

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ФОСФОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

О.В. Игумнова

*Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,
Подольское ш., 8/5, 113093, Москва, Россия*

Исследованы экологические проблемы получения и использования удобрений на основе концепции жизненного цикла продукции. Выделены основные экологические последствия добычи, обогащения, транспортирования и внесения удобрений. Сделан вывод о слабой эффективности фосфорных удобрений.

Агропромышленное природопользование невозможно без применения минеральных удобрений. Несмотря на колоссальный ущерб, наносимый окружающей среде в процессе производства и применения минеральных удобрений, отказ от них в настоящее время невозможен, т.к. недовнесение удобрений неизбежно приводит к резкому снижению плодородия почв и их деградации. Это справедливо и для фосфорных минеральных удобрений, т.к. фосфор является не только важнейшим источником питания растений, но и играет основную роль в процессах массо- и энергообмена, а также в процессе размножения. Для создания условий, благоприятствующих получению полноценного урожая, необходимо наличие в почве достаточного количества доступного фосфора, недостаток которого характерен для половины посевных площадей России. Таким образом, высокая потребность в фосфорных минеральных удобрениях является объективной необходимостью.

Для оценки возникающих воздействий и эффективности применения минеральных удобрений необходимо рассмотреть их жизненный цикл, т.е. провести инвентаризацию соответствующих входных и выходных потоков производственной системы, оценить потенциальные воздействия на окружающую среду, связанных с этими потоками, интерпретировать результаты инвентаризационного анализа и этапов оценки воздействий (ИСО, 1999). Это позволит оценить экологические аспекты и потенциальные воздействия на протяжении всего жизненного цикла продукции, выявить приоритетные задачи на пути снижения негативного влияния на окружающую среду на каждом этапе, ранжировать воздействия и повысить эффективность производства и применения минеральных удобрений.

Выделим основные этапы жизненного цикла минеральных удобрений до потребителя. К ним относятся:

- добыча и обогащение руды;
- производство минеральных удобрений;
- транспортировка минеральных удобрений;
- внесение удобрений в почву;
- потребление растениями.

На всех этапах жизненного цикла минеральных удобрений окружающая среда подвергается неблагоприятным воздействиям, как локального, так и регионального и глобального масштабов. Эти воздействия возникают в связи с изъятием ресурсов в виде породы, воды и воздуха, загрязнением атмосферы, подземных и поверхностных вод, отчуждением земель под отходы и высокими энергетическими затратами.

Результаты детального изучения жизненного цикла фосфорных минеральных удобрений с определением количества требующихся ресурсов, выходом полезной продукции и уровней воздействия на окружающую среду на каждом этапе приведены в таблице.

На этапе **добычи** фосфорсодержащей руды (фосфорита или апатита) производятся работы, связанные с геологической разведкой, оценкой запасов фосфорсодержащей руды, созданием шахты, удалением вскрышных пород

