

# НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫБРОСОВ ГРЭС НА АГРОЛАНДШАФТЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА РОССИИ

Ю.А. Мажайский<sup>1</sup>, Ю.П. Пожогин<sup>2</sup>, С.А. Тобратов<sup>3</sup>

Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Рязань, Россия (1)  
Рязанское областное управление «Рязаньмелиоводхоз», Рязань, Россия (2)  
Рязанский государственный педагогический университет, Рязань, Россия (3)

## Введение

Одним из последствий развития промышленного и сельскохозяйственного производства является трансформация природных циклов миграции вещества и связанное с этим ухудшение качества окружающей человека среды. Техногенное загрязнение через атмосферу (атмотехногенез) в последние годы становится одним из главных путей поступления элементов в ландшафты. При высокотемпературных технологических процессах образуются мельчайшие аэрозольные частицы (0,5...10 мкм), которые плохо улавливаются установками газоочистки и способны мигрировать в атмосфере на значительные расстояния. При этом с мельчайшими техногенными аэрозолями в атмосферу селективно поступают высокотоксичные тяжелые металлы (ТМ) с низкими кларками — Pb, Cd, Hg и др. Попадая в организм человека в относительно небольших количествах, они не приводят к отравлениям, однако способны накапливаться в ряде органов и тканей, вызывая их разрушение, возникновение злокачественных опухолей, тератогенные и мутагенные эффекты, понижение сопротивляемости к инфекциям. С этим связан значительный интерес к изучению поступления и трансформации в ландшафтах техногенных ТМ, который обусловлен не только их токсическими свойствами, но также и тем, что данные элементы являются индикаторами антропогенного воздействия.

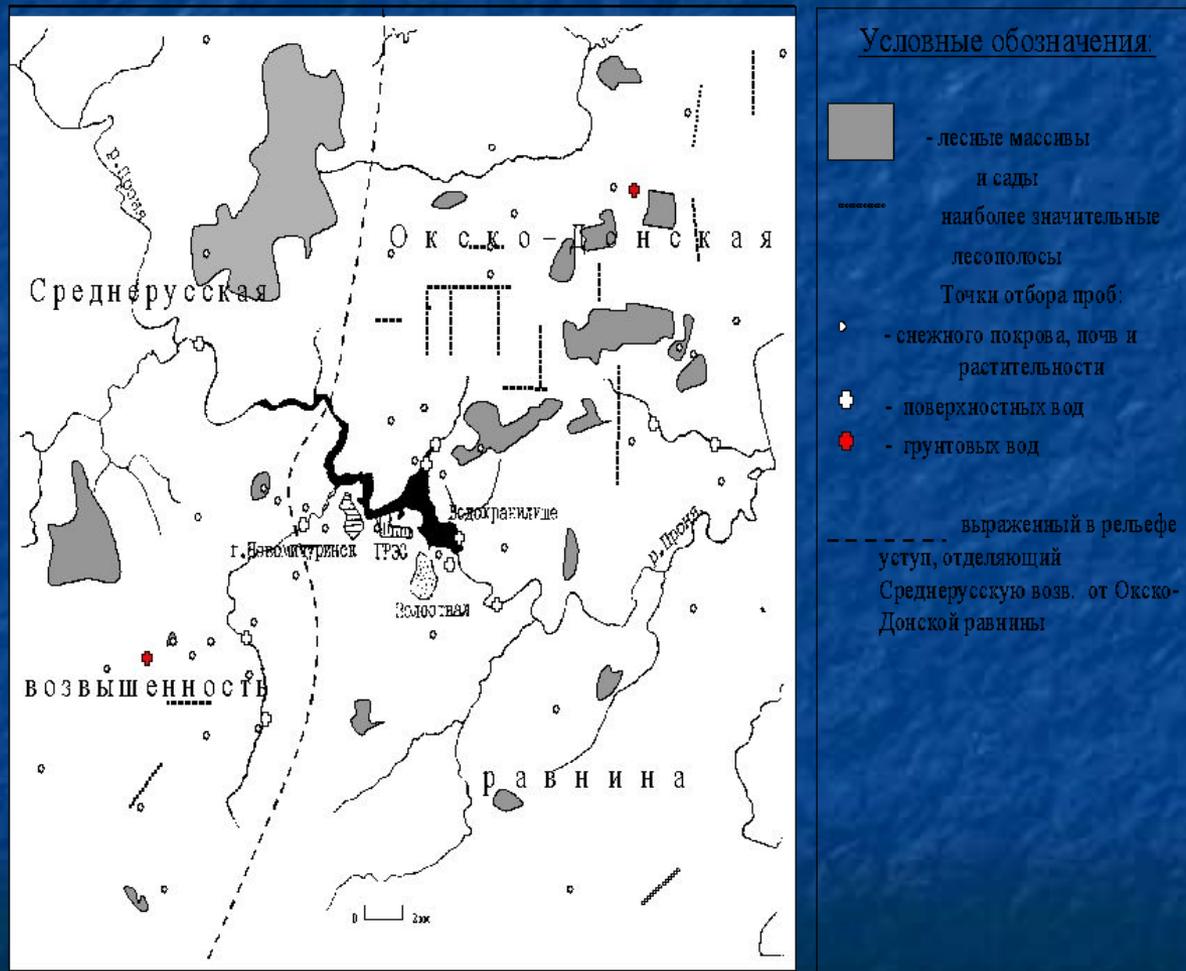
Экологическая проблема, связанная с поступлением ТМ в ландшафты, наиболее обострена в регионах с большой степенью концентрации производства и населения, в т.ч. в Центральном регионе России. При этом влияние выбросов промышленных предприятий в большинстве случаев затрагивает сельскохозяйственно освоенные ландшафты в радиусе до 30 км от источника выбросов. Существует насущная необходимость разработки экологически обоснованных агротехнологий, направленных не только на получение сельхозпродукции, но и на учет негативных последствий техногенного воздействия.

