

НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫБРОСОВ ГРЭС НА АГРОЛАНДШАФТЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА РОССИИ

Ю.А. Мажайский¹, Ю.П. Пожогин², С.А. Тобратов³

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.

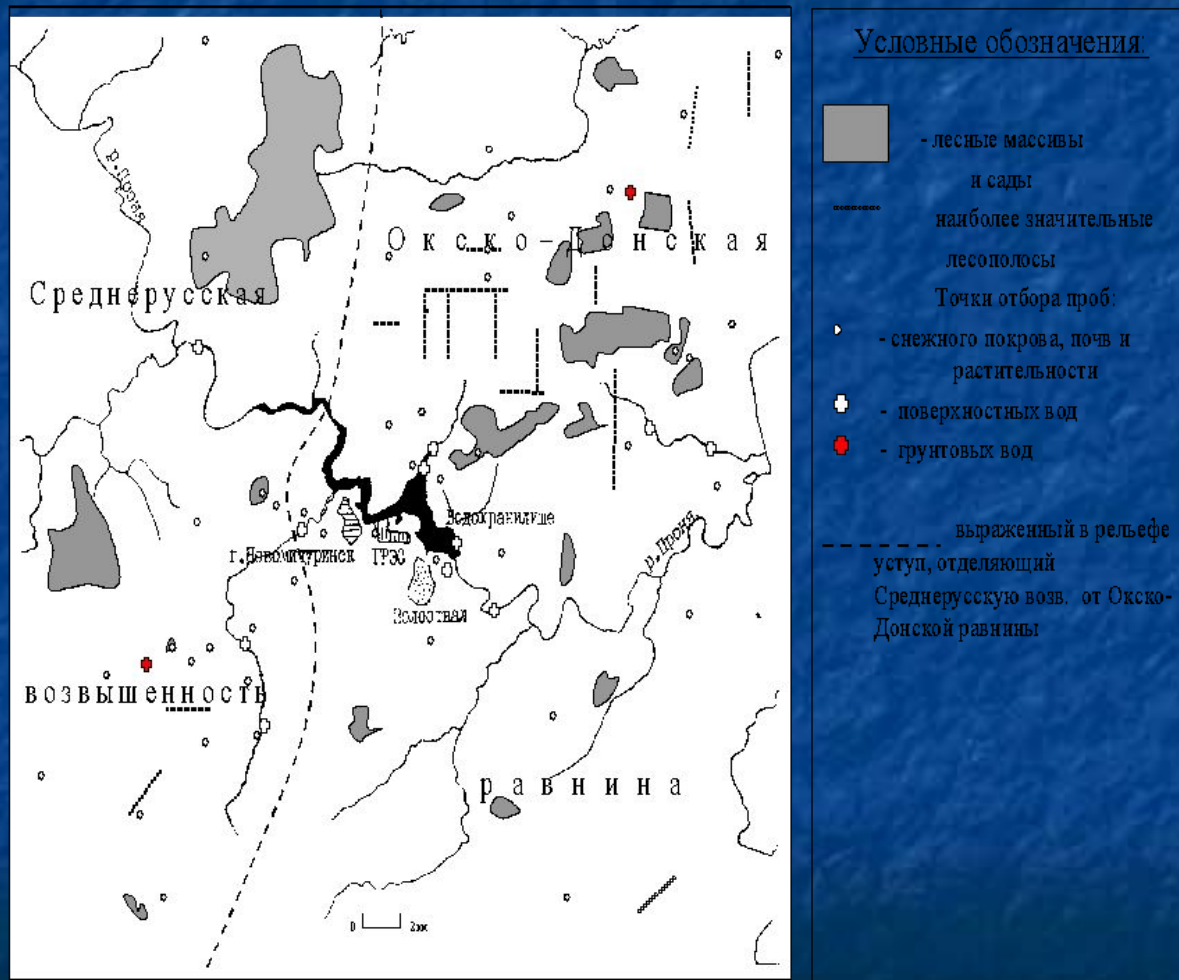
Экологическая проблема, связанная с поступлением ТМ в ландшафты, наиболее обострена в регионах с большой степенью концентрации производства и населения, в т.ч. в Центральном регионе России. При этом влияние выбросов промышленных предприятий в большинстве случаев затрагивает сельскохозяйственно освоенные 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. HNO_3 (сорбированные и обменные формы экстрагировались соответственно 1н. 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 агромелиоративных 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 РГРЭС за 10, 20 и 30 лет (последний временной промежуток соответствует времени эксплуатации ГРЭС 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 РГРЭС 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 ГРЭС 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**

