

## Горючие сланцы Беларуси: ресурсы и перспективы использования

*А. Д. Пещенко, доцент кафедры радиационной химии  
и химико-фармацевтических технологий;*

*Д. И. Мычко, доцент кафедры неорганической химии,  
Белорусский государственный университет*

Общепризнанно, что экономическая и, следовательно, национальная безопасность любого современного технологически развитого государства во многом определяется его энергетической безопасностью.

Республика Беларусь не обладает значительными запасами собственных природных топливно-энергетических ресурсов. Обеспеченность ими составляет около 20 % от общего объёма энергоресурсов, потребляемых для производства электрической и тепловой энергии. Поэтому в настоящее время, когда импортируемое углеводородное топливо имеет высокую стоимость, поиск новых решений по его частичной замене местными видами, разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий его добычи и переработки особенно актуальны.

Целевой программой, утверждённой правительством Республики Беларусь, поставлена задача увеличить использование местных топливных ресурсов, возобновляемых и альтернативных источников энергии, чтобы к 2012 году их доля в общем объёме производства тепловой и электрической энергии составила 25 %. Одним из возможных путей решения этой задачи является освоение месторождений горючих сланцев, по запасам которых на постсоветском пространстве Беларусь находится на третьем месте, уступая России и Эстонии.

Горючие сланцы — это твёрдое горючее полезное ископаемое, генетически близкое нефти, газу, торфу и ископаемым углям. При их сгорании выделяется тепло, а при термическом разложе-

нии — сланцевое масло — аналог нефти, поэтому в настоящее время они рассматриваются в качестве источника жидкого топлива, альтернативного нефти. Их разработка интересна ещё и тем, что мировые прогнозные ресурсы этого сырья оцениваются в 930 трлн тонн, а потенциальные запасы заключённой в них сланцевой смолы, из которой получают газ, бензин, мазут, а также широкий спектр продукции для нефтехимического комплекса, — в 53 трлн тонн. Это во много раз превышает мировые запасы углеводородов (нефть, уголь, природный газ) вместе взятых.

Большое внимание горючим сланцам в Беларуси в последнее время уделяли совсем не случайно: сланцевый бум давно охватил Америку, Китай, постепенно добравшись и до многих европейских стран. Сланцы называют топливом будущего.

Цель настоящей публикации, с одной стороны, проинформировать педагогическую общественность об одном из перспективных направлений решения современных энергетических проблем, которое может сыграть очень важную роль в обеспечении энергетической безопасности нашей страны, с другой — подготовить их к необходимости использования этого материала в содержании обучения химии как в средней, так и высшей школах.

В учебно-методическом плане эти материалы могут быть использованы в раскрытии темы «Углеводороды в природе». Они будут полезны в плане развития учащихся, поскольку расширят их представления о полезных ископае-

мых, химических процессах, лежащих в основе их использования. В воспитательном плане эти материалы важны для демонстрации перспектив устойчивого развития нашей страны, для

формирования ценностного отношения к её природным ресурсам и понимания важности развития химической науки и промышленности, расширяющих возможности существования человечества.

### Что такое горючие сланцы, где и как они образовались

Горючие сланцы — это глинистые, известковистые или кремнистые, плотные тонкослоистые, при выветривании листоватые или массивные осадочные горные породы от желтоватого до коричневого и синевато-серого цвета. Их отличительным признаком является то, что они содержат органическое вещество, которое придаёт им горючесть. Загораются горючие сланцы от спички, при этом они издадут запах жжёной резины и сильно коптят. Это свойство и определило их название.

Второй характерный признак горючих сланцев, который также зафиксирован в названии этой породы, — это слоистое строение, способность легко раскалываться на тонкие пластинки, листы. Существует даже термин «сланцевая структура», название которой, согласно словарю Даля, происходит от слова «слать», т. е. «стелить» (сейчас принято писать «стлать». — *Ред.*). Сланью в старину называли всё, что постлано, настлано, что стелется, всякую настилку и постилку. В Ярославле так называли скатерть, а ковер, половик — подножной сланью. Сланцами также называли место, где стелили лен\*.

Состоят горючие сланцы из смеси неорганических и органических веществ. Неорганических по массе больше (60—85 % в сухой массе) и они представлены в основном карбонатными и глинистыми минералами. Первые — это кальцит и доломит в различных соотношениях, вторые — гидрослюда и монтмориллонит. В сланцах также содержится кварц, полевые шпаты, пирит и со-

единения многих других элементов, в том числе редких — урана, ванадия, молибдена, рения.

