

П. О. ЛУЙГА, Г. П. ПААЛЬМЕ

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ДОБЫЧЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭСТОНСКИХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Человеческая деятельность в сфере производства материальных ценностей часто вступает в конфликт с природой. При этом промышленность является главным источником нежелательной нагрузки на окружающую среду. При решении сложной проблемы защиты окружающей среды необходимо учитывать местные конкретные условия, а также некоторые общие принципы. Так, например, любое производство связано с выделением определенного количества деградированного, ненужного материального и энергетического остатка. В полной мере безотходное использование природного богатства недостижимо и противоречит законам природы, в частности второму закону термодинамики. Более того, даже теоретическому подходу к границе безотходности препятствуют экономические возможности.

Хотя любое нарушение природного равновесия нежелательно, полностью избежать влияния производства на окружающую среду невозможно. Тем не менее, всегда можно найти решение, при котором изменения в природе будут минимальными. При этом наряду с экономическими соображениями очень важны социальные аспекты, особенно обеспечение будущих поколений здоровой жизненной средой и необходимыми природными ресурсами.

Особенности сланцевого района Эстонской ССР

Использование в народном хозяйстве горючих сланцев Эстонского месторождения сопровождается сложной нагрузкой почти на все компоненты окружающей среды: ухудшается режим и качество поверхностных и подземных вод, нарушается чистота воздуха, изменяются свойства почвы и ландшафт. При этом загрязнение атмосферного воздуха и изменение водного режима распространяются довольно далеко за пределы сланцевого района.

Сложность всестороннего учета влияния сланцевой промышленности на окружающую среду вызвана главным образом двумя причинами: во-первых, гетерогенностью и высокой чувствительностью природы Эстонского сланцевого района и, во-вторых, высокой химической и биологической активностью многочисленных продуктов использования сланцев. Отрицательное воздействие сланцевой промышленности на окружающую среду является серьезной проблемой и за рубежом [1, 2].

Основные виды землепользования в сланцевом районе — лесное и сельское хозяйство. Сельскохозяйственные объекты сосредоточены главным образом вблизи промышленных предприятий. Протекающая вдоль восточной границы района р. Нарва — самая полноводная в Эстонской ССР. С юга район граничит с четвертым по величине в Европе озером — Чудско-Псковским. Эти водоемы являются перспективными источниками: р. Нарва — для сланцевого бассейна, Чуд-

ско-Псковское оз. — для северной Эстонии, в том числе для Таллина. Чувствительность района к антропогенной нагрузке увеличивается из-за высокой плотности населения вдоль железнодорожной магистрали Таллин—Ленинград (до 200 жителей на 1 км²) [3] и многочисленных зон отдыха. Кроме того, природно-климатические условия в северо-восточной Эстонии более неблагоприятны, чем во внутренних районах Эстонии, поэтому влияние атмосферных загрязнений там интенсивнее [4].

Влияние горных работ на природную среду

Отличительная черта воздействия сланцедобывающей промышленности, как и горной промышленности вообще, на окружающую природную среду — это превалирование нарушения структуры геологической среды над загрязнением биологической среды вредными веществами. Так как нарушения геологической среды связаны с ведением горных работ, их размеры и характер зависят от способа разработки и применяемой технологии добычи [5].

При открытом способе добычи происходит перемещение всей толщи вскрышных пород. Создается техногенный ландшафт, народнохозяйственное использование которого без рекультивации практически невозможно. Подземная добыча не вызывает изменения стратиграфической последовательности пород, но при определенных системах разработки, особенно с принудительной посадкой кровли, нарушения первоначальной структуры слоистой толщи могут привести к значительным изменениям рельефа поверхности и режимов подземных и поверхностных вод.

При существующем уровне открытой добычи сланца нарушаемая горными работами площадь составляет примерно 400 га в год. Это преимущественно леса и болота; доля сельскохозяйственных угодий не превышает 5%. Всего сланцевыми разрезами нарушено около 8000 га земель, из них рекультивации под лесные культуры подверглось 6700 га. Рекультивированы первые десятки гектаров возделываемых сельскохозяйственных земель. Надо отметить, что восстановление маломощного плодородного слоя является трудной задачей.

Многолетний опыт рекультивации сланцевых разрезов свидетельствует о необходимости увязки технологии горных и рекультивационных работ. Уже в ходе вскрышных работ должны создаваться предпосылки для формирования нового техногенного ландшафта с требуемым рельефом и условиями максимального использования народнохозяйственного потенциала плодородного слоя. Добыча сланца открытым способом требует комплексного подхода к природопользованию, так как при вскрышных работах другие природные ресурсы (лес, торф, общераспространенные полезные ископаемые) при несвоевременном использовании утрачиваются.

