

УДК [631.416+574.24.042+502.654]:622.2(477.63)

Экологическое прогнозирование накопления подвижных форм тяжелых металлов в почвах горнорудного региона

Савосько В.Н.

УкрНИИ промышленной медицины, Кривой Рог

На основе графических и математических моделей осуществлено прогнозирование накопления подвижных форм тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) в почвах Кривбасса (черноземы обыкновенные и южные). Составленные прогнозные карты позволили выявить наиболее экологически опасные зоны, где необходимо в первую очередь выполнять природоохранные мероприятия. Рассчитанные регрессионные уравнения дали возможность обосновать безопасные уровни выбросов пыли горно-обогатительными комбинатами, при которых не будут накапливаться тяжелые металлы в опасных количествах.

Ключевые слова: тяжелые металлы, экологическое прогнозирование, предельные уровни выбросов.

На основі графічних та математичних моделей здійснено прогнозування накопичення рухомих форм важких металів (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) у ґрунтах Кривбасу (чорноземи звичайні та південні). Складені прогнозні карти дали змогу виявити найбільш екологічно небезпечні зони, де необхідно в першу чергу проводити природоохоронні заходи. Розраховані регресійні рівняння дали змогу обґрунтувати безпечні рівні викидів пилу гірничо-збагачувальними комбінатами, при яких не будуть накопичуватися важкі метали в небезпечній кількості.

Ключові слова: важкі метали, екологічне прогнозування, граничні рівні викидів.

В настоящее время в крупных горнорудных регионах отмечается напряженная экологическая ситуация, которая в значительной мере обусловлена повышенным содержанием в окружающей среде тяжелых металлов, накопление которых в почвах вызывает деградацию плодородия и отражается на состоянии здоровья населения горнорудного региона [1–4]. Для снижения негативного воздействия техногенных тяжелых металлов в горнорудных регионах необходимо проведение комплекса природоохранных мероприятий. Экологическое прогнозирование поступления тяжелых металлов в почвы горнорудного региона необходимо рассматривать как первый шаг в этом направлении.

На основании прогнозирования можно выделить территории, где происходит наиболее интенсивное накопление металлов, а также обосновать профилактические мероприятия, направленные на предупреждение поступления тяжелых металлов в почвы региона.

Цель работы — разработать прогнозные модели накопления подвижных форм тяжелых ме-

таллов в почвах территорий, прилегающих к железорудным горно-обогатительным комбинатам.

В качестве объекта исследований были выбраны почвы, прилегающие к Северному и Ингулецкому горно-обогатительным комбинатам (СевГОК и ИнГОК): первый находится на северной окраине Кривбасса (черноземы обыкновенные), второй — на южной (черноземы южные). Пробные площадки для изучения содержания тяжелых металлов выбраны на основании карт распределения пыли в приземном слое атмосферы и минерализации грунтовых вод лессовидных суглинков и аллювиальных отложений.

Во время полевых почвенных исследований на выбранных площадках были заложены разрезы, взяты образцы. Кислоторастворимые вытяжки для определения содержания подвижных форм тяжелых металлов (железа, марганца, цинка, никеля, меди, свинца, кадмия) получали при сжигании почвы в азотной кислоте концентрацией 1 моль/л [1]. С эколого-гигиенической точки зрения для состояния окружающей среды наиболее значимыми являются верх-

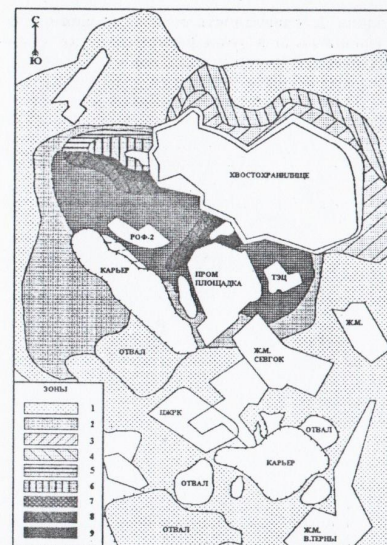


Рис.1. Прогнозные карты накопления металлов в почвах, прилегающих к СевГОКу.

ние слои почвы [2–4]. Поэтому нами при разработке прогноза поступления тяжелых металлов исследовался и анализировался только слой почвы 0–20 см.

Прогнозирование накопления тяжелых металлов в почвах нами осуществлялось посредством разработки графических и математических моделей, которым предшествовали расчеты поступления металлов в почвы горнорудного региона. Суммируя данные аэро- и гидрогенного поступления тяжелых металлов, мы составили прогнозные карты накопления металлов в почвах на ближайшие 20 лет. На картах выделялись зоны загрязнения, которые различаются как по составу металлов-загрязнителей, так и по интенсивности их аккумуляции (рис.1, 2).