Органическая составляющая горючих сланцев — это так называемый кероген — природный полимерный органический материал с высокой молекулярной массой (более 1000 г/моль). Он нерастворим в обычных органических растворителях и водном щелочном растворе, а каждая его молекула является уникальной, поскольку представляет собой случайное сочетание различных мономеров. Структуру керогена представляют в виде макромолекулы, составленной конденсированными карбоциклическими ядрами, соединёнными гетероатомными связями или алифатическими цепочками.

По элементному составу кероген сланцев более близко, чем остальные виды горючих ископаемых, стоит к нефтям и характеризуется сравнительно высоким содержанием водорода (8,5—11 %) и углерода (66,5—79,7 %), а также небольшим содержанием кислорода (в среднем 5—12 %). Поэтому горючие сланцы называют протонефтью.

В сланцах также может содержаться сланцевый газ, состоящий преимущественно из метана.

По условиям образования горючие сланцы относят к каустобиолитам. Этот термин образован от корней трёх древнегреческих слов — *καυστός* — «горючий», *βίος* — «жизнь» и *λίθος* — «камень» — и буквально означает — горючие камни биологического происхождения.

\* А знаете ли вы, что слово «сланцы», обозначающее резиновые шлёпанцы, вошло в наш словарный запас во времена, когда в Советском Союзе в городе Сланцы (Ленинградская область, Россия) функционировал завод «Полимер», который вполне успешно эти самые шлёпанцы и изготавливал. На подошвах этих шлёпанцев было выдавлено название города, а многие покупатели полагали, что это название обуви, а не место её изготовления. Таким образом имя собственное превратилось в нарицательное.

К этому же классу органогенных пород также относятся торф и угли. Все они возникли из геохимически преобразованных остатков растительности и животных. Отличие между ними заключается в содержании органического вещества: в углях и торфе органического вещества больше (не менее 50 %).

Образование горючих сланцев началось сотни лет назад. Самые древние из них образовались в далёком докембрии, т. е. более 1 млрд лет назад. Они гораздо старше самого древнего угля, которому «только» 300—400 млн лет. Примерно 40 % всех сланцев образовалось в палеозойскую эру, около 30 % — в мезозойскую, 25 % — в кайнозойскую. На постсоветском пространстве горючие сланцы известны в кембрийских, ордовикских, девонских, каменноугольных, юрских, палеоген-неогеновых отложениях.

Схематично процесс образования горючих сланцев можно представить из нескольких стадий.

На первой стадии на дне озёр или приморских лагун (мелководных заливах, отделённых от моря полосами песка) произошло накопление перегнившего ила — сапропеля — из остатков отмерших водорослей, микроорганизмов, высших растений и погибших животных, переработанных личинками насекомых и микроорганизмами. Затем по мере высыхания этих водоёмов ил перемешался с выпавшими из воды частицами доломита, глины, песка и других минералов. В последующие периоды геологической истории на эти отложения легли мощные пласты других пород. Под их давлением и воздействием температуры, растущей с глубиной погружения, происходило уплотнение, цементация, биохимическое и физико-химическое преобразование осадка.

В настоящее время обсуждаются три механизма консервации органического вещества (ОВ) в осадке. Первый механизм консервации ОВ предусматривает протекание процессов деградации — распад биогенных полимеров и «случайную» конденсацию продуктов их распада в новый геологический полимер —

кероген (Larter, Douglas, 1980; Тиссо, Вельте, 1981). Этот путь накопления органического вещества в осадках называется «деградация/реконденсация». Позже, в связи с изучением механизмов сохранения ОВ в условиях аноксических бассейнов, был предложен и экспериментально подтверждён механизм «природной вулканизации» для липидной фракции исходного органического вещества (Sinninghe Damste et al., 1987; La Londe, 1990), а затем и для углеводной (van Kaam Peters et al., 1998). В последние годы был выявлен третий путь накопления ОВ в осадках, названный «селективное сохранение», что обозначает остаточное накопление наиболее устойчивых к факторам диагенеза молекул при деструкции менее устойчивых. Каждый из этих случаев (если представить его протекание в чистом виде) приводит к формированию совершенно различных керогенов, характеризующихся принципиально отличающимся элементарным составом, набором основных структурных фрагментов и способами их сочленения. Эти керогены обладают различным углеводородным потенциалом и основным направлением катагенетического преобразования.

В зависимости от исходного материала, из которого образовалось органическое вещество, горючие сланцы подразделяются на две группы:

1) сапропелитовые кукерситы — являются продуктами превращения простейших водорослей и животных материалов (например, горючие сланцы Прибалтийского сланцевого бассейна);

2) гумито-сапропелитовые — это изменённые остатки высших растений (гумусовые компоненты) и частично животных организмов. Этот вид горючих сланцев особенно распространён в Карпатах.

