

УДК 631.95:631.115.11

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ПРИФЕРМСКИХ СЕВООБОРОТОВ

А.С. МЕТЕЛКИН\*, Н.Ф. ХОХЛОВ, д. с.-х. н.

**Проведено детальное обследование почвы прифермских участков Тульской и Московской обл. на содержание тяжелых металлов. Установлены особенности пространственного распределения тяжелых металлов, требующие учета при планировании обследования, интерпретации результатов статистического анализа и организации экологически безопасного использования.**

Для восстановления интенсивного молочно-товарного производства экологически неблагоприятного промышленно-развитого центра страны может потребоваться усиление контроля содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвах, кормах и продукции [1, 3, 4]. Выполненные работы ряда исследователей [2, 5] показывают, что наибольшую сложность при организации агроэкологического обследования почв, статистической обработке и интерпретации результатов представляет отсутствие информации о характере пространственного распределения загрязнителей. Используемые в настоящее время рекомендации исходят из нормального распределения содержания тяжелых металлов в почве и поэтому допускают редкий случайный отбор с формированием объединенных проб по участкам и последующим усреднением [6]. Вместе с тем в условиях густонаселенных территорий явно ненормализованное распределение загрязнения почв ТМ кроме естественных (рельеф, определяющий горизонтальные потоки загрязнителей), производственных (неравномерное внесение удобрений) факторов обусловлено влиянием разнообразных антропогенных условий: близостью автомобильных дорог, гаражей, свалок, и т.п. [8,9]. Фермы могут быть также локальны-

ми источниками специфического пространственного загрязнения прилегающих территорий [4,7]. Поэтому чтобы надежно и точно оценить уровень загрязнения и организовать безопасное производство, необходимо знание особенностей пространственного распределения загрязнителей.

**Объекты и методы**

Исследования проводили на прифермских полях пригородного хозяйства (ОПХ “Дубровицы”) промышленно-развитого Подольского района Московской обл. и трех экстенсивных сельскохозяйственных предприятиях менее индустриального Дубенского района Тульской обл. Специализация хозяйств молочно-мясная. Почвы участков дерново-подзолистые среднесуглинистые. Содержание гумуса составляет 2,0-3,0%, рН — 5,7-6,5. Обследовано 6 полей (площадью 16-54 га), отличающихся рельефом (от равнинного до слабого склона), выращиваемыми культурами и удаленностью (от 30 до 600 м) от ферм. Объединенные (из 8-10 индивидуальных) почвенные пробы из слоя 0-20 см формировали по площадкам, располагаемым по прямоугольной сетке (п = 25) и катанам (п = 10). Расстояние между площадками опробования составляло в зависимости от площади поля от 50 до

\* Всероссийский государственный научно-исследовательский институт животноводства (ВИЖ).

200 м. Пробоподготовка и анализ выполнены в соответствии с ГОСТами (174.3.01-83, 174.4.02-84, 26483-85, 26207-84, 26213-84). Валовое содержание ТМ определяли в кислотной вытяжке (5 М  $\text{HNO}_3$ ) атомно-абсорбционным методом. Данные обрабатывали при помощи пакетов программ Microsoft Excel и Statistica 6.0.

### Результаты и их обсуждение

Используемые достаточно плотные регулярно-случайные системы пробоотбора позволили выявить статистические особенности накопления ТМ в почве прифермских полей и уровень величин погрешностей их оценки. Было выяснено, что большинство обследуемых участков отличаются повышенным разбросом данных (табл.1). Так, в ОПХ «Дубровицы» величины относительного варьирования  $K_v$  ( $K_v = S / \bar{x} \cdot 100$ ) составили на прилегающем к ферме поле (№16) по свинцу 125%, меди — 41,6%, никелю — 39,8% и хрому — 41,7%, т. е. показали резко отличное от нормального распределение. Чрезмерная для

модели нормальной случайной величины изменчивость идентифицирована на поле № 14 по кадмию, свинцу и хрому.

