

УДК 631.879.3:631.95

## ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ — ХИМИЧЕСКИХ МЕЛИОРАНТОВ ПОЧВ

А.И. ОКОНСКИЙ, А.Л. ПРЯДКО, В.А. ВЕЛИЧКО, В.А. ЧЕРНИКОВ

(Кафедра экологии, ВНИПТИХИМ, НИИЭЧНГОС АМН РФ)

Для проведения эколого-гигиенической оценки химических мелiorантов и техногенно загрязненных почв предлагается использовать комплексную схему, включающую почвенно-агрохимическое, химическое и биологическое тестирование в системе мелiorант — почва — растение — грунтовые воды — животные. Дается примерный перечень показателей, которые могут быть использованы при проведении исследований. Выбор показателей зависит от конкретных задач, стоящих перед исследователем.

Как известно, одним из основных факторов повышения плодородия почв и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур является оптимизация реакции почвенной среды. В 70—80 гг. этой проблеме в большинстве областей европейской части Российской Федерации уделяли достаточно большое внимание. Начавшаяся в 70-е годы интенсивная химическая мелiorация почв привела к существенному улучшению состояния сельскохозяйственных земель по степени их кислотности и щелочности. В качестве основных химических мелiorантов использовались природные материалы — известковая и доломитовая мука (на кислых почвах) и фосфогипс (на солонцовых).

В последние годы темпы подкисления почв заметно усилились. При этом среди почв, традиционно требующих известкования (дерново-подзолистые, серые лесные), прочное место заняли черноземы, большие площади которых нуждаются в нейтрализации избыточной почвенной кислотности [8, 14]. В связи с этим потребности в химических мелiorантах постоянно возрастают. Однако даже в самые благоприятные по объемам проведенных мелiorативных работ годы поставки их сельскому хозяйству составляли около 40 млн т при расчетных более 100 млн т.

Постоянный дефицит природных химических мелiorантов и их высокая стоимость определили необходимость изыскания но-

вых источников этих материалов. В 70-е годы активизировались работы по изучению агрохимической и экономической эффективности альтернативных мелниорантов — кальций- и магнийсодержащих промышленных отходов. Как оказалось, некоторые из них (в частности, различные шлаки, фосфогипс) оказывали не менее эффективное действие, чем природные мелниоранты, были дешевле и поэтому достаточно широко применялись в сельском хозяйстве наряду с традиционными мелниорантами. Однако использование указанных альтернативных материалов не может решить проблему, поскольку в большинстве промышленных отходов содержатся нежелательные примеси, прежде всего тяжелые металлы (ТМ) [4—6], попадание в почву которых крайне нежелательно.

До сих пор экологической оценки этих мелниорантов практически не велось. В настоящее время такие исследования стали проводиться, однако с сожалением следует отметить, что по сути единственным методом экологической оценки кальцийсодержащих промышленных отходов все еще остается изучение содержания в них и в почвах, а также в полученной сельскохозяйственной продукции ТМ, которое сравнивается с соответствующими значениями ПДК. Нельзя не отметить, что имеются сведения и по биологической (чаще всего микробиологической) оценке мелниорируемых промтоходами почв [2, 10], но им уделяется гораздо меньше внимания по сравнению с химическим тестированием почв и отходов.

Несомненно, химическое тести-

рование служит одним из инструментов при решении важных экологических проблем, но оно не должно оставаться практически единственным методом оценки (как в настоящее время) и прежде всего из-за того, что сам принцип сравнения содержания ТМ в мелниорированных отходами почвах с ПДК является весьма и весьма условным. Остановимся на этом подробнее.

Во-первых, значения ПДК установлены далеко не для всех тяжелых металлов, содержащихся в почве.

Во-вторых, имеющиеся (утвержденные) значения ПДК относятся в основном к валовому содержанию тяжелых металлов в почве, хотя вероятнее всего показателем их доступности являются подвижные формы, а не общее количество в почве. Например, при равном валовом уровне какого-либо металла в кислой песчаной подзолистой почве и тяжелоглинистом солонцеватом черноземе содержание подвижных форм этого элемента будет существенно различаться, что скажется на масштабах его аккумуляции растениями.