Остатки разнообразных водорослей и моллюсков, скелетов рыб и животных, а также продуктов их полного разложения обнаруживаются в сланцах при их рассмотрении под сильным увеличением в микроскоп.

Первая группа сланцев отличается от второй повышенным содержанием в

породообразующем веществе водорода (8—10 %) и низким — гуминовых кислот (0,5 %), ввиду чего обладает повышенным выходом смол до 20—30 % и удельной теплотой сгорания до 14,6—16,7 Мдж/кг. Эти показатели у гумито-сапропелитовых горючих сланцев ниже (при равном содержании минеральной примеси), поскольку в составе высших растений преобладают целлюлоза и лигнин, а в составе низших — жиры, воски и смолы.

Сапропелевые вещества содержат насыщенные монокарбоновые кислоты жирного ряда, моно- и полициклические карбоновые кислоты, их соли и ангидриды, а также кислородсодержащие соединения с нейтральным характером и циклическим строением. В сапропелевых веществах отсутствуют ароматические структуры.

### Мировые запасы горючих сланцев

Сведения о мировых запасах горючих сланцев противоречивы. По ориентировочным расчётам общие запасы сланцев, содержащих от 10 до 65 % органического вещества, превышают 1500 млрд тонн. По оценке специалистов, запасы сланцев (в расчёте на сланцевую смолу) превышают 550 млрд тонн. Управление энергетической информации США (EIA) оценивает извлекаемую из сланцев нефть в 370 млрд тонн. К этому следует добавить, что многие сланцевые месторождения могут содержать природный сланцевый газ, мировые ресурсы которого оцениваются примерно в 200—460 трлн м<sup>3</sup>.

Основные ресурсы (около 430—450 трлн тонн) сосредоточены в США

Собственно горючими сланцами часто считают породы, в органической части которых преобладают сапропелевые вещества, а содержание гумусовых веществ (образующихся при разложении остатков наземных растений) не превышает 25 %. В этом и заключается отличие горючих сланцев от бурых и каменных углей, которые образовались в основном из гумусовых веществ.

По составу органической массы сланцы близки к сапропелитовым углям, но отличаются от них высоким содержанием минеральных веществ. Минимальное содержание золы в горючих сланцах принято считать равным 30 %.

Залегают горючие сланцы, образуя сланценозные формации мощностью (т. е. толщиной) в десятки и сотни метров с площадью распространения до нескольких тысяч квадратных километров.

(штаты Колорадо, Юта, Вайоминг), на втором месте идёт Россия, на третьем — Бразилия. Запасы горючих сланцев распределяются между континентами следующим образом (млрд тонн): Азия — 500, Африка — 370, Северная Америка — 220, Южная Америка — 180, Европа — 120, Австралия — 90. Крупные месторождения горючих сланцев находятся на территории Эстонии, Беларуси, Казахстана и Узбекистана. К разработке горючих сланцев в ближайшее время готовятся приступить в Польше.

Месторождениями горючих сланцев располагают Канада, Китай, Великобритания, Швеция, ФРГ, Испания, Австрия, Югославия, Египет, Мали, Сомали и другие страны.

### Промышленное значение горючих сланцев

Горючие сланцы нельзя назвать традиционным энергетическим сырьём.

Первое упоминание об использовании сланцев относится к 1694 г., когда британское правительство выдало патент некому Мартину Илу и его кол-

легам, которые, как говорилось в патенте, «после многих трудов и затрат действительно обнаружили способ извлекать и добывать большое количество дёгтя, смолы и масла из определённого вида камней, которых имеется в изоби-

лии в наших доминионах, и мы желаем взлелеять и вдохновить все похвальные начинания и проекты всех лиц, коих трудолюбием находятся полезные ископаемые и выгодные знания, ремёсла и изобретения».

Любопытно, что переработка сланцев в жидкое топливо — сланцевую смолу, близкую по свойствам нефти, вошла в практику задолго до начала промышленной добычи нефти. Сам термин *petroleum* (каменное масло) раньше означал сланцевую смолу и лишь потом стал означать нефть. Сейчас сланцевую смолу называют синтетической нефтью.

В 1838 г. было положено начало сланцевой промышленности Франции, затем Шотландии, США, Австралии, Бразилии, Швейцарии, Испании, Южной Африки, Чехословакии. Интересно, что в России идея промышленного использования горючих сланцев возникла только во время Первой мировой войны, когда блокада Балтики сделала невозможным снабжение Петербурга английским каменным углём. В 1916 г. начались геологические работы в районе имения Кохтла и деревни Ярве. В настоящее время Эстония является лидером в промышленной добыче и переработке сланца, а также монополистом ряда научных разработок и инноваций сланцевой отрасли. В частности, вся энергетика страны базируется на технологии горючих сланцев: при прямом сжигании получают тепло и электроэнергию, при глубокой переработке — нефтепродукты: сланцевое масло, а также высококалорийный газ и химическое сырьё, из которого производят сорбенты, фенолы, тиофеновые соединения, нефтеполимерные смолы и другую высоколиквидную продукцию.