Одной из крупнейших тепловых электростанций Центра России является Рязанская ГРЭС. На нее приходится 50...60% всего объема выбросов предприятий Рязанской области, включая и г. Рязань. Электростанция расположена в 80 км к юго-востоку от Рязани в местности со значительным развитием сельскохозяйственного производства (распаханность превышает 70% общей площади территории). Основные загрязняющие вещества (ЗВ), продуцируемые в процессе сжигания топлива — оксиды серы и азота, а также ТМ, адсорбирующиеся на частицах угольной и мазутной золы. В прилегающие к предприятию ландшафты поступает лишь 7...10% газообразных компонентов выбросов (остальное включается в дальнюю атмосферную миграцию), в то время как 40...60% твердой фазы оседает в пределах зоны наибольшего воздействия. В связи с этим влияние РГРЭС на экосистемы прилегающей территории связано в первую очередь с атмосферным поступлением ТМ.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования рассматривались основные компоненты агроландшафтов зоны воздействия Рязанской ГРЭС: почвы, растительность (в первую очередь сельскохозяйственная), поверхностные и грунтовые воды, донные отложения, осадки зимнего и летнего периодов. Начальным этапом работы явились полевые исследования текущего экологического состояния агроландшафтов с выявлением факторов и особенностей техногенеза. При этом в границах зоны наибольшего воздействия предприятия была сформирована сеть стационарных точек опробования, размещенных вокруг РГРЭС по радиально-концентрической сети (рис. 1). Во всех образцах объектов окружающей среды определялось валовое содержание ТМ атомно-абсорбционным методом по методике ЦИНАО с использованием экстрагента — 5н.  $\text{HNO}_3$  (сорбированные и обменные формы экстрагировались соответственно 1н.  $\text{HNO}_3$  и ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8). Полученные данные подвергались математической обработке, а также использовались при составлении ландшафтно-геохимических карт.