Влияние подземной добычи сланца имеет более сложный характер. В зависимости от применяемой системы разработки земная поверхность деформируется в разной степени: от оседаний, определяемых только инструментально, до замкнутых понижений (мульд) глубиной 1,5—2,0 м. Не менее важны природные условия. При неглубоком залегании промпласта и отсутствии в покрывающих породах водупорных слоев горные работы сопровождаются осушительным эффектом, с увеличением же глубины разработок и водонепроницаемости четвертичных отложений — наоборот — возрастает опасность переувлажнения почвы, включая затопление пониженных участков рельефа. Особенно подвержены деформации мелиорированные площади.

Увеличение в будущем удельного веса способа управления кровлей

с принудительной посадкой делает актуальным выбор технологии подземной добычи сланца с учетом ценности земель и чувствительности их к горным работам [6]. При определении условий равновесия между природой и горной промышленностью нельзя не учитывать и основные особенности геологической среды. Во-первых, невозобновимость запасов полезных ископаемых обуславливает постоянное движение фронта горных работ, а в связи с этим — рост нарушенных территорий (без увеличения объемов производства). Во-вторых, причиненные горными работами нарушения воздействуют на окружающую среду практически постоянно — они сохраняются даже после ликвидации источника нарушения.

Загрязнение вод

Шахтные воды можно считать частично загрязненными, поскольку они обладают повышенной жесткостью (20 мг · экв/л) и содержат много взвешенных веществ (20—50, а в отдельных случаях до 600 мг/л) и сульфатных ионов (до 500 мг/л). На действующих сланцедобывающих предприятиях применяют единственный способ очистки шахтных вод — отстаивание взвешенных веществ в прудах-отстойниках. Для новой шахты «Куремяэ» предусматривается двухступенчатая схема очистки — безреагентное отслаивание и фильтрование.

Главная проблема для электростанций — это сброс щелочной воды гидрозолоудаления ($\text{pH} > 12$). Так как количество выпадающих осадков превышает испарение на золоотвалах, образуется избыточная вода, которая сбрасывается в природные водоемы. Вопрос о нейтрализации щелочных вод сланцевых электростанций в промышленном масштабе до сих пор не решен. При переходе на гидрозолоудаление он станет актуальным и для сланцеперерабатывающей промышленности.

Основными компонентами сточных вод сланцеперерабатывающей промышленности являются содержащиеся в подсмольной воде водорастворимые фенолы и сланцевая смола. Кроме того, наблюдается постоянное загрязнение сточных вод полициклическими ароматическими углеводородами, в частности бенз(а)пиреном. Очистка сточных вод сланцеперерабатывающей промышленности осуществляется в системе районных очистных сооружений, которые приспособлены также для очистки стоков других промышленных предприятий и коммунального хозяйства. Очищенные сточные воды направляются по коллектору в Финский залив.

Однако очистке не подвергаются стоки золоотвалов, отсутствуют локальные очистные сооружения некоторых производств, а без них достижение требуемой эффективности очистки невозможно. Особенно важной задачей является предотвращение попадания токсичных веществ золоотвалов с дождевыми водами в природную среду, так как в этом случае объектами загрязнения являются не только поверхностные, но и подземные водоемы.

Атмосферные выбросы

В Эстонской ССР атмосферными выбросами наиболее загрязнена северо-восточная часть. Их основные источники связаны со сланцевой промышленностью — это электростанции, сланцеперерабатывающие предприятия, а также комбинаты стройматериалов, использующие сланцевую золу. Комплекс веществ, загрязняющих воздушный бас-

сейн, составляют, с одной стороны, обыкновенные атмосферные загрязнители — пыль, SO_2 , CO , NO_x , углеводороды (около 95% всех выбросов), а с другой — специфические для сланцевой промышленности вещества — фенолы, ароматические углеводороды, аммиак, сероводород.

Общее количество атмосферного выброса пыли промышленными предприятиями достигает 300 тыс. т в год. Ее главная часть (более 75%) — летучая зола, образующаяся при сжигании сланца на электростанциях. Пыль, выбрасываемая предприятиями стройматериалов, в основном также представляет собой сланцевую золу. Из-за высокого содержания сульфатов и тяжелых металлов сланцевая зола загрязняет почву и водоемы. Поскольку выбросы чаще производятся из высоких источников, зола рассеивается на далекие расстояния — достигает Чудско-Псковского озера и выходит за пределы республики. Летучая зола, кроме биологического воздействия, обладает связующими свойствами и, образуя твердые пленки на объектах, например на изоляторах электролиний, вызывает нежелательные последствия.

