

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

© 2019 г. Е. С. Золотова

Приведен обзор исследований по применению минеральных отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий в сельском хозяйстве. Описаны основные условия и критерии использования отходов промышленности в качестве удобрений и мелиорантов. Акцентируется внимание на возможности применения отходов вторичной переработки отвальных медеплавильных шлаков при выращивании некоторых сельскохозяйственных растений.

Добыча и переработка полезных ископаемых приводит к деградации почв, уничтожению природных экосистем, нарушению естественных ландшафтов, загрязнению рек и подземных вод, образованию свалок промышленных отходов [Чибрик и др., 2011].

В настоящее время отходы горнопромышленных производств занимают огромные площади по всему миру. В частности, для Уральского региона состояние около 25% территории оценивается как кризисное из-за загрязнения, вызванного отвалами. Рациональное использование минеральных отходов необходимо для обеспечения экологической безопасности крупных промышленных центров. Исследования для решения проблемы многообразны и прежде всего направлены на рекуперацию промышленных отходов или их вторичную переработку [Махнев, Завьялова, 2003]. Особый интерес представляют работы по оценке возможности применения минеральных производственных отходов для рекультивации нарушенных земель, а также в качестве удобрений и мелиорантов в сельском хозяйстве.

Основным условием использования минеральных отходов является избыток в них компонентов, в которых нуждается почва. Разработаны критерии пригодности промышленных отходов для выращивания сельскохозяйственных растений: не должно содержаться сопутствующих примесей и элементов, приводящих к загрязнению почв; исключена возможность повторной переработки отходов в целях наиболее полного извлечения основной массы сопутствующих элементов; невозможна утилизация в других направлениях с большим экономическим эффектом. Применение минеральных отходов в качестве удобрений исключается, если концентрация токсичных элементов значительно превышает ПДК, величины фонового или кларкового содержания [Капелкина, 1993].

При использовании нетрадиционных удобрений важно учитывать защитные свойства почв или возможности их самоочищения [Голов, Тимофеева, 2005]. Известно, что буферные свойства почв зависят от содержания гумусовых кислот, тон-

кодисперсных частиц, оксидов железа и алюминия, карбонатов и реакции среды [Ильин, Сысо, 2001]. Гуминовые кислоты – основной связывающий компонент для загрязнителей в почве. Данные связи могут быть настолько прочными, что токсианты, такие как диоксин или медь, не поглощаются растениями и не вымываются осадками. Существенным фактором, увеличивающим поглощающую способность гуминовых кислот, является реакция почвенной среды: при нейтральной и щелочной реакции она значительно выше, чем при кислой. Поэтому известкование почв или систематическое внесение щелочных удобрений увеличивает потенциальную поглощающую способность и повышает экологическую устойчивость почв. Другим эффективным механизмом самоочищения почв являются железомарганцевые конкреции, которые в большом количестве накапливаются в периодически переувлажненных почвах. Они способны прочно связывать и выводить из круговорота на длительное время такие тяжелые металлы, как свинец, марганец, никель, хром, кадмий и др. [Голов, Тимофеева, 2005].

Анализ литературных данных показал, что использование минеральных отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий в сельском хозяйстве возможно и крайне актуально для решения проблем утилизации промышленных отходов. Однако следует учитывать кратковременные эффекты (из-за попадания в почву биодоступных форм металлов) и долгосрочные эффекты, возникающие в результате биогеохимических процессов в почвенно-растительной системе после внесения отходов [Cornelis et al., 2008].

Работы по использованию природных минеральных образований для повышения плодородия начаты давно, даже разрабатывалась классификация горных пород по степени их пригодности для сельского хозяйства [Горбунов и др., 1971]. Однако практическое применение агрономических руд (термин введен Я.М. Самойловым в 1921 г.) до сих пор крайне ограничено. Массовое использова-

ние сдерживается отсутствием разработанных методик, доказанной экологической безопасностью и экономической выгодой по сравнению с минеральными удобрениями. По мнению Ф.Я. Сапрыкина [1984], мелиорантами могут выступать породы осадочного или магматического происхождения, которые при внесении в больших дозах (100–500 м<sup>3</sup>/га) улучшают структуру и водно-физические свойства почв. К магматическим породам-мелиорантам относятся интрузивные и вулканоогенные породы, к осадочным – различные карбонатные, глинистые, песчаные образования, горючие и углистые сланцы, бурые и каменные угли. Отдельные породы-мелиоранты перспективны и в качестве удобрений [Гагарина, Абакумов, 2003]. В настоящий момент предпринимаются попытки разработать удобрения на основе наноразмерных агроминералов [Яппаров и др., 2016]. Проводятся исследования по разработке технологии получения щелочного магнезиевого мелиоранта из горнопромышленных отходов (оливин- и серпентинсодержащих) и проверке его эффективности для восстановления дефолирующей из-за дисбаланса в поглощении элементов питания древесной растительности [Манаква, 2005].