Составленный прогноз свидетельствует о том, что в почвах, прилегающих к СевГОКу, наиболее опасными зонами являются участки совместного влияния аэро- и гидрогенного источников (табл.1). Так, в зонах с концентрациями пыли 1–2 ПДК в приземном слое атмосферы и минерализованных грунтовых вод 5–10 г/л в почвах в ближайшие 20 лет содержание марганца, цинка и свинца превысит критический уровень. Причем для марганца про-

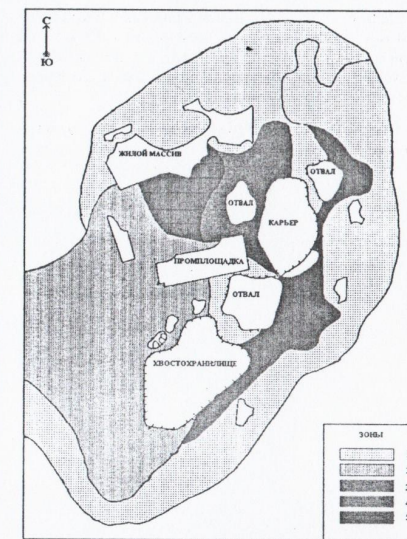


Рис.2. Прогнозные карты накопления металлов в почвах, прилегающих к ИнГОКу.

гнозируется двойное превышение этого уровня (зона 6). Содержанием пыли в 2–4 ПДК и минерализации грунтовых вод в 5–10 г/л вероятностно обуславливают экологически опасное накопление железа, марганца, цинка и свинца (зона 9). В остальных выделенных зонах число металлов, которые превысят критический уровень меньше: в зонах 1, 2, 4, 7 это один элемент (соответственно никель, цинк, марганец, железо), а в зонах 5 и 8 — два металла (соответственно марганец и цинк, железо и цинк).

На территориях, прилегающих к ИнГОКу, происходит более интенсивное накопление тяжелых металлов в почвах, чем на прилегающих к СевГОКу (табл.1). В ближайшие 20 лет прогнозируется экологически опасное накопление в почвах марганца, цинка, свинца и кадмия в результате влияния минерализованных грунтовых вод. В частности, концентрация свинца и цинка могут в 5–8 раз превысить допустимые уровни. Совместное действие двух техногенных факторов минерализованных грунтовых вод лессовидных суглинков, а также атмосферной пыли в 0.3–1.0 ПДК (зона 2) может обусловить четырехкратное превышение значений фона железа и цинка и двукратное свинца. В зоне 3 прогнозируется на-

копление железа и цинка в 4 раза выше критического уровня. Под влиянием пыли в 2-4 ПДК (зона 5) также будет происходить аккумуляция железа и цинка, превышающая в 2 раза этот уровень.

Таблица 1. Поступление тяжелых металлов в почвы территорий, прилегающих к железорудным горно-обогатительным комбинатам

Зона	Факторы влияния	Экологически опасные тяжелые металлы
Северный ГОК		
1	Пыль 0.3-1.0 ПДК	Ni
2	Грунтовые воды 1-5 г/л	Zn
3	Грунтовые воды 5-10 г/л	Mn, Zn, Pb
4	Пыль 1-2 ПДК	Mn
5	Пыль 1-2 ПДК, грунтовые воды 1-5 г/л	Mn, Zn
6	Пыль 1-2 ПДК, грунтовые воды 5-10 г/л	Mn*, Zn, Pb
7	Пыль 2-4 ПДК	Fe
8	Пыль 2-4 ПДК, грунтовые воды 1-5 г/л	Fe, Zn
9	Пыль 2-4 ПДК, грунтовые воды 5-10 г/л	Fe, Mn, Zn
Ингулецкий ГОК		
1	Грунтовые воды аллювиальных отложений	Mn, Zn*, Cu
2	Пыль 0.3-1.0 ПДК, грунтовые воды лессовидных суглинков	Pb*, Cd
3	Пыль 2-4 ПДК, грунтовые воды лессовидных суглинков	Fe*, Zn*
4	Пыль 0.3-1.0 ПДК	Fe, Pb
5	Пыль 2-4 ПДК	Fe, Zn

* Содержание этих металлов в 4 раза выше критического уровня.

В качестве математической модели, описывающей поступление тяжелых металлов в почвы, использовались однофакторные линейные регрессионные функции, которые были получены на основании корреляционно-регрессионных расчетов (табл.2).

Анализ данных табл.2 показал, что между содержанием пыли в приземном слое атмосферы и поступлением тяжелых металлов в почвы территорий, прилегающих к Северному и Ингулецкому ГОКа, существуют достоверные разнонаправленные корреляционные зависимости, которые в большинстве случаев указывают на наличие прямой и сильной связи. Лишь в одном случае (марганец на ИнГОКе) коэффициент детерминации регрессионного уравнения, описывающий зависимость поступления этого металла от пыли, меньше 0.50. Во всех остальных он превышает это значение, что свидетельствует о высокой математической значимости полученных уравнений.