Применяемая двухступенчатая очистка дымовых газов от пыли при помощи механических инерционных циклонов и электрофильтров должна обеспечить минимальное содержание твердых частиц в выбрасываемых газах — не более 0,3—0,4 г/м³ [7]. Однако фактически этот показатель существенно выше. При отсутствии электрофильтров (ТЭЦ «Кохтла-Ярве») содержание золы в выходящих дымовых газах доходит до 20 г/м³. Следовательно, технические возможности предотвращения выброса золы далеко не исчерпаны.

При прямом сжигании горючих сланцев значительная доля содержащейся в них серы связывается золой [8]. Хотя при этом атмосферный выброс газообразных окислов серы уменьшается, содержание сульфатной серы в летучей золе увеличивается. А поскольку сульфаты отрицательно влияют на различные объекты окружающей среды, уменьшение выброса золы — особо важная задача. Несмотря на то, что в зависимости от режима сжигания горючих сланцев 75—90% содержащейся в них серы удерживается золой, с дымовыми газами Прибалтийской и Эстонской ГРЭС ежегодно в атмосферу выбрасывается более 150 тыс. т SO_2 .

Благодаря связыванию серы золой, 1 т горючих сланцев при сжигании выделяет не более 10 кг SO_2 , тогда как 1 т сернистого мазута — около 60 кг. В этом отношении преимущество горючих сланцев в качестве топлива очевидно. Но если сравнить выбросы SO_2 на единицу получаемой энергии, то соотношение почти выравнивается (1 : 1,5). Поскольку сланцевая зола является хорошим уловителем окислов серы, использование золы в целях уменьшения выброса SO_2 весьма перспективно. Важно и то, что в техническом и экономическом аспекте очистка дымовых газов от частиц намного проще, чем улавливание SO_2 .

Окислы азота в сланцевом районе выбрасывают в атмосферу преимущественно электростанции — около 30 тыс. т в год. Автотранспорт добавляет к этому около 50 тыс. т в год и столько же — все другие источники. Вопрос об уменьшении выделения NO_x — проблема теплоэнергетики всего мира. К сожалению, удовлетворительного решения до сих пор нет.

Выброс CO в сланцевом районе доходит до 60 тыс. т в год (из них до 50 тыс. т — по вине автотранспорта).

Основной источник выделения в атмосферу органических веществ — сланцеперерабатывающие предприятия. По последним данным, они выбрасывают в атмосферу около 4 тыс. т предельных и непредельных и 2,5 тыс. т ароматических углеводородов в год. К это-

му добавляется более тысячи тонн углеводов, выделяемых с площадок выброса фусов в отвале. Из общего количества фенола, попадающего в атмосферу, — около 0,1 тыс. т в год — половина выбрасывается Кохтла-Ярвским заводом минераловатных изделий. Выбросы ацетона, стирола, этилбензола, метанола и других органических веществ колеблются от нескольких тонн до сотен тонн в год. Всего же в воздухе сланцевого бассейна идентифицированы органические вещества ста наименований [9]. Все аспекты загрязнения воздуха сероводородом пока не выяснены. Объемы выделения H_2S можно приблизительно оценивать лишь по параметрам технологических процессов сланцеперерабатывающих предприятий. Выбросы сернистых соединений энерготехнологической установкой УТТ-3000 до сих пор не определены, поскольку она не работает на стабильном режиме, что препятствует проведению необходимых измерений и получению репрезентативных проб.

Многочисленные продукты горючих сланцев — сложные по составу вещества, которые обладают высокой химической и биологической активностью, что расширяет область их применения в народном хозяйстве. Однако их остатки и технологические выбросы, как правило, представляют для окружающей среды повышенную опасность по сравнению с продуктами нефтяного происхождения. Поэтому предельно допустимая концентрация (ПДК), например, паров нефтяного бензина равна 5 мг/м^3 , тогда как ПДК сланцевого бензина — лишь $0,05 \text{ мг/м}^3$.