# Рисунок 1. Карта-схема района полевых исследований



На втором этапе исследований был заложен полевой опыт, целью которого является выбор экологически оптимального комплекса агроулучшающих мероприятий в техногенно загрязняемых агроландшафтах региона в условиях различного уровня загрязнения почв. Варианты опыта обосновывались по сумме атмосферных выпадений приоритетных загрязнителей (Pb и Cd) в зоне максимального влияния выбросов РГЭС за 10, 20 и 30 лет (последний временной промежуток соответствует времени эксплуатации ГЭС начиная с пуска первой очереди). Уровни загрязнения почв моделировались внесением на опытные площадки химически чистых солей ТМ в дозах, указанных в табл. 1. Изучался процесс транслокации ТМ в фитомассу кормовых трав, его закономерности и последствия.

### **Анализ результатов исследований**

Поступление ЗВ из атмосферы оценивалось на основе анализа их содержания в атмосферных осадках зимнего и летнего периодов. Оценка техногенного вклада в атмосферные выпадения ТМ осуществлялась при анализе соответствующих кривых распределения. Данный метод основан на том, что форма распределения, как весьма консервативный статистический показатель, отклоняется от нормальной функции лишь при наличии сильного и устойчивого внешнего воздействия. Было установлено, что в зоне воздействия РГЭС ярко выраженными аномалиями распределения отличаются величины выпадений Pb и Cd (рис. 2). В дальнейшем определялась территориальная приуроченность аномалий. Выявлено, что зона максимума поставки атмотехногенных ТМ протягивается от водоразделов Среднерусской возвышенности на юго-западе через промплощадку ГЭС по направлению преобладающего переноса выбросов. Это указывает на значительный рост выпадений поллютантов под влиянием техногенных выбросов и активизацию оседания аэрозолей — носителей ТМ в местности с эрозионным рельефом.

**Таблица 1. Уровни внесения в почву приоритетных ЗВ  
по вариантам полевого опыта**

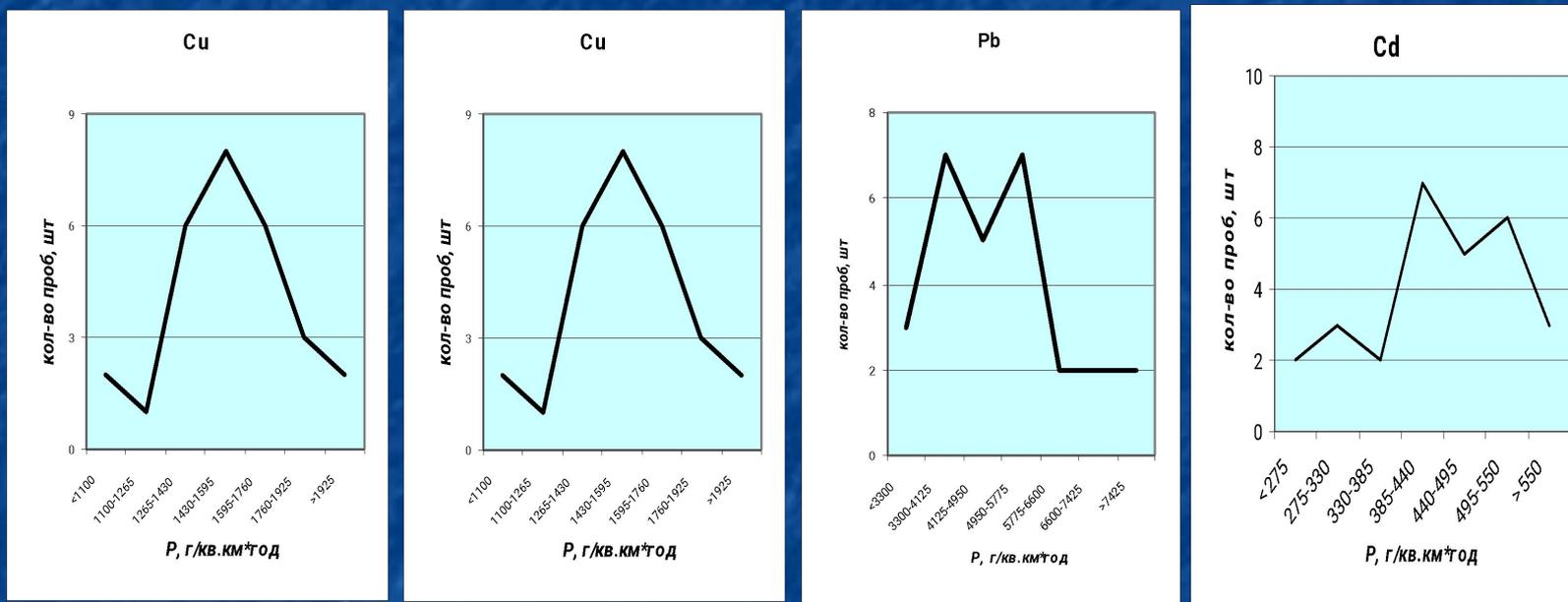
Уровень загрязнения	ТМ*	Доза внесения элемента, г/м <sup>2</sup>	Концентрация ТМ в 0...20 см слое почвы после внесения солей, мг/кг
1	Pb	13,5	62
	Cd	0,14	0,57
2	Pb	26,9	113,5
	Cd	0,28	0,84
3	Pb	40,4	165,3
	Cd	0,42	1,11
ПДК, мг/кг почвы	Pb		32,0
	Cd		1,0

