происхождения. Поэтому в наших исследованиях контролем послужили почвы территории локального фонового участка. Этот участок расположен вне зоны техногенного влияния СевГОКа, но одновременно он находится в пределах природной геохимической аномалии Криворожского железорудного бассейна. Данный подход, по нашему мнению, позволяет достаточно точно вычленил техногенный фактор в содержании тяжелых металлов в почвах исследуемой геохимической аномалии.

На пробных площадках были заложены почвенные разрезы. Отбор почвенных образцов (через каждые 10 см) производился по общепринятой методике. В общем заложено 38 почвенных разрезов (2 на фоновых территориях и 36 на загрязненных) и отобрано 188 почвенных образцов (22 на фоновых территориях и 168 на загрязненных).

Исследовались подвижные формы тяжелых металлов. Для их извлечения навеску почвы заливали десятикратным количеством однорозчинной азотной кислоты и на песчаной бане выпаривали насухо. Затем приливали дистиллированную воду, доводили до кипения, после чего фильтровали в мерную посуду [2]. Определение содержания металлов (железа, марганца, цинка, никеля, меди, свинца, кадмия) выполнялось на атомно-адсорбционном спектрофотометре ААС-30.

#### Результаты и обсуждения

В настоящее время самым распространенным методологическим подходом к оценке техногенного влияния на содержание тяжелых металлов в почвах является сравнение полученных данных с контрольными значениями [2; 6; 9]. Однако, для этой цели в большинстве случаев исследовались поверхностные слои почвы (0 – 10, 0 – 20 см) или гумусо-аккумулятивный горизонт (А). Вместе с тем, рассматривая почву как целостное природное тело, необходимо



уделять должное внимание всем почвенным генетическим горизонтам. Поэтому нами для оценки распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвах горнорудного региона применялся следующий методологический подход. Основной смысл этого метода заключается в использовании для каждого генетического горизонта своего контрольного значения. Они были получены с соответствующих почвенных горизонтов территории локального фонового участка. В настоящей работе в черноземах обыкновенных выделялись и анализировались следующие генетические горизонты: гумусовый аккумулятивный (А); гумусовый переходной (АВ); иллювиальный (В); иллювиальный переходной (ВС).

В почвах территорий, прилегающих к СевГОКу, содержание подвижных форм всех изученных металлов приобретает техногенный характер, который выражается как в накоплении металлов, так и в их выщелачивании (табл.). Как следует из таблицы, в распределении железа, цинка, никеля характерно только техногенное накопление, тогда как для свинца – исключительно техногенное выщелачивание. Также выявлено, что в распределении марганца, меди, кадмия отмечается наличие двух этих взаимно противоположных процессов.

Несмотря на тот факт, что содержание железа в атмосферном воздухе региона в 2 – 5 раз превышает фоновые значения [11], уровни его накопления в исследованных почвах незначительны. Во всех почвенных горизонтах (за исключением гумусового переходного АВ) в трех исследованных зонах содержание железа на 15 – 80 % выше значений локального фона. Обращает на себя внимание низкий уровень подвижности железа. Так, по данным ранее проведенных исследований, количество валовых форм этого металла в почвах Кривбасса составляет 30 000 – 50 000 мг/кг [4]. В то время как нами установлено, что содержание железа в этих же почвах изменяется от 800 до 1700 мг/кг, т. е. количество подвижных форм составляет 5 – 8 % от валового содержания металла. Это явление можно объяснить следующим образом. Железо поступает в окружающую среду горнорудного региона в виде мелкодисперсной пыли минералов магнетита и гематита, которые характеризуются химической устойчивостью к различного рода растворителям [9; 11]. Поэтому, поступающее в почвы в большом количестве железо техногенного происхождения в настоящий момент находится в инертной малодоступной для биоты форме.

В атмосферном воздухе Кривбасса марганец по содержанию занимает второе после железа место [11]. Вместе с тем, среди исследованных металлов уровни его накопления имеют максимальные значения. Нами установлено, что концентрации подвижных форм марганца в загрязненных почвах в 1,3 – 1,5 раза выше значений локального фона (табл.). Техногенное накопление металла выявлено во всех почвенных горизонтах и во всех исследованных зонах.

Установлено, что аккумуляция подвижных форм цинка выявлена только в зонах ТТЗ-2 и ТТЗ-3, где его содержание на 25 – 50 % выше значений локального фона. Содержание никеля в исследованных почвах в большинстве случаев находится на одном уровне с контрольными значениями. Исключение составляет зона с минимальным уровнем запыления ТТЗ-1, где в гумусовом и иллювиальном переходном почвенных горизонтах содержание подвижных форм никеля на 51 и 26 % соответственно выше локального фона.