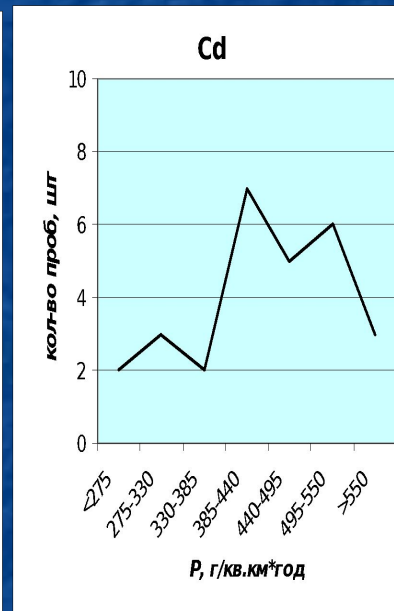
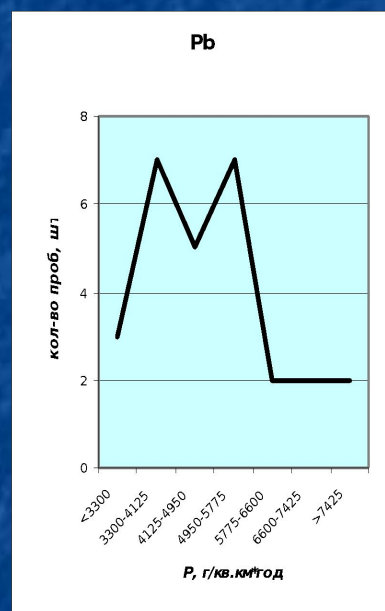
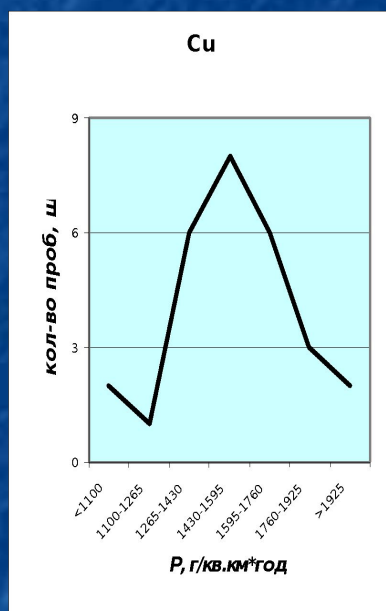
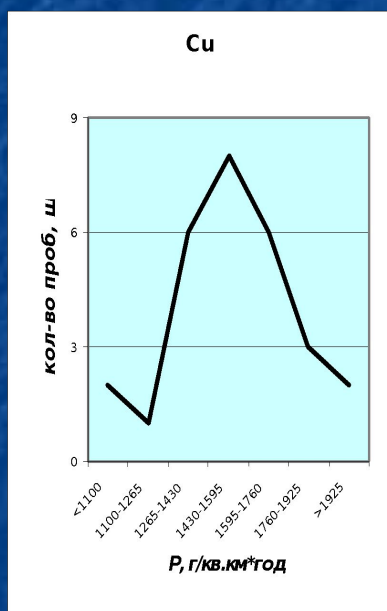
| Уровень загрязнения | ТМ* | Доза внесения элемента, г/м ² | Концентрация ТМ в 0...20 см слое почвы после внесения солей, мг/кг |
|---------------------|-----|--|--|
| 1 | Pb | 13,5 | 62 |
| | Cd | 0,14 | 0,57 |
| 2 | Pb | 26,9 | 113,5 |
| | Cd | 0,28 | 0,84 |
| 3 | Pb | 40,4 | 165,3 |
| | Cd | 0,42 | 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 (P) 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 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 ₃ | 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.