Следует отметить, что информация об эмиссии вредных веществ также весьма неопределенна. Расчетные количества выбросов недостаточно сведены с натуральными замерами, в частности по сернистому ангидриду и окислам азота на электростанциях. Сланцеперерабатывающие предприятия учитывают не более 20 ингредиентов, однако, как мы уже говорили, последние исследования показывают присутствие в выбросах до 100 различных ингредиентов. Сланцепереработке присущи большое количество неорганизованных выбросов (при загрузке—разгрузке агрегатов, за счет испарения жидких продуктов при закачке в резервуары и цистерны и хранения, из коксозольных отвалов и др.), а также возможные нарушения технологических режимов с резким увеличением эмиссии вредных веществ.

Твердые отходы

Одну треть добываемой горной массы составляет известковая порода, выделяемая при обогащении. Около половины перерабатываемого и сжигаемого горючего сланца остается в виде золы, кокса и полукокса. Годовой объем твердых отходов, образующихся при добыче и использовании горючих сланцев, составляет примерно 20 млн. т. В народном хозяйстве используется только около 4 млн. т в год. В отвалах на территории сланцевого района накопилось более 250 млн. т твердых отходов, которыми покрыто более 2500 га земли, в том числе золоотвалами ГРЭС — почти 2000 га. При существующем уровне использования отходов ориентировочный объем отвалов составит к 2000 г. 500—600 млн. т. Отвалы твердых отходов не только занимают земельные угодья, но являются также источниками загрязнения природной среды, в первую очередь водоемов. Наилучшее решение этого вопроса — более полное использование отходов в народном хозяйстве.

В настоящее время на обогатительных фабриках образуется 7—8 млн. т отходов в год. Из этого количества лишь 400—500 тыс. т используют для строительства насыпей и нижних слоев дорож-

ных оснований, а также в качестве засыпного материала в строительстве. Препятствием для более широкого их использования является недостаточная мощность погрузочно-разгрузочных устройств в пунктах перегрузки отходов с железнодорожного транспорта на автомобильный.

В процессе сжигания горючего сланца в пылевидном состоянии образуются два вида золы: шлакозольные остатки, удаляющиеся гидравлическим способом в золоотвал, и летучая зола, основная масса которой улавливается в циклонах и электрофильтрах.

Сланцевые шлакозольные остатки применения пока не нашли.

Годовой объем образования летучей золы составляет более 6 млн. т. Она используется в народном хозяйстве в основном для известкования кислых почв (3 млн. т / год), ее крупная фракция — для производства автоклавных ячеистых и тяжелых бетонов (0,3 млн. т / год), мелкая — для получения ряда высокомарочных сланцевольных портландцементов (0,1 млн. т / год). В незначительном количестве зола применяется для укрепления грунтов и материалов при строительстве дорожных покрытий и оснований.

Важным фактором, препятствующим более широкому использованию сланцевой золы в народном хозяйстве, является относительно высокое содержание в ней ядовитых веществ, в том числе тяжелых металлов. Так, по этой причине ограничено применение сланцевой золы для известкования водоемов в целях нейтрализации кислых осадков.

Из-за неоднородности свойств и содержания остаточных углеводов и вредных для окружающей среды веществ коксозольные отходы термической переработки горючих сланцев (2,5 млн. т / год) не пригодны ни для использования в качестве строительных материалов, ни для известкования кислых почв. Для обезвреживания и утилизации твердого остатка сланцевых генераторов (полукокса) необходимы его измельчение, сушка и термоокислительный обжиг.

В последнее время изучается возможность использования зольных остатков сланцепереработки для производства карбида кальция, а также в качестве добавки в доменную шихту.

Предотвращение ущерба

Размеры ущерба, наносимого окружающей среде загрязняющими ее веществами, зависят от двух факторов — активности вредного вещества и устойчивости подвергающихся его воздействию объектов. Уменьшения ущерба можно достигнуть как снижением степени вредного влияния, так и повышением способности объекта противостоять ему. Выбор наиболее целесообразного пути определяется, главным образом, экономическими соображениями и техническими возможностями. При решении этой проблемы наглядно выявляются противоположные отраслевые интересы и административные барьеры. Причина в том, что вопрос уменьшения влияния вредных факторов, как правило, должна решать промышленность, а защитой объектов должны заниматься их владельцы. (По оценкам, только 15% ущерба, причиняемого загрязнением воздушного бассейна, наносится по вине предприятий, загрязняющих атмосферу [9]).

Объем прямого и косвенного отрицательного влияния промышленности на окружающую среду определяется как качественными показателями (способ добычи полезных ископаемых, свойства ландшафта, ядовитость выбрасываемых веществ и т. д.), так и, в значительной мере, количественными факторами — например, размерами охвачен-

ной производством территории, количеством выбрасываемых веществ и др. Это объясняет, почему в довоенные годы и без особых мер защиты окружающей среды значительных повреждений природы этого района не наблюдалось.