Анализ полученных данных показал, что влияние СевГОКа обуславливает как накопление, так и выщелачивание подвижных форм меди.

Таблица

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах горнорудного региона, мг/кг сухой почвы

Генетический горизонт	Зона исследования	Тяжелые металлы							Кадмий
		Железо	Марганец	Цинк	Никель	Медь	Свинец	Кадмий	
Гумусовый	Контроль	1266±17,58	299,7±18,30	21,40±0,89	26,48±1,84	5,38±0,10	2,15±0,11	0,44±0,03	
	ТТЗ-1	1439±59,9*	425,7±23,71*	18,94±2,38	39,83±3,57*	5,36±0,81	1,80±0,10*	0,30±0,03*	
	ТТЗ-2	1488±14,38*	469,9±14,38*	26,85±1,59*	27,20±2,14	4,87±0,77	2,65±0,45	0,54±0,02*	
Гумусовый переходной	ТТЗ-3	1712±154,2*	276,2±113,34	32,82±5,28*	26,16±3,98	5,12±0,27	1,93±0,23	0,42±0,02	
	Контроль	1494±52,10	318,2±14,33	25,00±2,76	34,61±3,82	8,43±0,98	2,50±0,24	0,27±0,05	
	ТТЗ-1	1489±45,61	333,8±26,40*	24,27±3,56	35,95±2,99	6,38±0,85	1,87±0,11*	0,32±0,04	
Иллювиальный	ТТЗ-2	1451±30,70	434,3±15,17*	27,95±2,29	26,23±3,00	4,87±0,29*	3,16±0,39	0,45±0,03*	
	ТТЗ-3	1617±101,1	262,4±21,49*	24,95±1,80	29,28±1,54	6,36±0,83	2,10±0,17	0,63±0,05*	
	Контроль	838,8±140,9	177,1±32,62	17,89±0,65	25,26±1,38	5,14±0,33	1,78±0,11*	0,28±0,07*	
Иллювиальный переходной	ТТЗ-1	1246±64,55*	267,1±34,31*	19,47±3,45	24,83±2,52	6,48±1,21	2,06±0,12*	0,51±0,01*	
	ТТЗ-2	1323±67,44*	351,05±53,84*	27,95±0,57*	33,31±6,71	3,87±0,78	2,06±0,12*	0,70±0,09	
	ТТЗ-3	1294±94,51*	246,8±29,81*	20,76±2,22	24,70±1,05	4,62±0,79	1,88±0,12*	0,79±0,05	
Иллювиальный переходной	Контроль	824±109,9	163,3±28,78	17,36±0,74	24,55±1,29	5,12±0,26	2,85±0,07	0,53±0,11*	
	ТТЗ-1	1428±46,24*	272,6±42,88*	22,13±2,92	41,45±7,81*	6,20±0,31*	2,14±0,13*	0,46±0,01*	
	ТТЗ-2	1408±45,65*	399,7±29,72*	31,25±2,19*	30,28±2,04	7,11±0,67*	1,93±0,16*	0,46±0,01*	
ТТЗ-3	1220±54,74	220,6±10,03*	21,44±1,04*	24,55±1,29	6,47±0,76	2,03±0,07*	0,83±0,09		

Примечание: \* различие с контролем достоверно при P<0,05



В гумусовых горизонтах почвы (А и АВ) наблюдается тенденция к пониженному, по сравнению с контролем, содержанию этого металла. Однако только в переходном гумусовом горизонте зоны ТЗЗ-2 выявлено статистически достоверное выщелачивание меди, где ее концентрации на 70 % ниже значений локального фона. Одновременно установлено, что в самом глубоком иллювиальном переходном горизонте отмечается тенденция к техногенному накоплению меди. В горизонте ВС зон ТЗЗ-1 и ТЗЗ-2 содержание металла на 20 – 40 % выше значений контроля.

Для подвижных форм свинца статистически достоверно только техногенное выщелачивание. В поверхностных горизонтах почвы (А и АВ) это явление имеет место в зоне с минимальным содержанием пыли (ТЗЗ-1), в то время как с глубиной выщелачивание отмечается во всех зонах исследования. Содержание свинца в почвах техногеохимической аномалии в среднем на 30 – 60 % ниже значений локального фона (табл.).