В качестве комплексных удобрений используются сульфатные отходы химической промышленности: борогипс [Голов, Тимофеева, 2005] и особенно широко фосфогипс [Белюченко, 2014; Аканова и др., 2018]. Известны способы производства минеральных удобрений и мелиорантов из отходов черной металлургии [Довгопол, 1980; Ермолаев, 2005], зарегистрированы патенты. Отходы сталеплавильных производств (в виде шлаковой муки) используются для известкования кислых почв при соблюдении ТУ 14-11-117–80. Регламентированы содержание (СаО + MgO) – не менее 43%, влажность – 2%, максимальный размер зерна – не более 2 мм, количество фракции, проходящей через сито 0.5 мм, – 90%, 0.25 мм – 70% [Лотош, 2002]. В России шлаковую муку получают на НЛМК и заводе “Амурсталь”. В качестве микроудобрений возможно применение шламов горно-обогажительных фабрик по обогащению железных руд [Применение..., 1982].

В Свердловской области еще в 1970-е гг. начаты исследования по возможности использования промышленных отходов для увеличения продуктивности сельхозугодий. Н.А. Иванов [1981] оценил эффективность применения жидких и твердых отходов Верхне-Пышминского завода для повышения урожая зеленой массы кукурузы, горохоовсяной смеси и ячменя сорта “Луч”.

В 1990-е гг. на Урале проводили исследования по оценке целесообразности применения отходов вторичной переработки отвалных медеплавильных шлаков Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) для выращивания отдельных сельскохозяйственных растений [Власенко и др., 1996]. В указан-

ной статье отходы названы железокварцевым продуктом флотации шлаков. Для опыта использовали дерново-подзолистую почву, которую равномерно перемешивали с отходом в разных концентрациях, преимущественно 5, 15 и 30%, в отдельных случаях 50 и 100%. Объектами были выбраны восемь видов растений: томаты, капуста белокочанная, салат широколистный (посевной), укроп огородный, лук, овсяница красная, кострец безостый и мятлик луговой. Исследования выявили, что 5%-я прибавка к почве отходов вторичной переработки отвалных медеплавильных шлаков СУМЗа оказывает на культуры стимулирующий эффект: повышалась всхожесть, ускорялись развитие и рост. Увеличение доли шлака до 15% также имело положительный эффект для всех испытываемых видов, кроме капусты и томатов, у которых наблюдалось уменьшение длины корней, высоты и массы растений. У томатов нижняя часть листьев и стебель приобрели фиолетовую окраску. Более высокая концентрация железокварцевого продукта в почве (30%) отрицательно влияла на развитие большинства изучаемых видов: томатов, укропа, овсяницы красной и мятлика лугового. Концентрации отхода 50 и 100% угнетали всхожесть, рост и развитие всех испытываемых сельскохозяйственных культур. Анализ содержания тяжелых металлов и серы [Власенко и др., 1996] в луке, листьях и плодах томатов, выращенных при 5 и 15%-й концентрации отходов вторичной переработки шлаков, выявил тенденцию к накоплению химических элементов в листьях растений опытных вариантов по сравнению с контролем, особенно для Fe, Ni, Cu, S. При этом ученые установили, что у томатов в плодах содержится металлов больше, чем в листьях. Однако значения ПДК, установленные для пищевых продуктов, нигде не превышались.

В настоящее время экологической группой института ИГГ УрО РАН ведутся комплексные исследования отходов вторичной переработки отвалных медеплавильных шлаков Среднеуральского медеплавильного завода, оцениваются перспективы их использования [Леонтьев, Рябинин, 2005; Леонтьев и др., 2006; Котельникова и др., 2014; Котельникова, Рябинин, 2018]. Технология вторичной переработки отвалных медеплавильных шлаков включает дробление с последующим получением медного концентрата. В качестве отхода накапливается тонкодисперсный материал размерности  $\leq 0.05$  мм, так называемый “технический песок”, содержащий около 3.4% цинка, 0.4 – меди, 0.4 – свинца, 35.0% железа [Котельникова, Рябинин, 2018]. Одно из возможных направлений его применения – в качестве минерального удобрения. Для установления экологической безопасности и эффективности применения “технического песка” СУМЗа проводятся лабораторные и полевые опыты по выращиванию сельскохозяйственных растений, газонных трав и саженцев основ-

ных видов – эдификаторов Урала. Дается геохимическая оценка распределения элементов (до и после внесения отходов) в почвенном профиле дерново-подзолистых и серых лесных почв [Леонтьев, Рябинин, 2005; Леонтьев и др., 2006], начаты исследования по бурым горно-лесным почвам. Элементный анализ почвенных и растительных образцов проводится в Центре коллективного пользования “Геоаналитик” Института геологии и геохимии УрО РАН. Исследования важны для понимания трансформации биогеохимических циклов в условиях техногенеза и обеспечения устойчивого развития Свердловской области.

Автор выражает благодарность канд. геол.-мин. наук В.Ф. Рябинину за ценные замечания при подготовке публикации.