Таким образом, с точки зрения возможности промышленного использования горючие сланцы являются и топливом, и энергохимическим сырьём. В качестве топлива они могут использоваться как при непосредственном сжигании, так и после переработки в сланцевое масло.

Прямое сжигание сланцев может производиться на так называемых конденсационных электростанциях, где тепловая энергия топлива идёт на образование водяного пара, потенциальная энергия которого расходуется на работу паровой турбины. Она, в свою очередь, приводит в движение электрогенератор, преобразующий кинетическую энергию вращения ротора генератора в электрический ток. У нас в стране исторически сложившееся название таких электростанций — ГРЭС — государственная районная электростанция. Некоторые из таких электростанций работают как теплоэлектроцентрали. Эстонская и Прибалтийская ГРЭС — крупнейшие в мире электростанции, работающие на сланцах.

Но природа наделила сланцы более скромными по сравнению с углём горючими свойствами, и сланцы относятся к низкосортным видам топлива. Минеральная часть служит для сланцев балластом и снижает их теплотворную способность. Поэтому прямое сжигание сланца на ТЭЦ хотя и является наиболее простым способом, однако более эффективное использование энергетического потенциала сланцев заключается в их глубокой переработке в сланцевое масло (синтетическую нефть). Если учесть все достоинства сланцев как химического сырья, то про них можно сказать то же, что в своё время про использование нефти сказал Д. И. Менделеев.

Основными продуктами термической переработки горючих сланцев являются сланцевое масло, горючие газы с высокой теплотой сгорания, смолы, полукокс и сланцевая зола.

Первые идут в качестве топлива на электростанции, а смолы являются ценным химическим сырьём для производства почти пятидесяти различных продуктов.

Сланцевые смолы содержат фенолы (преимущественно высококипящие), парафиновые, алифатические, нафтеновые и ароматические углеводороды. Смола используется как жидкое топли-

во. Из неё получают фенол, бензол, ароматические углеводороды, ихтиол, толуол, мастики, модификаторы резины, пластификаторы, клеевые вещества, синтетические дубители, антисептики, лаки и красители, растворители, синтетические смолы, шпалопрпиточное масло, электродный кокс и другие ценные химические продукты. Сланцевая смола является хорошим изолятором, «защитником» от коррозии, в ряде случаев заменяет пайку и сварку.

Сланцы рассматриваются и как перспективное химическое сырьё в плане получения из них и синтез-газа.

Твёрдые отходы переработки горючих сланцев (зола, сланцевый полукокс и кокс) являются дешёвым сырьём для производства строительных материалов. Из них изготавливают сланцевозольный портландцемент, силикатный кирпич, стеновые блоки, пенобетон, аглопорит, перегородные плиты, дренажные трубы и другие строительные детали. Карбонатные отходы добычи и обогащения горючих сланцев применяются для производства строительного щебня. Из известняков и глинистых пород сланцевых месторождений получают ценнейший теплоизоляционный материал — минеральную вату.

В дорожном строительстве отходы добычи и обогащения сланцев, а также сама бедная органической массой сланцевая порода могут быть использованы в качестве компонентов асфальтобетонных смесей. Содержащаяся в сланцах органическая часть — кероген — улучшает смачиваемость минерального материала битумом, улучшает прилипание битумной плёнки, повышает водостойкость и прочность асфальтобетонных смесей, уменьшает процесс старения битума.

В сельском хозяйстве продукты переработки сланцев используются для борьбы с эрозией почв и гербицидов, а сланцевая зола — для известкования почв.

Горючие сланцы отдельных месторождений имеют высокое содержание Cu, Mo, U, Pb, Zn, V и оцениваются как рудное сырьё.

Но в качестве основной области использования горючих сланцев в настоящее время и на ближайшие 200—300 лет рассматривается производство жидкого моторного топлива — бензина, потребление которого в мире постоянно растёт, а запасы его основного источника — нефти — стремительно иссякают. Сланцевая смола (синтетическая нефть) в ближайшей перспективе должна заменить нефть. Экономическая эффективность этого производства зависит от отношения местных затрат на переработку сланцев и цены на нефтепродукты. Национальные вопросы энергетической безопасности также играют существенную роль в этом вопросе.

Международные нефтяные концерны давно проявляют интерес к горючим сланцам. Шотландия вырабатывает нефть из горючих сланцев более 80 лет, и данная нефть является важным источником нефтепродуктов для Британских островов. Во время Второй мировой войны Германия добывала нефть из собственных сланцев и угля, в результате чего был произведён значительный объём жидкого топлива.