В-третьих, как известно, при определении ПДК в почву вносят возрастающие концентрации водорастворимой формы ТМ. Естественно, огромное значение имеет то, на какой именно почве (или хотя бы типе почв) проводятся эти эксперименты. При таком подходе трудно (а скорее всего, с методической точки зрения, вообще нельзя) переносить полученные данные на все типы почв. Кроме того, должен работать принцип, что сравниваться могут

только сравнимые категории: поскольку ПДК получают с использованием водорастворимых форм ТМ, то и сравнение должно производиться по этим же формам. Однако реального загрязнения ими почв практически не происходит (а если и происходит, то крайне редко).

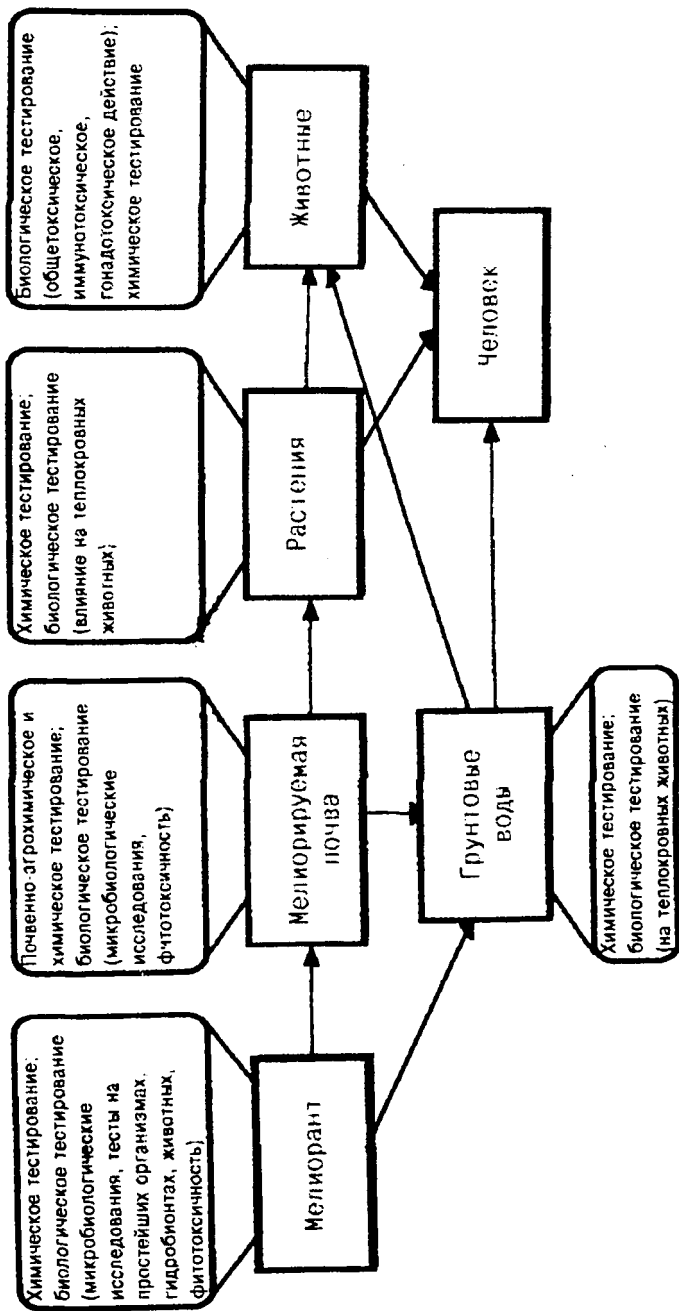
Известно, что одними из самых опасных объектов, загрязняющих окружающую среду, являющиеся ТЭЦ, металлургические комбинаты, цементные заводы, загрязняющие атмосферу и почвы (непосредственно в производственном цикле или при пылении отвалов) твердыми компонентами. Однако ТМ находятся в таких отходах преимущественно в малоподвижных (а не водорастворимых) формах, часто в составе минералов, к тому же остеклованных и (или) спеченных. Естественно, что при попадании такого же валового количества тяжелых металлов в почву, как и в экспериментах при установлении ПДК, уровень подвижных форм может оказаться более низким.