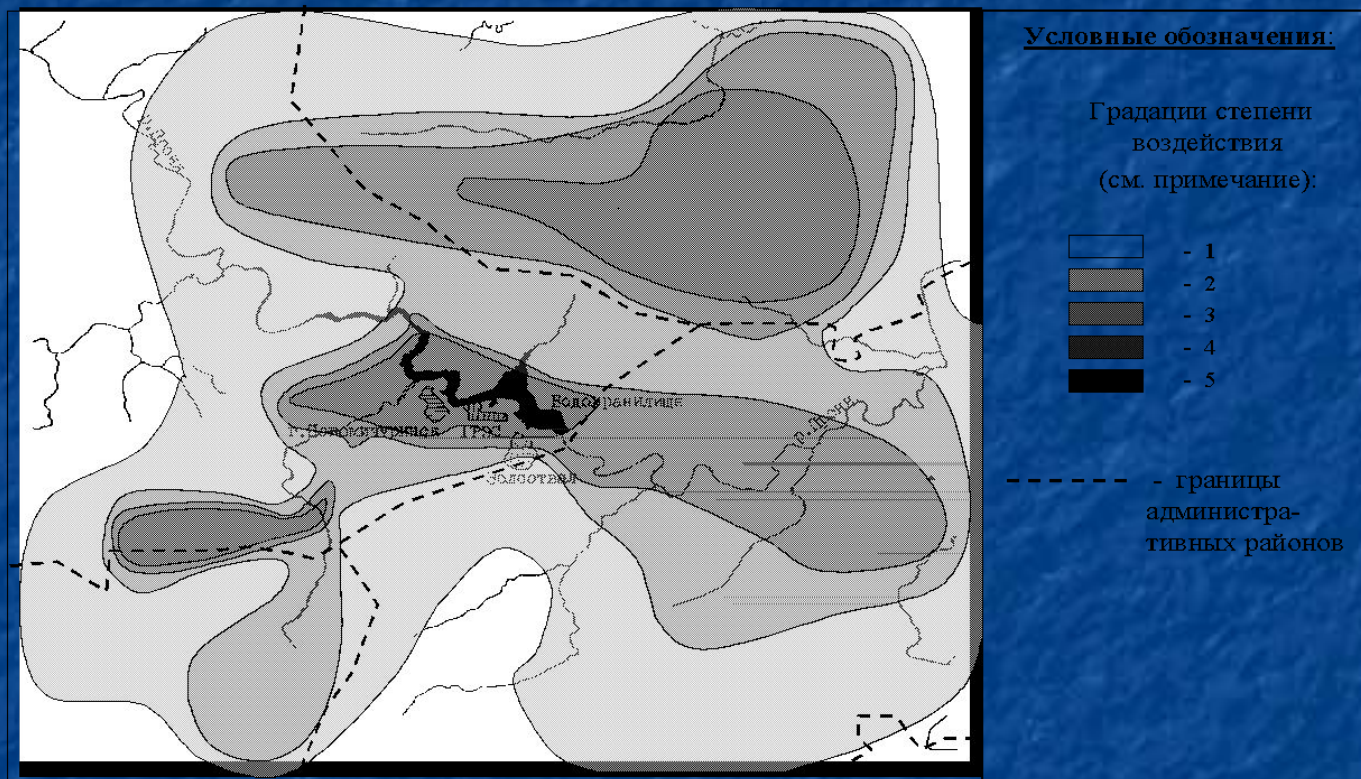
Как свидетельствуют результаты балансовых расчетов (табл. 3), в ландшафтах исследованного района сложился устойчивый положительный баланс поступления и выноса ТМ. При этом рассматриваемые элементы по преобладающим факторам миграции могут быть подразделены на две группы. Биогенная миграция абсолютно преобладает 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 антропогенный 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 антропогенного 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 |
|---|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| + | ВСЕГО, г/км²*год | 3082 | 11585 | 4747 | 574 |
| | 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 |
| - | ВСЕГО, г/км²*год | 799 | 4839 | 1070 | 109,5 |
| | Вынос с урожаем, % | 58 | 70 | 14 | 3,8 |
| | Водная миграция, % | 31 | 25 | 82 | 95 |
| | Технол. эрозия, % | 11 | 5 | 4 | 1,2 |
| Невязка баланса, г/км²*год | | +2283 | +6746 | +3677 | +464 |
| 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 агроулучшающих 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 агроулучшающих 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 |
| | | среднее | 1,98 | 0,32 |
| II | Навоз, минеральные удобрения, известь | 1 | 1,97 | 0,41 |
| | | 2 | 3,88 | 0,42 |
| | | 3 | 14,77 | 0,41 |
| | | среднее | 6,87 | 0,41 |
| III | Известь | 1 | 14,52 | 0,70 |
| | | 2 | 3,70 | 0,20 |
| | | 3 | 3,69 | 0,33 |
| | | среднее | 7,30 | 0,41 |
| IV | Минеральные удобрения | 1 | 3,09 | 0,44 |
| | | 2 | 2,82 | 0,17 |
| | | 3 | 30,61 | 0,68 |
| | | среднее | 12,17 | 0,43 |
| V | – (только внесение ТМ) | 1 | 4,29 | 0,24 |
| | | 2 | 3,76 | 1,19 |
| | | 3 | 54,68 | 1,30 |
| | | среднее | 20,91 | 0,91 |
| 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.