По состоянию на 2009 г. получение синтетической нефти из горючих сланцев осуществляется в Эстонии, Бразилии и Китае. Австралия, США, Канада, Иордания и Марокко планируют начать или восстановить производство нефти из сланцев. В сланцевый спринт вступила и Германия, которая сформировала специальную комиссию по их поиску. Перспективы промышленного освоения сланцев сейчас активно изучают Швеция, Австрия, Англия, Польша, Украина и другие европейские страны. За развитием событий в этой области также внимательно следит Россия, обладающая определённым опытом в области добычи и переработки горючих сланцев. Использовать эти полезные ископаемые решил Узбекистан.

## Подходы к добыче и переработке горючих сланцев

Существует два способа получения сланцевой нефти.

Первый — наземная переработка при шахтной или открытой добыче, когда добытая порода дробится и направляется на завод, где происходит её перегонка. Однако все действующие сегодня заводы (с так называемой ретортной перегонкой) имеют мощности не более 700 тыс. тонн нефти в год. Кроме того, против этого способа возражают экологи: производство требует огромного количества воды, причём на тонну сланцев приходится 700 кг отходов и всего около двух баррелей нефти. Поэтому этот способ перегонки сланцев в больших объёмах перспектив не имеет и может применяться только на локальном уровне.

Второй — подземная переработка, когда нагревание сланца до нужной температуры осуществляется прямо в пласте. Казалось бы, это выход из топливного тупика, но, несмотря на гигантские инвестиции таких лидеров отрасли, как Shell, Exxon, Chevron и Unocal, создать коммерчески эффективную технологию добычи пока не удалось.

В 1969 и 1973 годах Комиссия по атомной энергии США вместе с несколькими нефтяными компаниями пробовала воздействовать на сланцы в Green River ядерными зарядами. Согласно приближённым расчётам, при взрыве ядерного устройства мощностью 100 кт из битуминозных сланцев при содержании в них нефти до 100 л/тонна может быть добыто до 320 тыс. тонн нефти. Однако эта технология развития не получила. Возможно, по экологическим причинам.

Один из процессов наземной переработки сланцев усовершенствовала компания Юнион Ойл из Калифорнии. В этом способе нефть выделяется за счёт горения самой сланцевой породы.

Процесс Юнион Ойл состоит в том, чтобы продвигать раздробленный сланец вверх через открытую цилиндрическую печь. Слой сланца,

который достигает верхней части этой открытой трубки, горит, и горячие газы двигаются вниз через сланец, всасываясь с помощью насоса. Практически вся нефть, содержащаяся в сланцах, освобождается от горячих газов и стекает вниз в поддон. Тем временем горячие газы, содержащие много углеводородов, горят так же, как и любой коммерческий светильный газ. Эти газы используются для выработки электроэнергии, необходимой для работы всасывающего вентилятора, а также механизма, который дробит и толкает сланец в верх печи. Отработанный сланец в верхней части печи периодически удаляется. Процесс автономно поддерживается за счёт внутренней энергии сланца.

Схематично этот процесс представлен на рисунке.

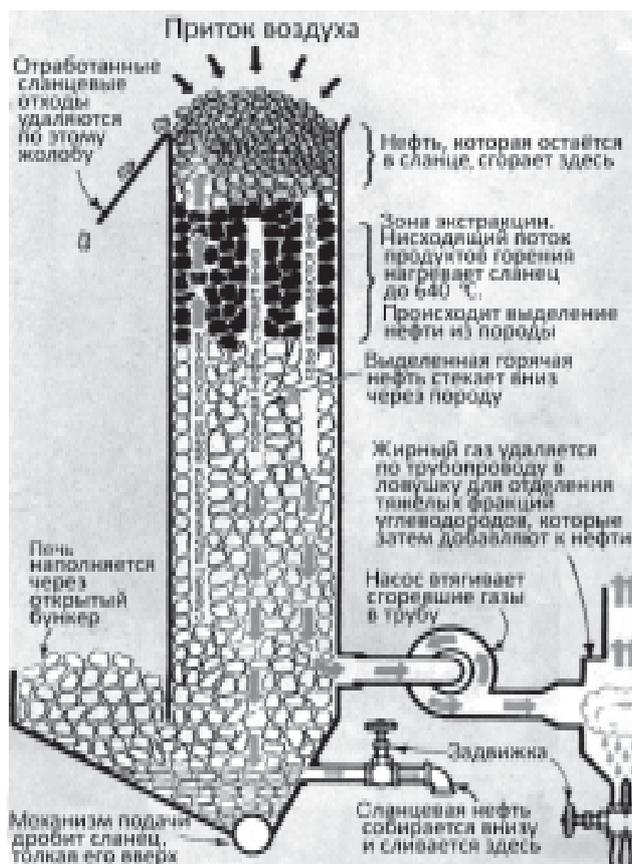


Рисунок — Схема работы колонны выделения нефти из горючих сланцев в компании Юнион Ойл

Первые экспериментальные печи компании Юнион Ойл имеют всего лишь восемь футов в высоту и мощность переработки до двух тонн сланцевой породы в сутки. С помощью данной печи можно получить от полутора до двух баррелей нефти в сутки из двух тонн сланца.