Таким образом, вполне очевидным является вывод, что имеющиеся сейчас значения ПДК ТМ в почвах не могут быть достаточно надежными в качестве основных критериев при экологической оценке кальцийсодержащих промышленных отходов. Однако на данном этапе нельзя полностью отказываться от них, поскольку должна существовать хотя бы условная система оценки. При этом мы рекомендуем прежде всего использовать значения ПДК подвижных форм ТМ, а не валового их содержания в почве. Если все же использовать последние, то од-

ним из критериев оценки могут служить результаты сравнения валового содержания конкретного ТМ с его кларком. Кроме того, экспериментально полученные данные о содержании ТМ в почве и растениях предлагается также сравнивать и со средним их содержанием в сельскохозяйственных культурах и почвах в различных районах конкретного региона (области). Такие данные для некоторых областей РФ существуют [9, 11—13]. Видимо, идеальным было бы почвенно-агрохимическое и экологическое обследование относительно незагрязненных (по результатам агроэкологического картографирования) конкретных районов и областей. Кроме того, в какой-либо области или регионе можно выделить экологически чистые реперные участки (например, в заповедниках, расположенных вдалеке от промышленных объектов), которые будут служить своеобразными природными эталонами. Среднее содержание (пределы колебаний) подвижных форм ТМ в различных почвах, а также их уровень в сельскохозяйственных культурах могли бы быть своеобразным критерием, с которым можно сравнивать результаты экологической оценки альтернативных химических мелиорантов.

Наряду с традиционными почвенно-агрохимическими, биологическими и физиологическими исследованиями химическое тестирование (в системе мелиорант — почва — растение — грунтовые (дренажные) воды) будет являться обязательным этапом в комплексной эколого-гигиенической оценке кальцийсодер-

Концептуальная блок-схема комплексной эколого-гигиенической оценки химических мелиорантов - промышленных отходов



жащих промышленных отходов (КПО), применяемых в качестве мелиорантов.

Предлагаемая нами схема может реально реализовываться в научных и прикладных исследованиях по экологическим проблемам. Возможность ее использования и «технология» применения были нами доказаны на примере проведенной эколого-гигиенической оценки различных видов КПО, применяемых в качестве химических мелиорантов кислых почв.

**Приложение к схеме**  
(необходимые исследования при проведении эколого-гигиенической оценки химических мелиорантов — промышленных отходов и загрязненных почв)

### МЕЛИОРАНТ

1. *Химическое тестирование*
  - 1.1. pH водной вытяжки
  - 1.2. Содержание Ca, Mg, K
  - 1.3. Нейтрализующая способность
  - 1.4. Содержание подвижных и валовых форм ТМ
  - 1.5. Содержание радионуклидов
  - 1.6. Содержание органических загрязнителей
2. *Биологическое тестирование*
  - 2.1. Фитотоксичность (метод проростков)
  - 2.2. Тестирование на организмах-гидробионтах

### ПОЧВА

1. *Почвенно-агрохимическое тестирование*
  - 1.1. Содержание гумуса
  - 1.2. Механический состав
  - 1.3. pH, щелочность

- 1.4. Состав ППК
- 1.5. Водорастворимые Ca, Mg, K
- 1.6. Азот, фосфор, калий
2. *Химическое тестирование*
  - 2.1. Содержание подвижных и валовых форм ТМ
  - 2.2. Содержание радионуклидов
  - 2.3. Содержание органических загрязнителей
3. *Биологическое тестирование*
  - 3.1. Общая биологическая активность (выделение CO<sub>2</sub>)
  - 3.2. Микробиологическое тестирование (метод посевов, метод ИМС)
  - 3.3. Ферментативная активность почв
  - 3.4. Фитотоксичность (метод проростков)