Жизненный цикл фосфорных минеральных удобрений

Таблица

Этап жизненного цикла	Процессы	Воздействия на окружающую среду и их уровни	Потребляемые ресурсы	Выход полезной продукции (эффективность)
добыча фосфорсодержащей руды	создание шахты извлечение руды перемещение обогащение	размещение отходов: 7,3 – 9,1 т/т руды; отчуждение земель 0,3-0,4 м ² /т P ₂ O ₅ ; подтопление земель 0,3-0,5 м ² /т P ₂ O ₅ ; загрязнение воздуха: пыль 20-25 кг/т P ₂ O ₅ (20-250 мг/м ² сут); ядовитые газы 14-18 кг/т P ₂ O ₅ ; загрязнение воды: шахтные воды (минерализация 18-22 кг/т) 10-13 м ³ /т P ₂ O ₅ ; рудничные воды (минерализация 0,6-1,2 кг/т) 1,0-1,6 м ³ /т P ₂ O ₅	фосфорсодержащей руды 45 т/т концентрата; энергоёмкость 73,5 кВт/т P ₂ O ₅	11 – 17 %
производство фосфорных минеральных удобрений	производство фосфорной кислоты	загрязнение воздуха: флюорид 0,04-0,08 кг/т P ₂ O ₅ ; пыль 0,5-0,8 кг/т P ₂ O ₅ ; загрязнение воды: фтор 10 мг/л; фосфаты 10-35 мг/л; сухой остаток 50-150 мг/л; нитраты 20-50 мг/л Размещение отходов: фосфогипс 2,5-8,4 т/т P ₂ O ₅	фосфоритного концентрата 3,3 т/т P ₂ O ₅ ; серной кислоты (100% H ₂ SO ₄) 2,8 т/т P ₂ O ₅ ; охлаждающая вода 100-150 м ³ /т P ₂ O ₅ ; техническая вода 4-7 м ³ /т P ₂ O ₅ ; энергоёмкость 120-180 кВт/т P ₂ O ₅	33 %
	производство серной кислоты	загрязнение воздуха: SO ₃ — 0,15-0,6 кг/ т 100% H ₂ SO ₄ ; SO ₂ — 10-12 кг/ т 100% H ₂ SO ₄	серы 0,33 т/т 100% H ₂ SO ₄ ; сероводород 253 м ³ /т 100% H ₂ SO ₄ ; пирит (48% S) 0,76 т/т 100% H ₂ SO ₄ ; цинковая руда 1,2 т/т 100% H ₂ SO ₄ ; энергоёмкость 50 кВт/ч/т 100% H ₂ SO ₄ ; вода 70 м ³ /т 100% H ₂ SO ₄	48 %

Продолжение табл.

	производство простого, двойного супер-фосфата, сложных удобрений	загрязнение воздуха: фтор 0,1 кг/т P_2O_5 ; пыль 0,3-1 кг/т P_2O_5 загрязнение воды: фтор 25-75 мг/л; фосфаты 35-105 мг/л; сухой остаток 50-150 мг/л; нитраты 20-50 мг/л размещение отходов: фосфогипс 1,4-5,7 т/т P_2O_5	ЭФК 0,5-1,2 т/т P_2O_5 ; фосфорит 0,28-0,53 т/т P_2O_5 ; аммиак 0,20-0,28 т/т P_2O_5 ; азотная кислота 0,10-0,25 т/т P_2O_5 ; хлорид калия 0,34-0,55 т/т P_2O_5 ; энергоёмкость 500-900 кВт/ч /т P_2O_5 ; условное топливо 50-70 м ³ /т P_2O_5 ; вода 15-35 м ³ /т P_2O_5 ; пар 0,2-0,7 т/т P_2O_5	75-94 %
транспортировка	расфасовка и упаковка погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка	загрязнение воздуха, воды и почвы от работы транспорта и потерь удобрений; шум ; утилизация упаковки	энергоёмкость 100-500 кВт/ч /т P_2O_5	80-85 %
	хранение	загрязнение воздуха, воды и почвы от физических потерь удобрений; пожаро- и взрывоопасность		68-93 %
внесение в почву	подготовка к внесению Транспортировка Внесение в почву	ухудшение агрохимических свойств почвы: рН до 4,6 загрязнение почв токсичными примесями: фтор 160 кг/ т P_2O_5 ; тяжелые металлы 0,4 кг/ т P_2O_5 загрязнение подземных вод инфильтрацией: фосфора 0,4 – 1, 0 кг/га в год; меди 2 – 5 г/га в год; цинка 14 – 30 г/га в год; свинца 2 – 6 г/га в год; кадмия 0,2 – 0,3 г/га в год; эвтрофикация водоемов: фосфор 10 кг/т тв. стока загрязнение воздуха: пыль удобрений до 150 мг/л	энергоёмкость 57-83 кВт/ ч/т P_2O_5	69 – 88 %
потребление растениями				15 %
			общая эффективность фосфорных минеральных удобрений	0,20-1,67 %

или горнопроходческие работы, выемкой руды, перемещением извлеченной породы на участок обогащения, обогащением, обезвреживанием и размещением твердых и жидких отходов, закрытием шахты и восстановлением нарушенных земель.