В качестве одного из вариантов подземной переработки горючих сланцев компания Shell в рамках проекта Mahogany предлагает бурить скважины и, опустив в них специальные электронагреватели, в течение 2—3 лет нагревать сланцы до 350—400 °С, а в выделяющиеся газообразные и жидкие углеводороды отводить на поверхность. Во избежание нарушения баланса пластовых вод и их загрязнения породы по периметру продуктивной зоны будут замораживаться закачиваемым через специальные скважины хладагентом. Экологически такая технология обещает быть более безопасной, но энергетические затраты ставят под сомнение её экономическую эффективность.

Практический интерес также представляют работы американских исследователей по подземной перегонке горючих сланцев с использованием горячего природного газа. Технологическая цепочка включает подачу нагретого природного газа в закачные скважины, его фильтрацию по пласту с передачей тепла горючим сланцам, отбор газа и смолы из откачных скважин и их разделение. Перегонка осуществляется в процессе передачи тепла горючим сланцам. Затем газ подвергается перегреву, сжатию и повторной закачке в пласт, что обеспечивает его непрерывное использование в технологическом процессе.

В США (бассейн Пайсенс Крик) построен целый ряд установок, работающих по методу перегонки сланцев на месте залегания с использованием природного газа. По состоянию на 1985 г. мощность таких установок составила около 210 баррелей сланцевой смолы в сутки (около 10 тыс. м<sup>3</sup> в год).

При подземной перегонке и газификации сланцев, так же, как и при га-

зификации угля, требуется решить задачу по увеличению проницаемости продуктивных пластов. С этой целью американские специалисты в натуральных условиях опробовали различные методы повышения проницаемости и, в частности, электросбойки и гидроразрыва. Лучшие результаты были получены при гидроразрывах.

В настоящее время месторождения горючих сланцев разрабатываются в ряде стран, в том числе России, Китае, Эстонии и США. В Китае разработка ведётся открытым способом: горючие сланцы добываются вместе с углём и с ним же перерабатываются. Все добываемые в Китае 3,8 млн тонн горючих сланцев идут на получение сланцевой смолы, используемой для выработки нефти и нефтепродуктов. В Эстонии часть горючих сланцев добывается из неглубоких шахт, а часть — открытым способом. По данным Эстонского института сланца, в стране в год добывается 17,1 млн тонн, из них 14,4 млн тонн идут на использование в энергетике, 2,7 млн тонн — на получение смолы и других химических соединений.

Здесь хотелось бы специально подчеркнуть, чтобы наш читатель хорошо понимал отличие между процессами переработки горючих сланцев и процессами добычи сланцевого газа.

До недавнего времени *сланцевым газом* называли газ, получаемый в процессе подземной газификации или при термохимической переработке сланцев после извлечения их на поверхность. Сейчас же под сланцевым газом понимается природный газ, добываемый из сланца, состоящий преимущественно из метана, который содержится в свободном состоянии в горючесланцевых отложениях.

По итогам 2009 г., США, добывшие 624 млрд кубометров газа, впервые с 2001 г. обогнали традиционного лидера газовой отрасли — Россию (583 млрд кубометров). Столь весомый разрыв был обеспечен в основном за счёт сланцевого газа, составившего 15—20 % от всей добычи газа.

Поставки сланцевого газа обрушили в Америке цены на товар и акции газодобывающих компаний. Его производство становится катализатором глобальных перемен. Крупнейшие нефтяные компании (Conoco Phillips, ExxonMobil, Royal Dutch Shell) получили лицензии на добычу сланцевого газа

### Перспективы переработки горючих сланцев в Беларуси

Запасы горючих сланцев впервые были выявлены в Беларуси в 1963 г. и по разведанной мощности находились на третьем месте в Советском Союзе после Прибалтийского и Средневожского месторождений.