\*Примечание:

свинец вносился в форме  $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ ;

кадмий — в форме  $CdSO_4 \cdot 8H_2O$

## Рисунок 2. Кривые распределения величин атмосферных выпадений ТМ (Р) в зоне воздействия Рязанской ГРЭС (по данным снегосъемок)



В ходе исследований летних осадков был выявлен максимум антропогенного потока Pb на одном из водоразделов Среднерусской возвышенности, где уровень его выпадений достигает  $100 \text{ кг/км}^2$  в месяц, а концентрация в атмосферных аэрозолях превышает почвенный фон в 1000...4000 раз и достигает 41000 мг/кг, что характерно обычно лишь для выбросов предприятий цветной металлургии. Аналогичное обогащение отмечается и для Cd. Чрезвычайно высокая контрастность и значительная устойчивость во времени данного максимума красноречиво свидетельствует о потенциальной опасности, исходящей от выбросов угольных ТЭС, особенно — при специфических условиях рассеяния примесей (пересеченный рельеф и малые скорости ветра при устойчивой стратификации атмосферы). В дальнейшем уровни выпадений данных ТМ были выбраны в качестве базовых при проведении экспериментальных исследований.

В ходе почвенно-геохимических исследований выявлено техногенное влияние на содержание ТМ в почвенном покрове (в первую очередь в отношении Pb и Cd), проявляющееся, в частности, в наличии обширных аномалий в почвах, которые четко коррелируют с атмосферными выпадениями нерастворимых форм ТМ: коэффициент корреляции содержания Pb в почве с величинами его атмосферной поставки  $r = + 0,68$ , а содержание в почвах кадмия, по данным регрессионного анализа, на 62% определяется поступлением из атмосферы его нерастворимых форм, влияние других факторов незначимо. Атмосферные выпадения способствуют также росту сорбированных форм Pb и Cd; подвижность Cu и Zn не проявляет связи с техногенезом. При этом сельскохозяйственное освоение земель способствует активизации выноса мобильных форм ТМ из почвенного профиля (табл. 2), что связано с миграцией в процессе поверхностного и внутрипочвенного стока.

**Таблица 2. Отношение запасов подвижных форм ТМ в почвах сельхозугодий к величине запасов в обследованных почвах зоны воздействия Рязанской ГРЭС, %**

Формы:	Экстрагент	Cu	Zn	Pb	Cd
Сорбированные	1н. HNO <sub>3</sub>	95	82	90	98
Обменные	Ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8	79	68	73	84

Регрессионный анализ (пошаговая регрессия) показал, что из всех факторов почвенной среды преобладающее влияние на миграцию ряда ТМ оказывают компоненты гумуса, в т.ч. образующиеся при дегумификации пахотных почв. Зафиксирован также рост биопоглощения ТМ в условиях низкой агротехники. Таким образом, при отсутствии почвенно-мелиоративных мероприятий происходит рост миграции загрязнителей в сопряженные с почвой среды — грунтовые воды и фитомассу.