*Работа выполнена в рамках темы № АААА-А18-118052590028-9 государственного задания ИГГ УрО РАН.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аканова Н.И., Шеуджен А.Х., Визирская М.М., Андреев А.А. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса как химического мелиоранта и фосфорсодержащего минерального удобрения в условиях богарного земледелия Краснодарского края // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 2 (362). С. 32–37. doi:10.24411/2587-6740-2018-12022.
- Белюченко И.С. Особенности минеральных отходов и целесообразность их использования при формировании сложных компостов // *Политематический сетевой электронный науч. журн. КубГАУ*. 2014. № 101. С. 875–895. <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/54.pdf>
- Власенко В.Э., Завьялова Н.С., Рябинин В.Ф. Использование отходов медеплавильного производства СУМЗа при выращивании некоторых сельскохозяйственных растений // *Биологическая рекультивация нарушенных земель*. Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1996. С. 17–19.
- Гагарина Э.И., Абакумов Е.В. Об использовании агропуд для улучшения свойств почв // *Вестн. СПбГУ*. Сер. 3. 2003. Вып. 1, № 3. С. 91–97.
- Голов В.И., Тимофеева Я.О. Экологические проблемы использования бытовых и производственных отходов в качестве удобрений и возможности самоочистки почв от ксенобиотиков и тяжелых металлов // *Вестн. ТГЭУ*. 2005. № 4. С. 100–105.
- Горбунов Н.И., Бекаревич Н.Е., Етеревская Л.В., Моторина Л.В., Туник Б.М. Классификация пород по степени их пригодности в сельском хозяйстве // *Почвоведение*. 1971. № 11. С. 105–116.
- Довгопол В.И. *Металлургические шлаки в сельском хозяйстве*. М.: Металлургия, 1980. 40 с.
- Ермолаев С.А. Агроэкологическая оценка периодического применения металлургического шлака в качестве известкового удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2005. 23 с.
- Иванов Н.А. Использование промышленных отходов в качестве удобрений // *Почвообразование в антропогенных условиях*. Свердловск: УрГУ, 1981. С. 118–127.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: СО РАН, 2001. 230 с.
- Капелкина Л.П. Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб.: Наука, 1993. 190 с.
- Котельникова А.Л., Рябинин В.Ф. Особенности вещественного состава и перспективы использования отхода вторичной переработки отвальных медеплавильных шлаков // *Литосфера*. 2018. Т. 18, № 1. С. 133–139. doi:10.24930/1681-9004-2018-18-1-133-139.
- Котельникова А.Л., Рябинин И.Ф., Кориневская Г.Г., Халезов Б.Д., Реутов Д.С., Муфтахов В.А. К вопросу рационального использования отходов переработки медеплавильных шлаков // *Недропользование*. XXI век. 2014. № 6 (50). С. 14–19.
- Леонтьев М.С., Котельникова А.Л., Рябинин В.Ф. Влияние отходов цветной металлургии на распределение анионов в профиле серых лесных почв // *Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона*. Омск: Наука, 2006. С. 183–185.
- Леонтьев М.С., Рябинин В.Ф. Экогеохимическая характеристика распределения халькофильных металлов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах Урала // *Ежегодник-2004*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 366–377.
- Лотош В.Е. *Переработка отходов природопользования*. Екатеринбург: УрГУПС, 2002. 463 с.
- Манакова Н.К. Магнийсодержащие мелиоранты из горнопромышленных отходов для восстановления дефолирующих лесов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Апатиты, 2005. 24 с.
- Махнев А.К., Завьялова Н.С. Об эффективности использования промышленных отходов при биологической рекультивации нарушенных земель и в сельскохозяйственном производстве // *Биологическая рекультивация нарушенных земель*. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 285–298.
- Применение шламов горно-обогачительных фабрик по обогащению железных руд в качестве микроудобрения : пат. РФ № 903364 / И.Ф. Костенко, Н.М. Сулима, В.М. Казак, И.И. Ярчук, Л.Е. Айзикович. Заявл. 07.05.1980; опубл. 07.02.1982.
- Сапрыкин Ф.Я. *Геохимия почв и охрана природы*. Геохимия, повышения плодородия и охрана почв. Л.: Недра, 1984. 233 с.
- Чибрик Т.С., Лукина Н.В., Филимонова Е.И., Глазырина М.А. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 267 с.
- Яппаров И.А., Газизов Р.Р., Исмагилов З.Р., Жеребцов С.И., Суханова И.М., Биккинина Л.М.-Х., Ильясов М.М., Яппарова Л.М. Разработка удобрительного состава на основе наноразмерных бурого угля и глауконита и влияние его на урожайность сельскохозяйственных культур // *Вестн. Технолог. ун-та*. 2016. Т. 19, № 23. С. 170–173.
- Cornelis G., Johnson C.A., Van Gerven T., Vandecasteele C. Leaching mechanisms of oxyanionic metalloids and metal species in alkaline solid wastes. A review // *Appl. Geochem*. 2008. V. 23, no. 5. P. 955–976.