Однако при значительном отклонении от закона нормального распределения требуется иной подход к оцениванию и интерпретации, поскольку наиболее вероятное не равно среднему значению, и более релевантной оценкой центральной тенденции случайной величины является медиана [2]. Отсюда следует, что привычное вычисление средних арифметических значений и предельных погрешностей содержания ТМ в почве прифермских угодий на основе модели нормальной случайной величины может не отражать реальной опасности повышения загрязненности. К тому же сворачивание информации до средних величин скрывает наиболее опасные максимальные значения. Для поля № 16 ОПХ «Дубровицы» это выразилось в том, что при среднем значении свинца  $9,7 \pm 4,8$  мг/кг ( $0,25 \div 0,7$  ПДК) оценка медианы была равна 0, верхнего квартиля — 25 мг/кг, т. е. на не менее 25% площади прифермско-

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики содержания ТМ (мг/кг)  
в почве прифермских кормовых угодий ОПХ «Дубровицы»

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
<i>№ 16 (прилегает к ферме), многолетняя злаково-бобовая смесь</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	Не обнаружено	9,7	146,6	11,4	35,9	35,4
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	4,8	8,0	2,1	5,8	5,7	5,7
Медиана	0,0	140,0	12,5	38,5	35,0	35,0
3-й квартиль (L75)	25,0	152,5	15,0	45,0	40,5	40,5
Максимум	25,0	187,5	17,5	60,0	90,5	90,5
Коэффициент вариации ( $K_v$ ), %	125,2	13,6	41,6	39,8	41,7	41,7
<i>№ 14 (многолетняя злаково-бобовая смесь)</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	2,2	3,1	120,0	10,4	17,1	36,8
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	0,7	0,9	10,9	0,9	1,3	11,0
Медиана	2,5	2,5	120,0	10,0	17,0	40,0
3-й квартиль (L75)	2,5	2,5	125,0	11,9	18,2	48,2
Максимум	2,6	5,0	150,0	12,5	19,3	55,0
Коэффициент вариации ( $K_v$ ), %	37,6	36,1	12,5	12,5	10,4	40,7
<i>№ 17 (кормовые корнеплоды)</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	Не обнаружено	57,2	52,3	2,5	114,9	Не обнаружено
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	13,2	11,0	0,0	24,1	24,1	ружено
Медиана	58,5	51,3	2,5	122,5	122,5	
3-й квартиль (L75)	71,1	60,0	2,5	144,6	144,6	

П р и м е ч а н и е. ПДК в почве, мг/кг: Pb — 20; Zn — 85; Cu — 10; Ni — 35; Cr — 100 [4].

го участка накопление опасного поллютанта составило 1,25 ПДК. Заметим, что, несмотря на широкие доверительные интервалы, загрязнение почвы (1,2-3 ПДК) надежно идентифицировалось по Pb и Ni (на участке 17), Zn (на участке 14), Си (на участке 16).

Данные о содержании ТМ в почве прифермских полей экстенсивных хозяйств Дубенского района Тульской обл. отличались менее сильным разбросом, значительным средним и по ряду элементов локальным превышением ПДК (табл.2). Наибольшая пространственная пестрота в СПС “Воскресенское” выявлена по Ni и Cr (Кв 32 и 27%), в СПС “Ударник” — по Cd и Cr (47,0-49,2%), в СПС “Заветы Ленина” — по Cd, Pb (Кв соответственно 27,6 и 57%). Но и при таком разбросе данных по содержанию никеля и хрома превышение даже с учетом предельных погрешностей средних составляло 2-2,5 ПДК. Самая напряженная локальная экологическая ситуация по загрязнению почвы прифермских полей Zn и Cr зарегистрирована в СПС

“Воскресенское”, Ni — в СПС “Ударник”, где на части площадок опробования содержание ТМ превышало ПДК более чем 2,5 раза. Так, в СПС “Воскресенское” на 1/4 площадок опробования (оценка верхнего квартиля) содержалось не менее: Zn — 275, Cr — 230 мг/кг; в СПС “Ударник” Cr — 157,5 мг/кг.

Поскольку пространственные флуктуации по ряду металлов отличались от модели нормальной случайной величины, а большую экологическую нагрузку несут участки, непосредственно прилежащие к животноводческим комплексам [4, 7], были вычислены коэффициенты корреляции (R) между содержанием ТМ в почве и расстоянием площадок опробования от ферм. В ОПХ «Дубровицы» тесная обратная связь направленной изменчивости содержания свинца выявлена на прилежащем непосредственно к ферме участке №16 (R = -0,84), свинца и никеля — на поле № 17 с небольшим уклоном от поселка к реке Пахра (соответственно R = -0,99 и -0,80). В

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики содержания ТМ (мг/кг) в почве прифермских кормовых угодий хозяйств Дубенского района Тульской обл.

Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
<i>СПС «Ударник» (поле рядом с фермой), озимая рожь</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	2,5	2,5	71,0	16,3	40,0	128,5
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	0,9	0,0	9,8	4,8	3,1	38,9
Медиана	2,5	2,5	66,3	16,3	40,0	150,0
3-й квартиль (L75)	2,6	2,5	75,0	17,5	43,4	157,5
Максимум	5,0	2,5	105,0	27,5	46,5	200,0
Коэффициент вариации (Кв), %	47,6	0	19,8	35,0	11,4	42,9
<i>СПС «Заветы Ленина», картофель</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	3,3	4,5	197,6	18,8	9,0	31,7
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	0,9	1,7	44,8	3,6	1,4	4,7
Медиана	2,5	3,8	171,2	17,5	8,7	35,0
3-й квартиль (L75)	4,4	5,0	214,4	21,8	10,3	36,5
Максимум	5,0	10,0	356,0	30,0	12,2	40,0
Коэффициент вариации (Кв), %	37,2	57,3	32,2	27,6	20,5	21,2
<i>СПС «Воскресенское», люцерна</i>						
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	4,5	2,5	277,5	14,8	19,6	186,5
Предельная погрешность средней ( $S \bar{x} \cdot t$ )	0,7	0,0	12,9	1,6	4,5	35,8
Медиана	5,0	2,5	275,0	15,0	18,5	196,3
3-й квартиль (L75)	5,0	2,5	275,0	16,9	19,6	230,0
Максимум	5,0	2,5	325,0	17,5	32,0	240,0
Коэффициент вариации (Кв), %	23,3	0	6,6	14,8	32,3	27,0

Тулской обл. тесная линейная регрессионная сопряженность по содержанию Cd, Си и Ni установлена в «Заветах Ленина», по Zn — в «Ударнике», по Сг — в «Воскресенском».

Следовательно, на прилегающих к ферме полях степень пространственного загрязнения почвы ТМ определяется влиянием животноводческого комплекса, что обосновывает проведение не только регулярных топоориентированных схем пробоотбора и геостатистического анализа, но и требует контроля и существенных корректив в распределение по полю органических удобрений. Судя по коэффициенту детерминации и ошибках регрессионных моделей направленное пространственное изменение содержания ТМ в почве на дальних кормовых угодьях определяется в основном рельефом и другими факторами.

Особенности пространственной картины загрязнения почвы прифермских полей выявлены и по комплексу ТМ. Так, кластерным анализом на поле № 16 в ОПХ «Дубровицы» четко выделены 2-3 зоны концентрации ТМ. Зона с наивысшей концентрацией ТМ выявлена на площадках опробования, прилегающих к ферме, зона с низким содержанием — на площадке, удаленной от фермы части поля.

#### Заключение

Прифермские кормовые угодья в промышленно развитом центре РФ, даже при неопасных арифметических средних величинах содержания тяжелых металлов в почве, могут отличаться высокой ненормализованной пространственно направленной (к ферме) вариабельностью. Такая специфика распределения загрязнителей делает рациональным использование при агроэкологическом обследовании прифермских полей

топоориентированных регулярных схем опробования (сетки, трансекты) и структурных средних (медиан) при статистическом анализе. Для организации мониторинга выявленные очаги загрязнения необходимо отметить на карте поля с возможностью идентификации на местности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексахин Р.М.* Методические указания по получению экологически чистой сельскохозяйственной продукции на техногенно-загрязненных территориях. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2005,—
2. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. —
3. *Елькина Г.Я., Безносиков В.А., Мокиев В.В.* Мониторинг почв европейского Северо-Востока // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз, ситуации, пути развития, решения: Матер. междунар. конф. Архангельск, 2002. Т. 1. С. 556-558. —
4. *Ермохин Ю.И., Синдирева А.В., Трубина Н.К.* Баланс тяжелых металлов в системе почва — удобрение — растение — животное // Сб. докл. Всероссийской научно-практической конференции. Казань, 2001. С.72-73. —
5. *Красницкий В.М.* Агроэкоксикологическая оценка агроценозов. Омск, 2001.—
6. *Кузнецов А.В., Лунев М.И.* Агроэкологический мониторинг сельскохозяйственных угодий. Отбор проб почвы и растений: Матер, науч.-практ. конф. «Земледелие в 21 веке, проблемы и решения». Курск, 2001. С.166-175. —
7. *Неверова О.П.* Экологический мониторинг в зоне деятельности животноводческих предприятий. Екатеринбург, 2003. —
8. *Овчаренко М.М.* Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение. Автореф. докт. дисс. М., 2000. —
9. *Черных Н.А., Милащенко Н.З.* Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Пушино, 2001.

#### SYMMARY

Detailed soil examination was done on heavy metals content on close to farms lots in Tulskaaya and Moskovskaya regions. Properties of space distribution of heavy metals witch required registration by planning inspection, statistical analysis and interpretation have been established.