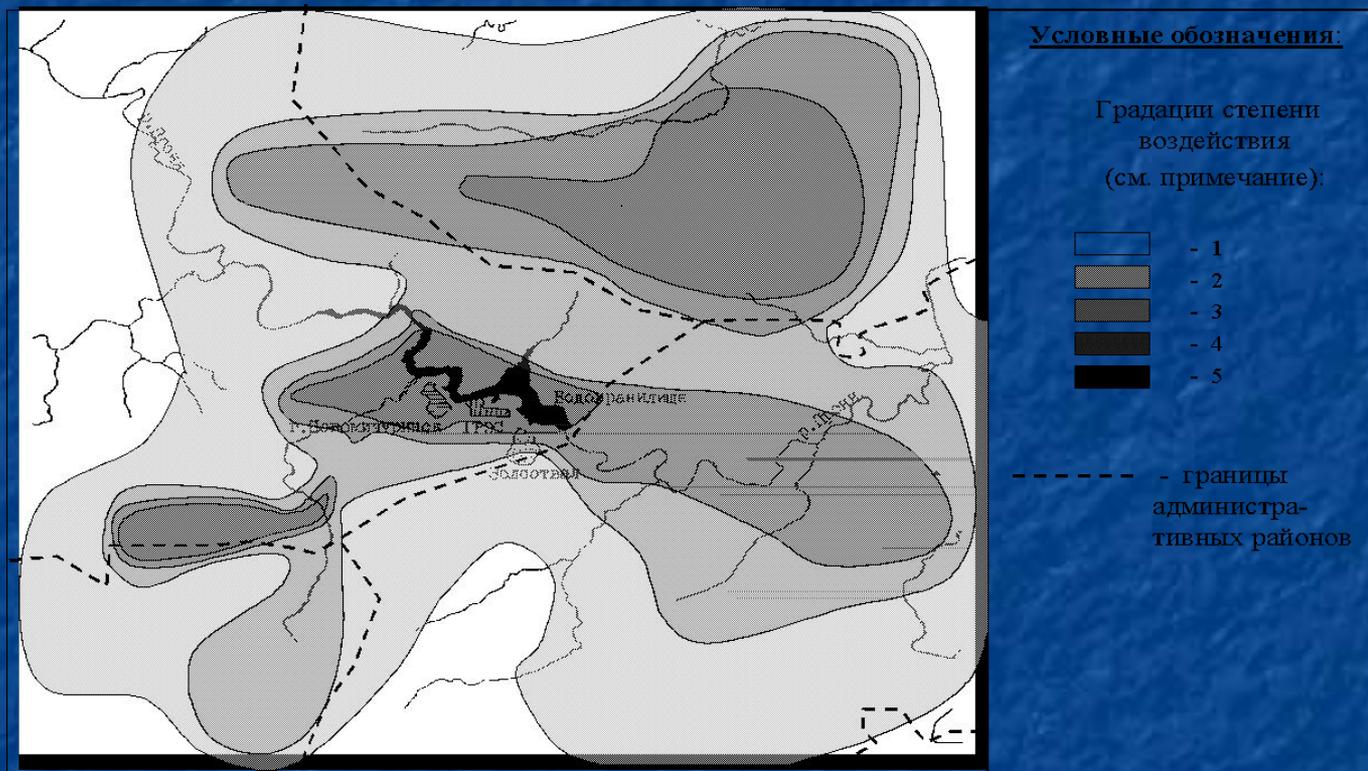
Как свидетельствуют результаты балансовых расчетов (табл. 3), в ландшафтах исследованного района сложился устойчивый положительный баланс поступления и выноса ТМ. При этом рассматриваемые элементы по преобладающим факторам миграции могут быть подразделены на две группы. Биогенная миграция абсолютно преобладает для Cu и Zn вследствие их концентрирования в продукции растениеводства и органических удобрениях, в связи с чем роль таких статей баланса, как выщелачивание и атмосферные выпадения относительно снижена. В то же время атмотехногенный привнос обеспечивает 80...90% поступления в ландшафты Pb и Cd, а основной фактор их выноса — водная миграция. Таким образом, общий характер миграции ТМ определяется в основном степенью их биофильности.