В 1940 г. общая добыча горючих сланцев ограничивалась 1,9 млн. т, из них на месте использовалось 0,87 млн. т. Сейчас добыча сланца составляет 27 млн. т, и весь он практически полностью используется на месте. Хотя технология горных работ и характер использования сланцев за прошедшие годы существенно изменились, сравнение приведенных данных достаточно наглядно характеризует рост нагрузки сланцевой промышленности на природную среду региона.

Исследовательские и прикладные работы по уменьшению вредного влияния добычи и переработки сланцев в сланцевом районе ведутся уже десятки лет и постоянно расширяются. Одной из первых и до сих пор самой масштабной работой является изучение гигиенических особенностей населения институтами Минздрава ЭССР. К этому направлению относится и изучение распределения канцерогенных и других вредных веществ в продуктах переработки сланцев в природных водах и воздухе. В последние годы все больше внимания уделяется вопросам влияния промышленности сланцевого района на лесное и сельское хозяйство. Эти работы непосредственно связаны с изучением экономических аспектов развития народного хозяйства республики.

Вопросами охраны окружающей среды в сланцевом районе Эстонской ССР занимаются десятки институтов, организаций и учреждений. Накопленный материал огромен, но предлагаемые решения обычно отражают отраслевые интересы и нередко бывают основаны на односторонних оценках. В этой ситуации назрел вопрос о централизации управления природоохранной деятельностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Leenheer J. A., Stuber H. A.* Migration through soil of organic solvents in an oil-shale process water. — *Environ. Sci. Technol.*, 1981, 15, N 12, p. 1467—1475.
2. *Mavis J. D. Jr., Rossain R. M.* Water management in the oil shale industry. — *Chem. Eng. Progress*, 1982, 78, N 6, p. 61—69.
3. *Smider E.* Kohtla-Järve. — Tallinn, 1981.
4. *Талм О. М., Этлин С. Н.* Окружающая среда и ее защита в условиях Эстонской ССР. — Таллин, 1983.
5. *Рейнсалу Э., Тоомик А.* О воздействии подземных горных работ на геологическую среду. — *Горючие сланцы*, 1984, 1, № 2, с. 141—146.
6. *Аарна А., Эпик И.* Использование горючих сланцев в Эстонской ССР. — *Горючие сланцы*, 1984, 1, № 1, с. 7—15.
7. *Кальювез Э.* Основные направления научно-технического прогресса добычи горючих сланцев. — *Горючие сланцы*, 1984, 1, № 1, с. 43—44.
8. *Эпик И. П.* Современное состояние и перспективы использования горючих сланцев в энергетике. — *Энергетика*, 1981, № 1, с. 40—48.
9. *Этлин С. Н.* Выбор показателей оценки степени загрязнения атмосферы в районе размещения объектов сланцевой химии и энергетике. — В кн.: *Окружающая среда и здоровье населения: Тез. докл. респ. конф.* Таллин, 1984, с. 186—187.

Представил К. Э. Уров

Поступила в редакцию

29.12.1984

Институт химии
Академии наук Эстонской ССР
г. Таллин

Научно-исследовательский институт
лесного хозяйства и охраны природы
г. Тарту

ENVIRONMENTAL PROTECTION FROM MINING AND UTILIZATION OF ESTONIAN OIL SHALE

Oil shale mining and utilization affects greatly the environment and leads to conflicts between the industry and environment protection officials. To solve the problems and satisfy both sides a compromise agreement should be found.

Estonian oil shale reserves are located in the area sensitive to pollutants. It has complex water system, some parts of the area are intensively used and densely populated. The open-cast mining of oil shale transforms the shape of landscape, changes hydrogeological properties of rocks and some of the fertile soil is lost. In the oil shale industry in Estonia the share of the underground mining is increasing. Underground mining results in soil subsidence, it deteriorates the natural movements of waters and some areas will become marshy. Obviously, the best solution of these problems will be following the underground mining with filling up the excavated areas.

Water pollution problems appear mainly due to precipitation waters which solute toxic compounds from solid residue fields of oil shale burning and processing plants. Ash emanates mainly alkaline compounds, the semicoke is the main source of sulfides and phenols.

To minimize the hazardous influence upon the environment technological measurements both for reducing emission of pollutants and protecting influential objects are used.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Chemistry
Tallinn*

*Research Institute of Forestry
and Environmental Protection
Tartu*