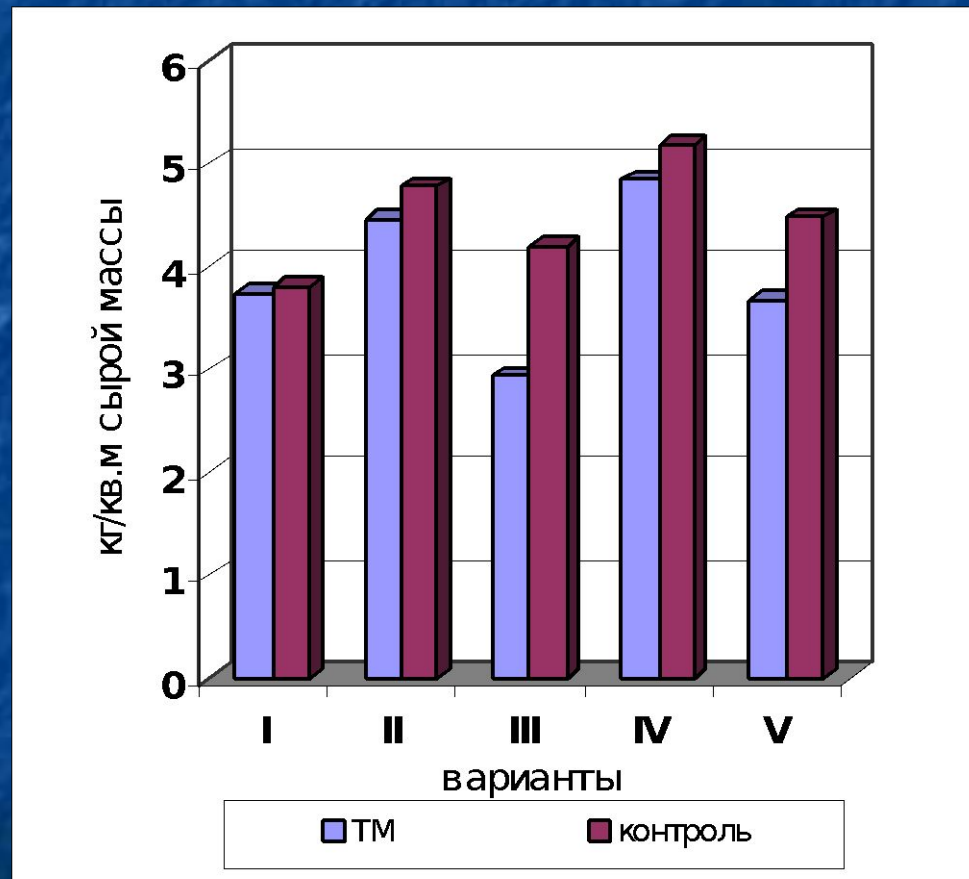
Выводы

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/м² 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.