В исследованных почвах выявлено как техногенное накопление подвижных форм кадмия так и его техногенное выщелачивание. При этом необходимо отметить, что аккумуляция металла характерна для гумусового (А) и переходного гумусового (АВ) почвенных горизонтов, где его содержание в 1,3 – 2,5 раза выше значений контроля. В нижних слоях почвы отмечается выщелачивание кадмия, поэтому количество этих форм в 1,5 – 2,8 раза ниже локального фона (табл.).

Таким образом, оценивая распределение подвижных форм тяжелых металлов в почвах горнорудного региона, необходимо отметить следующее. В почвах территорий, прилегающих к СевГОКу, выявлена аккумуляция и выщелачивание подвижных форм тяжелых металлов. В общем, интенсивность этих процессов незначительна и поэтому в большинстве случаев количество металлов в загрязненных почвах на 20 – 60 % отличается от контрольных значений. Максимальные уровни накопления установлены для марганца (зона ТЗЗ-2, иллювиальный переходный горизонт), где его содержание в 2,5 раза выше значений локального фона. Количество кадмия в иллювиальном почвенном горизонте зоны ТЗЗ-1 в 2,8 раза ниже значений контроля, что является наименьшим уровнем техногенного выщелачивания.

Проведенные исследования позволили установить зависимости уровней содержания подвижных форм ряда тяжелых металлов от концентрации пыли в приземном слое атмосферы. В поверхностных слоях почвы (горизонт А для железа и цинка, горизонт АВ для кадмия) выявлена прямая корреляционная связь, т. е. с увеличением содержания пыли интенсивность накопления подвижных форм тяжелых металлов в почвах возрастает. Одновременно установлено, что в нижних слоях почвы (горизонт АВ для железа и марганца) доминирует обратная корреляционная связь. Поэтому можно предположить, что техногенное влияние СевГОКа в зонах максимального запыления атмосферы затрагивает, в основном, поверхностные горизонты почвы. С уменьшением уровня содержания пыли это влияние преобладает в нижних слоях. Это обусловливается увеличением доли подвижных форм тяжелых металлов в атмосферной пыли и, как следствие, большей их способностью мигрировать на значительную глубину вниз по почвенному профилю.

#### Библиографические ссылки

1. Авцин А. П. Микроэлементы и человек М.: Медицина, 1991. 340 с.

2. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. 1987. 142 с.
3. Важенни И. Г. Деградация плодородия почв под воздействием техногенных выбросов // Тр. 8 Всесоюз. съезда почвоведов. Новосибирск., 1989. Ч. 1. С. 164 – 165.
4. Добровольский И. А., Цветкова Н. Н., Баранова Л. К. Некоторые закономерности распределения железа в техногенных ландшафтах Кривбасса // Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зон, их охрана и рациональное использование. Д.: ДГУ. 1988. С. 69 – 72.
5. Добровольский В. В. Высокодисперсные частицы почв как фактор масспереноса тяжелых металлов в биосфере // Почвоведение. 1999. № 11. С. 1309 – 1317.
6. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск.: Наука. 1991. 150 с.
7. Коваленко В. Е., Пашова В. Т., Чабан В. И., Скрипник Л. Н. Применение удобрений и содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях // Тр. докл. междунар. научной конф. «Пром. ботаника: состояние и перспективы развития». Донецк. 1993. С. 168 – 169.
8. Ковда В. В. Основы учения в почвах Т. 2. Общая теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1973. 240 с.
9. Сагт Ю. Е., Ревич Б. А., Е. П. Янин и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 1990. 336 с.
10. Трахтенберг И. М., Колесников В. С., Луковенко В. П. Тяжелые металлы во внешней среде: Современ. гигиен. и токсикол. аспекты. Минск: Наука і тэхніка, 1994. 285 с.
11. Тютюник Ю., Ткаченко Н. Геохімічний вплив гірничобогачувальних комбінатів Кривбасу на навколишнє середовище // Ойкумена, 1995. № 1. С. 133 – 139.
12. Цветкова Н. Н. Микроэлементный режим чернозема обыкновенного Присамарского стационара // Кадастровые исследования степных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского, их антропогенная динамика и охрана. Д.: ДГУ. 1991. С. 20 – 28.
13. Цветкова Н. Н., Зверковский В. Н., Туника Н. П., Волошина Н. В. Динамика микроэлементного состава насыпных почвогрунтов Западного Донбасса // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. Д.: ДГУ. 1988. С. 4 – 10.
14. Юшук Е. Д. Микроморфологические особенности почв степных биогеоценозов Кривбасса // Кадастровые исследования степных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского, их антропогенная динамика и охрана. Д.: ДГУ. 1991. С. 134 – 146.

Надійшла до редколегії 05.07.2000