По результатам исследований свинец и кадмий были признаны приоритетными загрязнителями ландшафтов зоны воздействия Рязанской ГРЭС, о чем свидетельствуют, в частности, значения коэффициентов деструкционной активности (соотношение атмотехногенного привноса и биопоглощения), характеризующие степень опасности элементов для биоты: для Cu и Zn 2,1...2,7, а для Pb и Cd — 31...105. Также определены территории, наиболее подверженные избыточному поступлению приоритетных токсикантов из атмосферы (рис. 3).

**Таблица 3. Баланс ТМ в агроландшафтах зоны воздействия  
Рязанской ГРЭС**

Статьи баланса		Cu	Zn	Pb	Cd
+	<b>ВСЕГО, г/км<sup>2</sup>*год</b>	<b>3082</b>	<b>11585</b>	<b>4747</b>	<b>574</b>
	Атм. выпадения, %	39	62	90	77
	Мин. удобрения, %	1,5	1	1,5	7
	Орг. удобрения, %	54	34	6,3	15
	Известь, %	4	1	2,2	1
	Семена, %	2	2	0,6	0,1
-	<b>ВСЕГО, г/км<sup>2</sup>*год</b>	<b>799</b>	<b>4839</b>	<b>1070</b>	<b>109,5</b>
	Вынос с урожаем, %	58	70	14	3,8
	Водная миграция, %	31	25	82	95
	Технол. эрозия, %	11	5	4	1,2
<b>Невязка баланса, г/км<sup>2</sup>*год</b>		<b>+2283</b>	<b>+6746</b>	<b>+3677</b>	<b>+464</b>
Интенсивность накопления, % валового привноса		74	58	77	81

### Рисунок 3. Оценка степени амотехногенного влияния на ландшафты зоны воздействия РГРЭС (в отношении приоритетных ЗВ – Pb и Cd)



- 1 — влияние практически отсутствует; 2 — нерегулярно возникающие техногенные аномалии Pb и Cd в отдельных природных средах (в основном в атмосферных осадках);  
3 — устойчивые техногенные аномалии в отдельных компонентах ландшафта;  
4 — то же, в большей части ландшафтных компонентов; 5 — устойчивые аномалии токсикантов во всех компонентах

Полевые экспериментальные исследования. Полевой опыт заложен в мае 2003 г. на землях АОЗТ «Малинищи» Пронского района Рязанской области (темно-серые лесные почвы). Опытный участок не подвергается интенсивному антропогенному воздействию, и при этом почвенные условия соответствуют таковым в агроэкосистемах зоны воздействия РГРЭС. Варианты опыта моделируют развитие сельскохозяйственных культур при различных уровнях концентрации приоритетных загрязнителей (Pb и Cd) в почвах сельхозугодий в условиях применения тех или иных агрономелиоративных приемов. Уровни внесения металлов в почву рассчитаны на основании данных полевых исследований их антропогенного потока в зоне воздействия РГРЭС (табл. 1).

Как результат указанных процессов, отмечен значительный рост концентраций Pb и Cd в компонентах водных экосистем (табл. 4), которые являются, таким образом, наиболее уязвимым звеном в цепи миграции ТМ по ландшафтными средам.

При разработке схемы опыта мы исходили из необходимости максимально использовать вещественно-энергетический потенциал агроландшафтов региона, а также ориентировались на результаты этапа полевых исследований, свидетельствующие о значительной опасности техногенного загрязнения свинцом и кадмием и возрастании данной опасности в условиях деградации пахотных почв по причине низкого уровня агротехники. В первый год исследований произведен посев однолетних кормовых трав (викоовсяная смесь) с подсевом многолетних; укос однолетних проводился 26 июля.