Белорусские горючие сланцы сосредоточены в Припятском сланцевом бассейне на площади около 20 тыс. км<sup>2</sup>. Их прогнозные запасы оцениваются в 8,3 млрд тонн, а реальные промышленные — в 3,6 млрд тонн. Они сконцентрированы на двух месторождениях — Туровском, прогнозные запасы которого составляют 2,7 млрд тонн, и Любанском с прогнозными запасами в 0,9 млрд тонн. Глубина залегания сланцев колеблется от 50 до 600 м, мощность пласта — от 0,1 до 3,7 м. Наиболее целесообразно, как считают учёные, разрабатывать прежде всего Туровское месторождение из-за большей мощности основного пласта и меньшей глубины залегания.

Для того чтобы горючие сланцы было выгодно использовать, они должны содержать много органического вещества. По крайней мере, выход энергии в виде сланцевой смолы должен быть больше энергетических затрат на обработку горючих сланцев. Средняя температура пиролиза составляет 500 °С. Для нагревания породы до такой температуры требуется 1,046 кДж/г, а теплота сгорания керогена равна 41,84 кДж/г. Следовательно, если содержание керогена в породе составляет 2,5 мас.%, то вся теплота сгорания керогена расходуется на нагревание породы. При содержании керогена < 2,5 % порода не может быть источником энергии. Практически нижней границей содержания органического вещества в горючих

в Швеции, Польше, Германии, где обнаружены значительные запасы газосодержащих сланцев. Таким образом, сланцевый газ вскоре придёт в Европу, изменив баланс сил в её отношениях с Россией и постепенно замещая истощающиеся традиционные месторождения.

сланцах часто считают 5 %. Выход смолы при этом составляет 25 л на метрическую тонну породы (2 мас.%).

Горючие сланцы в Припятском сланцевом бассейне из-за высокой зольности (75 % и более), низкой теплоты сгорания (средняя удельная теплота сгорания — 5,8 МДж/кг) и высокого выхода экологически опасных летучих соединений (15—25 %), содержащих серу (2—3 %), являются малоэффективным твёрдым топливом. Поэтому они непригодны для прямого сжигания, и долгое время добыча белорусских сланцев считалась нецелесообразной. Однако с учётом мировых тенденций роста цен на нефть, ближайшей исчерпаемости её ресурса, а также ввиду такого немаловажного аргумента, как национальная энергетическая безопасность, в настоящее время добыча и переработка этих полезных ископаемых в Беларуси признана рентабельной.

Содержание в горючих сланцах Беларуси органического вещества варьирует в пределах 10—25 %, выход смолы (того, что ценится в данной породе) составляет 6—9 %, на отдельных участках — до 11 %, что вполне удовлетворительно для налаживания их рентабельной химической переработки в синтетическую нефть с использованием новой технологии.

Кроме того, в припятских сланцах содержание токсичных элементов невысоко и не превышает предельно допустимых концентраций. Это позволит утилизировать сланцевую золу, используя её в первую очередь в цементной промышленности, что повысит их эффективность.

Сейчас в Институте природопользования НАН Беларуси ведутся исследо-

вания по поиску возможностей повышения эффективности переработки сланцев. В частности, на лабораторном оборудовании пытаются увеличить объём получения из сланцев керогена за счёт добавления к ним при сжигании угольных брикетов. Результаты исследований показывают, что выход этого полезного вещества при использовании такой технологии увеличивается до 20 %. В связи с этим специалисты предлагают при организации переработки сланцев в промышленных масштабах открыть и производство угольных брикетов из сырья Житковичского месторождения бурых углей. Этот проект считается не очень затратным, так как рядом с названным месторождением расположен Житковичский торфобрикетный завод, есть необходимое транспортное сообщение, чтобы доставлять туда уголь для переработки.

Исследование качественных характеристик белорусских сланцев продолжается не только в Национальной академии наук Беларуси, но и в научных лабораториях Эстонии, которая готова поделиться своим опытом по переработке этих полезных ископаемых с нашей страной. Параллельно ведётся работа по поиску инвесторов для строительства горно-обогатительного комбината для добычи и переработки горючих сланцев. Все эти вопросы, как и сам проект, курирует специально созданная для этого компания. Среди её учредителей «Беларуськалий» и «Белгорхимпром». Техничко-экономическое обоснование строительства шахты и комбината уже подготовлено. Рассматривается возможность сотрудничества по проекту с Санкт-Петербургской компанией «Атомэнергопроект», которая готова спроектировать для Беларуси установку и сам комбинат по переработке сланцев и сдать их под ключ.

Целью проекта является организация в Беларуси производства моторного топлива, газа и сырья для химической промышленности на основе технологии термической переработки горючих сланцев. Проектом предусматрива-

ется проектирование и строительство шахтных рудников и горно-обогатительного комплекса по переработке горючих сланцев мощностью 5 млн тонн в год, электростанции мощностью до 500 МВт и энерготехнологического комплекса по глубокой переработке горючих сланцев. Потребность в инвестициях составляет около 2 млрд долларов.