Данные процессы сопряжены с нарушением земель, отчуждением земель под отвалы и хвостохранилища, заболачиванием или обезвоживанием почв, изменением химического, биохимического и физического состояния пород, почв, вод, воздуха, растительности, увеличением радиоактивного уровня в районах добычи, повышением уровней шума, эстетическими изменениями и т.д.

Основными загрязнителями воздуха при добыче являются пыль, выхлопные частицы и газы, такие как оксиды углерода, азота и серы (CO_2 , CO , NO_x , SO_x), летучие органические соединения, метан, выделяющийся некоторыми геологическими слоями.

Качество воды страдает от сброса шламов и загрязняющих примесей. Поверхностные воды могут быть загрязнены в результате вымывания загрязнителей в карьерах, вскрышных отвалах, терриконах и местах складирования отходов, сброса или утечки загрязненных вод, выветривания и вымывания примесей из вскрышных пород.

Процессы добычи и обогащения руды характеризуются большим водопотреблением. Только при обогащении требуется 21 м^3 воды на тонну руды, что зачастую приводит к снижению уровня подземных вод, вызывающего неизбежное изменение местных экосистем и отражающееся на доступности воды для других потребителей. Кроме того, вода может быть специально откачана для облегчения доступа к рудоносным горизонтам.

Сложной проблемой является обеспечение стабильности мест складирования отходов, образующихся в процессе добычи и обогащения руды. Отвалы являются потенциальными источниками загрязнения поверхностных вод, выветривания и вымывания загрязнителей, просадки подлежащего грунта.

Добыча фосфорсодержащей руды сопровождается изменением ландшафта, шумом и вибрацией от работающего оборудования. Негативное воздействие может возникнуть и в процессе рекультивации нарушенных земель.

При этом эффективность добычи руды достаточно низка. При добыче в недрах остается 25-50 % сырья. Эффективность обогащения по различным подсчетам она не превышает 20-25 %. В среднем на каждую тонну изъятной руды лишь 220 кг поступают в последующую переработку после обогащения, т.е. 78 % породы оказываются в отходах (Industry, 2002). При этом среднее содержание P_2O_5 в добываемой руде, как правило, не превышает 15-20%.

Производство фосфорных удобрений осуществляется путем кислотной и термической переработки фосфатов. В ассортименте фосфорных удобрений, выпускаемых в нашей стране, наибольшая доля приходится на концентрированные формы — двойной суперфосфат и сложные удобрения — аммофос, нитроаммофоску.

Атмосферные выбросы заводов по производству минеральных удобрений могут включать в себя газообразный аммиак (NH_3) и аэрозоль солей аммония, оксиды азота (NO_x , N_2O), фтор (SiF_4 , HF), оксиды серы (SO_x), пыль фосфогипса и удобрений, аэрозоли кислот, радиоактивную пыль фосфогипса.

Жидкие отходы предприятий отрасли представлены, прежде всего, сточными водами, содержащими органические и минеральные кислоты высокой концентрации, щелочи, хлориды, фториды, бромиды, металлы, токсичные органические вещества, а также отработанными органическими растворителями и жидкостями.

Твердые отходы или побочные продукты содержат фосфогипс, золы пирита, карбонат кальция, растворимые соли от обогащения калия, песок, и пластиковую упаковку. Ряд компонентов твердых отходов, образующихся в результате катализа и других аналогичных процессов, требуют специальных мер безопасности при захоронении. Кроме того, твердые отходы отрасли по производству фос-

форных минеральных удобрений, содержат тяжелые металлы, такие как кадмий, ртуть, свинец, никель, мышьяк, алюминий.