### РАСТЕНИЯ

1. *Химическое тестирование*
  - 1.1. Содержание ТМ, радионуклидов, органических загрязнителей
  - 1.2. Содержание азота, фосфора, калия
2. *Биологическое тестирование на теплокровных животных*

### ГРУНТОВЫЕ (ДРЕНАЖНЫЕ ВОДЫ)

1. *Химическое тестирование*
  - 1.1 pH
  - 1.2. Содержание ТМ, радионуклидов, органических загрязнителей
2. *Биологическое тестирование на организмах - гидробионтах*
  - 2.1. Интенсивность роста клеток одноклеточных водорослей
  - 2.2. Уменьшение численности дафний и инфузурий
3. *Биологическое тестирование на теплокровных животных*

## ЖИВОТНЫЕ

1. Общетоксическое действие
2. Иммунотоксическое действие
3. Гонадотоксическое действие

Рассмотрим поэтапное применение комплексной схемы, границы проведения которой определяются наличием фактического материала. Прежде всего проводится полный химический анализ КПО с определением неметаллов, подвижных форм и валового содержания тяжелых металлов, а также содержание кальция, магния и их карбонатов для расчета доз. После этого (в первый год исследований) схема реализуется в условиях вегетационных и биофизиологических экспериментов.

В вегетационном эксперименте изучается влияние различных доз мелиорантов (КПО) на урожайность сельскохозяйственных культур и некоторые почвенно-агрохимические показатели (прежде всего кислотность и щелочность почв, состав почвенно-поглощающего комплекса).

Схема проведения вегетационных опытов должна включать градиент доз (концентраций) мелиоранта — КПО, рассчитанных каким-либо методом (например, 0; 1/4; 1/2; 1; 1,5; 2; 4 дозы из расчета полной нейтрализации гидrolитической кислотности для кислых почв), т.е. используется принцип «доза — эффект». Контролем может быть вариант (без мелиоранта — чистый контроль) или со стандартным химическим мелиорантом (стандартной известняковой мукой для кислых почв и природным гипсом — для солонцовых). В опыте выращивают

различные сельскохозяйственные культуры (можно одновременно 2—3 и более), которые впоследствии будут скормлены подопытным животным в токсикологическом эксперименте.

Вегетационные сосуды можно промывать водой, имитируя выпадение атмосферных осадков (т.е. они в этом случае будут являться своеобразными микролимнеграмми) как с целью изучения масштабов миграции ТМ и других элементов, так и для сравнения их концентраций в промывных водах с утвержденными значениями ПДК воды водоемов. Данный эксперимент может являться моделью загрязнения грунтовых и питьевых вод. В связи с этим необходимо проведение токсикологического эксперимента с пероральным введением в организм подопытных теплокровных животных водных и буферных экстрактов КПО.

По результатам эксперимента устанавливается содержание ТМ и других элементов в растениях и количество их подвижных форм в почве, которые сравниваются не только с рекомендованными значениями ПДК, но и с содержанием их в почве и растениях данного района или области (для некоторых металлов, в частности марганца, цинка, меди, такие данные имеются [9, 11—13]).

Параллельно изучается влияние КПО на микробиологическую активность почв в вариантах опыта (традиционными методами и методом инципированного микробного сообщества) [7]. Кроме того проводится тестирование КПО на организмах-гидробион-

тах (одноклеточных водорослях, дафниях, инфузориях и др.), которые мы рекомендуем использовать в качестве тест-объектов для изучения возможного загрязнения открытых водоемов промышленными отходами в результате поверхностной и внутрипочвенной миграции их ингредиентов (из отходов и хранилищ отходов), а также азального загрязнения.