Ожидается, что горно-обогатительный комбинат должен быть построен к 2015 году.

Уже разработан проект строительства сланцевого комбината на базе пяти технологических установок УТТ-3000. Проектом предусмотрен энергогенерирующий технологический блок (ЭГТБ) в составе двух конденсационных паротурбинных установок суммарной электрической мощностью 120 МВт, использующий в качестве топлива вторичные энергоресурсы (ВЭР) — полукоксовый газ и водяной пар. По предварительным оценкам, после переработки планируется получить: сланцевое масло — 324,46 т/год, высококалорийный полукоксовый газ, возможная выработка электроэнергии — 950,4 млн кВтч.

Установки УТТ-3000, созданные в промышленном масштабе, не имеют аналогов в мире. Опыт их эксплуатации показал, что энерготехнологическая установка в составе двух агрегатов способна обеспечить высококачественным жидким и газообразным топливом энергоблок мощностью около 150 МВт. При переработке 500 тыс. тонн сланцев в год установка становится рентабельной, а при дальнейшем наращивании перерабатываемого сланца — прибыльной.

В основе использования этих установок лежит наиболее эффективная и освоенная в промышленном масштабе технология термической переработки горючих сланцев с твёрдым теплоносителем по разработанному в Российской Федерации методу пиролиза — «Галотер».

Суть технологии состоит в том, что раздробленный до определённого размера и высушенный сланец смешивается с высокотемпературным (800—850 °С) теплоносителем, которым является соб-

ственная зола сланца, и подаётся во вращающийся реактор пиролиза. Здесь сланец нагревается при отсутствии кислорода до температуры 460—490 °С, и из него выделяется парогазовая смесь, содержащая пары углеводородов, неконденсирующиеся газы. Парогазовая смесь отводится в конденсационное устройство, где пары углеводородов конденсируются, образуя сланцевую смолу с теплотой сгорания от 25 до 38 МДж/кг в зависимости от качества сырья.

Дизельная фракция сланцевой смолы пригодна для использования в качестве газотурбинного топлива, а остальная её часть — в качестве котельного топлива. Неконденсирующийся полукоксовый газ имеет теплоту сгорания от 25 до 48 МДж/м<sup>3</sup> и пригоден в качестве газотурбинного либо котельного топлива.

Коксозольный остаток отводится из реактора пиролиза в аэрофонтанную топку, где его органические составляю-

щие дожигаются в потоке воздуха. Выделившееся при этом тепло используется для нагревания золы-теплоносителя и для производства пара в котле-утилизаторе. Пар расходуется на собственные технологические нужды и для получения электроэнергии.

Такую технологию широко используют в настоящее время для переработки горючих сланцев в Эстонии, Российской Федерации, Китае. Это единственный промышленно освоенный метод для переработки сланцевой мелочи и он наиболее эффективен для переработки белорусских низкокалорийных горючих сланцев. Технологическая схема установок предусматривает получение сланцевой смолы и полукоксового газа, альтернативных заменителей нефти и природного газа. Дальнейшая их переработка обеспечивает получение моторного, котельного и газотурбинного топлива, а также ценного сырья для химического производства.

#### Список использованной литературы

1. Байнев, В. Ф. Реструктуризация электроэнергетики Европы в контексте глобальных энергетических проблем / В. Ф. Байнев // Бел. банк. бюл. — 2002. — № 5. — С. 43—49.
2. Байнев, В. Ф. Реформирование электроэнергетики: теоретический аспект проблемы / В. Ф. Байнев // Выбр. науч. працы Бел. дзярж. ун-та. — Минск : БДУ. 2001. — Т. 3. — С. 248—258.
3. [pressa@minpriroda.by](mailto:pressa@minpriroda.by).
4. Энергия родной земли // Вестник Белнефтехима. — 2011. — № 1 (60) январь.
5. Кузнецов, Д. Т. Энергохимическое использование горючих сланцев / Д. Т. Кузнецов. — М., 1978
6. Козловский Е. А. Морские и океанические кладовые минерального сырья / Е. А. Козловский // Промышленные ведомости. — 2005. — № 1.
7. Аношко, Л. И. Полезные ископаемые / Л. И. Аношко // Природа Беларуси : энциклопедия : в 3 т. Т. 1. Земля и недра; редкол.: Т. В. Белова [и др.]. — Минск : Беларусь. энцыкл. імя П. Броўкі. — 2009. — 464 с. : ил.
8. Арнс В. Ж. Физико-химическая геотехнология / В. Ж. Арнс. — М. : МГУ, 2001.
9. Бушнев, Д. А. Химическая структура керогена и условия его формирования / Д. А. Бушнев, Н. С. Бурдельная // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50, № 7. — С. 822—829.