Результаты исследования содержания ТМ в растительности по вариантам опыта представлены в табл. 5. Как свидетельствуют полученные данные, наибольшей концентрации Pb и Cd достигали при отсутствии агрономелиоративных мероприятий (V вариант), причем на третьем уровне загрязнения содержание кадмия превышало ПДК в 1,3 раза, а свинца — в 11 раз. Применение извести (из расчета 6,5 т/га) и минеральных удобрений (нитрофоска) позволяло снизить общий уровень транслокации ТМ в фитомассу (в частности, под влиянием эффекта разбавления), но избежать превышения ПДК, тем не менее, не удалось.

**Таблица 4. Показатели водной миграции ТМ  
в ландшафтах Русской равнины**

Показатель	Регион, норматив	Cu	Zn	Pb	Cd
Концентрация растворенных форм, мкг/л	Зона воздействия РГРЭС	2,8	7,8	10,3	1,0
	Бассейн р. Оки (фон)	0,3-3	0-7,5	0-1	0,05-0,1
	ПДК с/б	1000	1000	30	1,0
Концентрация во взвеси поверхностных вод, мг/кг	Зона воздействия РГРЭС	21	60	163	13,4
	Бассейн р. Волги (среднее)	1-10	27-138	0,06-3,0	незн.

**Таблица 5. Концентрация ТМ в фитомассе однолетних трав (овес, вика) по вариантам полевого эксперимента, мг/кг воздушно-сухого вещества**

Вариант	Агромелиоративный прием	Уровень загрязнения ТМ (см. табл. 1)	Pb	Cd
I	Навоз	1	2,54	0,40
		2	1,05	0,44
		3	2,36	0,13
		<b>среднее</b>	<b>1,98</b>	<b>0,32</b>
II	Навоз, минеральные удобрения, известь	1	1,97	0,41
		2	3,88	0,42
		3	14,77	0,41
		<b>среднее</b>	<b>6,87</b>	<b>0,41</b>
III	Известь	1	14,52	0,70
		2	3,70	0,20
		3	3,69	0,33
		<b>среднее</b>	<b>7,30</b>	<b>0,41</b>
IV	Минеральные удобрения	1	3,09	0,44
		2	2,82	0,17
		3	30,61	0,68
		<b>среднее</b>	<b>12,17</b>	<b>0,43</b>
V	— (только внесение ТМ)	1	4,29	0,24
		2	3,76	1,19
		3	54,68	1,30
		<b>среднее</b>	<b>20,91</b>	<b>0,91</b>
Контроль			1,43	0,12
ПДК			5,0	1,0

Причина — повышение геохимической подвижности ТМ в почве при внесении азотосодержащих удобрений, а также рост стабильности комплексных соединений ТМ с низкомолекулярной органикой на первом, минимальном уровне загрязнения в варианте III с известью (при большей концентрации ТМ в почвенном растворе, очевидно, происходит их осаждение в составе малорастворимых карбонатов, что снижает корневое поглощение). Наиболее экологически оптимальный уровень концентраций ТМ достигался при внесении навоза КРС (из расчета 100 т/га), что свидетельствует о приоритетности проблемы улучшения гумусного состояния пахотных почв в целях снижения миграции токсикантов.

Под влиянием агроулучшающих мероприятий и различного уровня внесения ТМ изменялась также урожайность кормовых трав (табл. 6 и рис. 4). При этом в ряде случаев рост загрязненности почвы опытных площадок приводил к росту биомассы растений (особенно в II и IV вариантах с применением минеральных удобрений), что, по нашему мнению, обусловлено часто наблюдаемым «тренирующим эффектом» загрязнителей. Однако возрастала и концентрация ТМ в фитомассе, что делало ее непригодной для скармливания сельскохозяйственным животным. Кроме того, урожайность на контрольных площадках в большинстве случаев была заметно выше, чем на опытных (рис. 4), в варианте с известью — на 43,5 %. Минимальное снижение урожайности под влиянием токсикантов и оптимальное соотношение количества и качества фитомассы зафиксировано в варианте I с применением навоза.