Полученная в опыте сельскохозяйственная продукция (рекомендуется выращивание не менее двух культур — овощной и зерновой) скормливается теплокровным лабораторным животным в токсикологическом эксперименте, по результатам которого устанавливается общетоксическое, иммунологическое, гонадотоксическое и другие воздействия.

Полученные результаты позволяют выявить предельно допустимую дозу КПО, начиная с которой его применение будет опасным или нежелательным с точки зрения санитарно-гигиенических норм с учетом принципа слабого зена, предлагаемого Игамбердиевым и Алексеевым [3] для экологического нормирования химических мелниорантов из отходов промышленности.

Заметим, что предлагаемую схему можно расширить, включив в спектр исследований дополнительные виды анализов (например, изучение радиоактивности КПО или содержание в них органических загрязнителей), или сузить, если уже имеются какие-либо предварительные данные (например, об агрохимической эффективности данного вида КПО или содержания ТМ в системе почва — растение при при-

менении КПО на изучаемых почвах). Естественно, предпочтительнее работать с высокоэффективными в агрохимическом отношении мелниорантами (это обусловит использование их относительно невысоких доз).

На второй год можно провести полевые эксперименты, включив в их схему только необходимые варианты, отобранные с учетом исследований, проведенных в первый год.

### **Применение комплексной схемы на почвах, загрязненных промышленными отходами**

В настоящее время почвы во многих регионах России испытывают значительное техногенное загрязнение от многочисленных промышленных предприятий (цементных заводов, металлургических комбинатов, ТЭЦ и др.). Ежегодная техногенная нагрузка в зоне влияния некоторых промышленных объектов может достигать нескольких тонн на гектар [5]. Таким образом, на вовлеченных в сельскохозяйственный оборот почвах происходит своеобразная «химическая мелниорация» высокими и сверхвысокими дозами промышленных отходов. Несомненно, проблема эколого-гигиенической оценки таких почв и полученной на ней сельскохозяйственной продукции имеет огромное значение.

На наш взгляд, такая оценка может быть сделана на основе приведенной выше схемы, но по сокращенному варианту — без блока «Мелниорант». В этом случае исследования могут проводиться в двух направлениях.

1. В вегетационных опытах используются почвы, отобранные с участка землепользования конкретного хозяйства. Выращивается несколько сельскохозяйственных культур (овощные, зерновые, кормовые). Контролем служит относительно незагрязненная (по результатам химического тестирования) почва того же типа и подтипа с близкими основными почвенно-агрохимическими показателями (прежде всего по содержанию гумуса, гранулометрическому составу и рН).

2. В вегетационных экспериментах используются почва одного и того же типа (подтипа), взятая в местах, разнородных от предприятия — источника загрязнения (например, на расстоянии 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 и более километров) с учетом розы ветров.

Исследования могут быть проведены и в природных условиях на выбранных для этих целей стационарных реперных участках. Тогда вместо блока «Меллиорант» в эколого-гигиеническую схему вводится блок «Загрязнитель», предусматривающий определение плотности потока сухих (поступающих на поверхность почвы с оседающей пылью) и мокрых выпадений (поступающих с атмосферными осадками) по существующим методикам [1], а также их основных химических характеристик.

По нашему мнению, предлагаемая комплексная схема может быть применена также при установлении значений ПДК. В этом случае вегетационные опыты проводятся на 2—3 типах почв (например, дерново-подзолистых, черноземах, каштановых) со средними значениями основных показателей (рН, содержание гумуса,

механический состав) с использованием блока «Загрязнитель», который предусматривает внесение в почву ТМ, пестицидов, других поллютантов органической и неорганической природы.

В заключение отметим, что разработка значений ПДК ТМ в почвах до сих пор остается прерогативой медицинских учреждений. Естественно, неразумно оспаривать их ведущую роль в этом вопросе. Однако следует учитывать, что в научной литературе по почвоведению и агрохимии имеется огромный фактический материал по особенностям миграции и трансформации различных форм многих элементов, в том числе тяжелых металлов в различных типах почв; в геохимической литературе накоплены уникальные данные по процессам растворения — осаждения многих минеральных соединений. Существует надежный методический и методологический аппарат по изучению этих процессов.