Таблица 2. Зависимости между уровнями содержания пыли в атмосферном воздухе (x) и поступлением тяжелых металлов в почву (y)

Металл	Корреляционный анализ		Регрессионный анализ		
	r ²	P, месяц	уравнение	D	P, месяц
Северный ГОК					
Fe	0.94	0.01	$y = 9.66 + 15.10 x$	0.88	0.01
Zn	0.87	0.01	$y = 0.33 + 0.12 x$	0.76	0.01
Cd	0.86	0.01	$y = -0.0003 + 0.0001 x$	0.75	0.01
Ингулецкий ГОК					
Fe	0.71	0.05	$y = 20.70 + 12.06 x$	0.51	0.05
Mn	-0.65	0.05	$y = -0.21 - 0.06 x$	0.42	0.01
Zn	0.91	0.01	$y = 0.58 - 0.17 x$	0.83	0.01
Ni	0.97	0.01	$y = 0.14 - 0.05 x$	0.93	0.01
Cu	-0.81	0.05	$y = 0.21 - 0.05 x$	0.65	0.01
Pd	-0.78	0.05	$y = 0.27 - 0.04 x$	0.60	0.01
Cd	0.97	0.01	$y = -0.0011 + 0.002 x$	0.93	0.01

Примечание: r² - коэффициент корреляции; D - коэффициент детерминации; P - статистическая достоверность.

На основании приведенных математических моделей поступления тяжелых металлов в почву были рассчитаны оптимальные показатели выбросов пыли в атмосферу (табл.3). При этом установлено, что для предотвращения накопления железа выше экологически опасного уровня в почвах, прилегающих к СевГОКу, в ближайшие 20 лет необходимо снизить выбросы пыли в атмосферный воздух на комбинате до 6.4 тыс. т/год.

Уменьшение уровней поступления пыли на ИнГОКе в атмосферу до 3.55 тыс. т/год будет гарантировать в ближайшие 20 лет отсутствие экологически опасной аккумуляции в почве железа; до 2.6 тыс. т/год - цинка; до 1.3 тыс. т/год - свинца. Даже при существенном увеличении объемов выбрасываемой пыли не будет

Таблица 3. Допустимые уровни техногенных выбросов на ГОКах

Металл	Поступления металла в почву, кг/га	Содержания пыли в атмосфере, ПДК	Выбросов пыли в атмосферу*, т/год
Северный ГОК			
Fe	55.24	3.02	6342.00
Zn	0.93	5.00	10500.00
Cd	0.02	68	142800.00
Ингулецкий ГОК			
Fe	55.24	2.86	3524.95
Mn	13.08	100	123250.00
Zn	0.93	2.06	2538.95
Ni	1.16	20.40	25143.00
Pb	0.09	1.00	1235.00
Cd	0.02	9.45	11647.24

* Фактический уровень для СевГОКа - 8400.00, для ИнГОКа - 4900.00 т/год.

происходить накопления цинка и кадмия в почвах на СевГОКе, а марганца, никеля и кадмия на ИнГОКе.

Таким образом, составленные карты экологического прогнозирования (на 20 лет) техногенной аккумуляции тяжелых металлов позволили выделить наиболее экологически опасные зоны. На СевГОКе ими оказались территории совместного влияния аэро- и гидрогенного поступления этих элементов в почву (район прудов-накопителей). На ИнГОКе такой территорией является зона влияния грунтовых вод аллювиальных отложений (район между восточными окраинами карьера, хвостохранилища и р. Ингулец).

Полученные результаты прогнозирования позволили обосновать, что в ближайшие 20 лет уменьшение выбросов пыли в атмосферный воздух будет гарантировать отсутствие превыше-

ния критических уровней содержания в почве: на СевГОКе Fe - до 6.4 тыс. т/год; на ИнГОКе Fe - до 3.55, Zn - до 2.6, Pb - до 1.3 тыс. т/год.

Список литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. - Л.: Агропромиздат, 1987. - 142 с.
2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). - М.: Наука, 1990. - 261 с.
3. Трахтенберг И.М. Тяжелые металлы как химические загрязнители производственной и окружающей среды (Эколого-гигиенические аспекты) // Довкілля та здоров'я. - 1997. - № 2. - С. 48-51.
4. Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Луковенко В.П. Тяжелые металлы во внешней среде: Современ. гигиен. и токсикол. аспекты. - Минск: Наука и техника, 1994. - 285 с.

Поступила в редакцию 30.06.99

Ecological Prediction of Mobile Heavy Metal Forms Accumulation in Soils of the Iron-Ore Mine Region

Savosko V.N.

Ukrainian Scientifically Research Institute of Industrial Medicine, Krivoi Rog

At use of graphic and mathematical models prediction accumulation of mobile heavy metals forms (Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Cd) in Krivbass' soils (chernozems ordinary and southern) is carried out. Made predicted maps have allowed to reveal most ecologically hazardous zones where first of all it is necessary to carry out nature protection actions.

Key words: heavy metals, ecological prediction, limit level ejection.

Received June 30, 1999

Восьма Міжнародна конференція "Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах" відбудеться 12-15 червня 2001 р. в м. Ялта, пансіонат "Дружба".

Бажаючих прийняти участь в конференції просимо звертатися до оргкомітету НДЦ "Нафтохім" за телефонами: (044)265-92-95, 265-83-50.