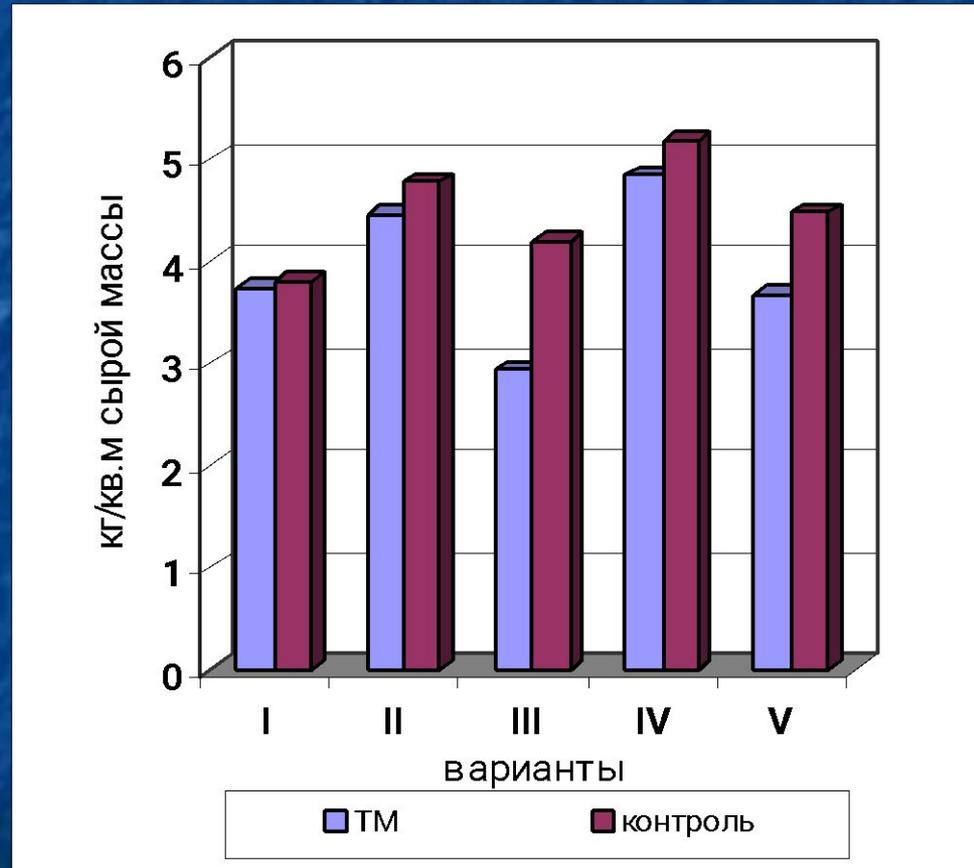
## **Выводы**

Таким образом, по полученным нами данным, аномально повышенными накоплением и миграцией во всех компонентах окружающей среды в зоне влияния выбросов Рязанской ГРЭС характеризуются свинец и кадмий, что позволило нам отнести их к приоритетным загрязнителям агроландшафтов. При этом внесение органических удобрений в загрязненные Pb и Cd почвы способно дать максимальный экологический эффект. Полевые и лизиметрические экспериментальные исследования, а также мониторинг атмотехногенного загрязнения агроландшафтов региона продолжаются.

**Таблица 6. Урожай однолетних трав по вариантам полевого эксперимента  
(кг/м<sup>2</sup> сырой фитомассы)**

Вариант (табл. 5)	Уровень загрязнения ТМ (табл. 1)			Контроль
	1	2	3	
I	3,4	4,0	3,8	3,8
II	4,2	4,6	4,6	4,77
III	3,3	3,4	2,1	4,20
IV	4,4	5,1	5,0	5,17
V	3,8	3,95	3,7	4,47
Контроль чистый	4,28			

Рисунок 4. Урожай по вариантам опыта (2003 г.)



## Список литературы

1. Экология энергетики: учеб. пособие / Под общ. ред. В.Я. Путилова. М.: Издательство МЭИ, 2003. 716 с.
2. Экологические аспекты мелиорации земель юга Нечерноземья / Под общ. ред. докт. с.-х. наук Ю. А. Мажайского, канд. техн. наук В. И. Желязко. М.: Изд-во МГУ. 2003. 319 с.