Минеральные фосфаты обладают естественной радиоактивностью. Несмотря на то, что радиоактивность фосфогипса, как правило, ниже допустимых пределов, большие объемы складированного концентрата могут быть источником радиоактивного загрязнения за счет выдувания из отвалов пыли и образования радона.

Серьезную проблему представляет размещение фосфогипса, хоть и не токсичного, но образующегося в огромных количествах при производстве фосфорных минеральных удобрений. Приблизительно 1,5 тонны фосфогипса образуется из одной тонны фосфатной руды при производстве фосфорной кислоты, что составляет 5 тонн фосфогипса на тонну P_2O_5 (Mineral, 2002). Основную массу образующегося фосфогипса в настоящее время сбрасывают в отвалы (около 80-120 млн.т. в мире ежегодно).

Производство минеральных удобрений характеризуется высокой энергоемкостью. Энергопотребление отрасли составляет 2-3 % общемирового потребления энергии (Konshaug, 1998). Для производства минеральных удобрений характерно и высокое водопотребление.

Выход полезной продукции широко варьирует в зависимости от качества исходного сырья и технологических процессов. Наибольший выход полезной продукции характерен для фосфоритной муки, получаемой путем размола низкопроцентных фосфоритов, непригодных для химической переработки в суперфосфат (до 94 %). При производстве более дорогих и эффективных удобрений выход полезной продукции составляет до 75 %.

Транспортировка включает в себя процессы расфасовки и упаковки минеральных удобрений, их доставки и хранения.

Воздействие на окружающую среду в процессе транспортировки удобрений, в основном, вызвано процессами расфасовки, упаковки, доставки и хранения и в целом не отличается от воздействий при доставке любых других товаров в больших количествах на значительные расстояния.

Специфическим является загрязнение окружающей среды вследствие потерь самих удобрений. Определенную проблему представляет утилизация использованной упаковки.

В развитых странах потери удобрений при транспортировке очень незначительны и составляют 0,5-2%. В России транспортировка минеральных удобрений от завода до прирельсовых складов осуществляется железнодорожным транспортом и от прирельсовых складов до складов хозяйств — автотранспортом. При этом физические потери удобрений составляют около 15% (Копландикс, 1985), а иногда достигают и 20 %, т.е. эффективность транспортировки составляет около 80-85 %.

Необходимость складирования удобрений обусловлена сезонностью их применения и неравномерным поступлением в течение года. Минеральные удобрения хранят в специальных складах и на открытых площадках. Хранение минеральных удобрений на открытых, необорудованных площадках приводит к значительным их потерям (до 10-15%) и к ухудшению их качества: отсыреванию, слеживанию, снижению содержания в них питательных веществ. Для различных видов удобрений и используемой упаковки нормы естественной убыли при хранении до года составляют 7-32 % (Об утверждении, 2004). Таким образом, диапазон значений для эффективности хранения (без учета возможных потерь в результате хищений) составляет от 68 до 93 %.

На стадии **внесения удобрений**, включающей в себя подготовку минеральных удобрений к внесению, перевозку их к полю и внесение в почву, также существуют их потери.

При внесении удобрений, особенно авиаметодом, возможны их потери за счет сноса за пределы удобряемой площади. При использовании центробежных разбрасывателей возможны самоистечение удобрений из бункера при отключенном подающем устройстве, просыпание их в щели, а также неравномерное распределение удобрений по полю, что снижает их эффективность. Потери питательных веществ удобрений могут быть и после их внесения в почву в результате просачивания в нижние горизонты и сноса стоковыми водами.

Внесение фосфорных удобрений наносит огромный экологический ущерб. Они изменяют структуру почвы, ее кислотность, способствуют развитию эрозийных процессов, участвуют в нарушении почвенной микрофлоры и фауны, являются источником загрязнения почвы токсичными и радиоактивными элементами, загрязняют подземные и поверхностные воды, приводят к выделению огромных количеств парниковых газов, нарушают биоразнообразие экосистем.