Наряду с этим отметим, что в конечном итоге нас должна интересовать не только степень загрязнения почв поллютантами, но и их поведение в системе почва — вода — растение — животные — человек, поскольку именно по этой основной экологической цепи идет поступление нежелательных элементов и их соединений в организм человека. Поэтому проблема разработки ПДК, как и проблема проведения эколого-гигиенического мониторинга, должна объединять специалистов самых разных специальностей — в области медицины, агрохимии, почвоведения, геохимии, биологии. В связи с этим схемы эколого-токсикологической оценки



должны быть не однокритерийными, а включать в себя широкий спектр почвенно-агрохимических, биологических и физиологических исследований, что и нашло отражение в предлагаемой нами схеме. Конкретные результаты по ее применению для оценки химических мелиорантов — кальцийсодержащих промышленных отходов будут представлены в следующих сообщениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв. Ч. 1 / Под ред. С.Г. Малахова. М.: Моск. отд. Гидрометеоздата, 1983. — 2. Дюндик О.Б., Осипова Е.В., Гиль Т.Л. и др. Сравнительная оценка токсичности водных вытяжек золы бурых углей. — Биол. науки, 1988, № 1, с. 63—67. — 3. Изамбердиев В.М., Алексеев Ю.В. Экологическое нормирование применения химических мелиорантов из отходов промышленности. Сообщ. 1. Методология. — Химия в сельск. хоз-ве, 1993, № 8—9, с. 30—33. — 4. Кузьмич М.А., Величко В.А., Пушкарева М.М. и др. Кальцийсодержащие отходы промышленности. Краткая характеристика, годовой выход и запасы. М.: ВНИПТИХИМ, 1987. — 5. Кузьмич М.А., Оконский А.И., Кочнев Н.К., Сутурин А.Н. Перспективы использования золы бурых углей. Сообщ. 1. Влияние золы угольных ТЭЦ на окружающую среду. — Химия в сельск. хоз-ве, 1990, №

9, с. 28—33. — 6. Кузьмич М.А., Оконский А.И., Кочнев Н.К., Сутурин А.Н. Перспективы использования золы бурых углей. Сообщ. 2. Агрохимическая и токсикологическая оценка буроугольной золы. — Химия в сельск. хоз-ве, 1990, № 12, с. 43—47. — 7. Левин С.В. Микробиологическая диагностика загрязненных почв тяжелыми металлами. — Автореф. канд. дис. М.: Изд-во МГУ, 1983. — 8. О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1993 году (Гос. доклад). — Зеленый мир, 1994, № 25, с. 5—11. — 9. Оль Ю.К. Минеральное питание животных в различных природно-хозяйственных условиях. Л.: Колос, 1967. — 10. Тяжелые металлы в окружающей среде / Под ред. В.В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 1980. — 11. Химический состав кормов по зонам СССР / Сб. статей под ред. А.С. Емельянова. М.: Колос, 1974. — 12. Химический состав и питательность кормов Западной Сибири. Справочник / Сост. И.И. Филатов и Р.П. Митякова. Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1982. — 13. Химический состав и питательность кормов Московской области урожая 1982 г. — Метод. указания. М., 1983. — 14. Шильников И.А. Роль известкования почв в земледелии РСФСР. — М.: Госагропром РСФСР. Информ. листок. 1989, № 11.

Статья поступила 4 апреля  
1996 г.

#### SUMMARY

To make ecologically-hygienic estimation of chemical meliorants and technogenically polluted soils it is suggested to use a complex scheme including soil-agrochemical, chemical and biological testing in meliorant — soil — plant — ground waters — animals system. Suggested list of indicators which can be used in research is given. The choice of indicators depends on concrete aims of the investigator.