Существенным недостатком фосфорных минеральных удобрений является их физиологическая кислотность, а также присутствие в них вследствие технологии производства остаточной кислоты.

С фосфорными минеральными удобрениями в почву попадают многочисленные токсичные элементы, малоподвижные в почвенной среде. К ним относятся в первую очередь, фтор и тяжелые металлы, такие как As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb. Они попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняя их в технологическом процессе. 50-80 % фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с одной тонной необходимого растениям фосфора на поля попадает около 160 кг фтора. Вследствие малой подвижности данных элементов возникает проблема их накопления в почве, что может привести к существенному снижению плодородия почвы и качества продукции.

Качество подземных вод страдает в результате инфильтрации в них токсичных элементов и питательных веществ по профилю почвы с просачивающимися атмосферными осадками. Потери фосфора при вымывании из дерново-подзолистых и серых лесных почв составляет в среднем 0,5-1 кг/га в год.

Поверхностные воды подвергаются не только загрязнению токсичными веществами, но и процессам усиленного эвтрофирования. С каждой тонной твердого стока с одного гектара сельскохозяйственных угодий выносятся до 10 кг общего фосфора. При этом увеличение содержания фосфора в природных водах привело к тому, что биомасса водорослей в ряде озер и водохранилищ превзошла валовую сельскохозяйственную продукцию в тех же регионах.

Кроме естественного выноса 10-25 % фосфора из почв в результате твердого и жидкого стока, существуют потери 2-6 % удобрений в результате нарушения технологии их использования (Хрисанов, 1993). В соответствии с приведенными данными можно определить эффективность внесения фосфорных минеральных удобрений с учетом естественных и технологических потерь. Она составляет 69-88 %.

Основной причиной непроизводительных потерь питательных элементов из внесенных в почву удобрений и негативного воздействия последних на почву, воду, атмосферу, а через них — на животных и человека, является низкая степень их использования. Критерием использования растениями элементов питания является показатель отношения изменения между выносом питательных веществ растениями на удобренных и контрольных почвах к дозе внесенного в почву питательного вещества. Фосфор в год внесения используется на 10-15 %, а в последующие 3-4 года — не более чем на 25 % (Кудеяров, 1984).

Таким образом, фосфорные удобрения характеризуются чрезвычайно низкой эффективностью: менее 2% P_2O_5 , содержащегося в добытой руде, выносятся с

урожаем. Особенно велики потери на стадии добычи руды (до 80 % сырья идет в отходы), при производстве удобрений и их хранении.

ЛИТЕРАТУРА

ИСО 14040-99 Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура.

Industry As A Partner For Sustainable Development: Fertilizer Industry IFA IFA, UNEP May 2002. ISBN 92 807 2183 6 45 pp.

Mineral Fertilizer Production And The Environment. Part 1. The Fertilizer Industry's Manufacturing Processes and Environmental Issues. IFA, 2002 73 pp.

G. Konshaug (1998) Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production, IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, September/October 1998.

Коллан-Дикс И.С. и др. Роль минеральных удобрений в эвтрофировании водоемов суши. Л., 1985.

Об утверждении норм естественной убыли при хранении химической продукции. Приказ №22 от 31 января 2004 г. Зарегистрировано в Минюсте РФ 3 марта 2004 г. N 5599.

Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб, 1993.

Кудеяров В.Н. и др. Экологические проблемы применения удобрений. М., 1984.

LIFE CYCLE ANALYSIS OF THE PHOSPHORIC FERTILIZER INDUSTRY

O.V. Igumnova

*Ecological Faculty, Russian Peoples' Friendship University,
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia*

The ecological issues of fertilizer production and usage are analyzed in the conception of the Life-Cycle Analyses. The main environmental effects of the phosphate mining, concentration, fertilizer production, transport and usage are carried out. Low effectiveness of the phosphoric fertilizers is proved.
