

Д.Т. Кузнецов

ГОРЮЧИЕ  
СЛАНЦЫ  
МИРА

Д. Т. КУЗНЕЦОВ

553.98

ГОРЮЧИЕ  
СЛАНЦЫ  
МИРА

12.86



МОСКВА • «НЕ ДРА» • 1975



Кузнецов Д. Т. Горючие сланцы мира. М., «Недра», 1975. 368 с.

В книге впервые обобщен и систематизирован имеющийся обширный материал по отечественным и зарубежным месторождениям горючих сланцев. Приведена горно-геологическая и технико-экономическая характеристика не только важнейших сланцевых бассейнов мира, но и месторождений, еще мало изученных и не вовлеченных в сферу промышленного освоения; даны сведения о генезисе горючих сланцев, их классификация, данные о химическом составе и физических свойствах, потенциальных мировых запасах горючих сланцев и балансовых запасах в СССР.

Книга рассчитана на широкий круг инженерно-технических работников: горняков, геологов, химиков, энергетиков; квалифицированных рабочих сланцедобывающей и сланцеперерабатывающей промышленности, научных работников, занимающихся исследованиями проблемы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и изысканием наиболее прогрессивных и экономичных способов использования горючих сланцев.

Табл. 132, ил. 55, список лит.— 149 назв.

## ВВЕДЕНИЕ

В развитии общественного производства исключительно важную роль играют топливно-энергетические ресурсы: ископаемые угли, нефть, природный газ, горючие сланцы, торф и некоторые другие природные источники энергии (древесное топливо, геотермальные воды и т. п.).

В условиях современной научно-технической революции все возрастающее значение в обеспечении народного хозяйства разнообразными видами природных источников энергии приобретают основные углеводородные ресурсы.

Прогноз мировой потребности в энергии в 2000 г. в пересчете на миллиарды тонн каменного угля характеризуется следующими данными [16]:

	1965 г.	2000 г.
Нефть и нефтепродукты . . . . .	2,4	10,5
Каменный и бурый угли . . . . .	2,2	2,2
Природный газ . . . . .	0,9	3,7
Гидроэнергия и геотермическая энергия . . . . .	0,1	0,3
Ядерная энергия . . . . .	—	3,1
Нетоварные топлива . . . . .	0,4	0,2
<u>Всего . . . . .</u>	<u>6,0</u>	<u>20,0</u>

Отклонение в потребности, с учетом накопленного опыта научно-технического прогнозирования, не превысит примерно 10%.

Как видно из приведенных данных, превалирующее значение в мировой потребности в энергии будут иметь в ближайшем двадцатипятилетии нефть и газ.

Многие специалисты по энергетике указывают на то, что в недалеком будущем нет оснований опасаться всемирного энергетического голода, если учесть запасы всех видов топлива. Тем не менее ресурсы нефти и природного газа все-таки исчерпаемы в пригодных для эксплуатации месторождениях и когда-нибудь могут иссякнуть.

Обзор топливно-энергетических ресурсов мира свидетельствует о том, что запасы горючих сланцев в недрах Земли велики. Изучение путей их добычи и использования является насущной задачей.

СССР в настоящее время располагает большими потенциальными запасами топливно-энергетических ресурсов. На его долю по ориентировочному подсчету приходится более 53% мировых запасов этих ресурсов. СССР имеет и наиболее развитую в мире сланцевую промышленность. Анализ развития ее показывает прежде всего прогресс в этой отрасли.

Промышленными масштабами с использованием новейшей горной техники осуществляется добыча горючего сланца, достигшая в 1973 г. 31,1 млн. т. Широко используется горючий сланец в энергетике СССР. В пылевидном состоянии сланец сжигается на Прибалтийской и Эстонской ГРЭС общей мощностью 3,22 млн. кВт. Экономическая эффективность тепловых электростанций, работающих на горючем сланце, лишь на 1—2% ниже соответствующего показателя для подобных электростанций, потребляющих газ. Небольшая теплота сгорания сланца ограничивает мощность энергоблоков, что обуславливает более высокие капитальные вложения в тепловые электростанции, работающие на сланце, в сравнении с газо-мазутными электростанциями.

В СССР в промышленных условиях осуществляется получение жидкого и газообразного топлива из горючих сланцев.

В последние годы сланцевая промышленность добилась новых успехов в развитии сланцехимических производств. Выпуск химической продукции на сланцеперерабатывающих комбинатах достиг примерно 50% общего объема продукции сланцеперерабатывающей и сланцехимической промышленности. Издержки производства топливных и химических продуктов за последние несколько лет снизились более чем в полтора раза.

Важным показателем работы сланцевой промышленности явились повышение прибыльности и переход всей отрасли на новую систему планирования и экономического стимулирования.

На пути своего развития сланцевая промышленность СССР встречает ряд трудностей, которые в основном обусловлены необходимостью расширения номенклатуры, улучшения качества продукции, дальнейшего повышения рентабельности как отрасли в целом, так и отдельных ее звеньев.

Преодоление отмеченных недостатков связано с решением двух основных проблем развития сланцевой промышленности:

во-первых, необходимо более ускоренными темпами развивать производство химических продуктов из сланцевого сырья;

во-вторых, осуществить увеличение мощности сланцеперерабатывающих агрегатов и интенсификацию процессов термического разложения горючего сланца.

Успешное решение этих проблем в ближайшее время позволит расширить переработку горючего сланца как новыми, так и усовер-

шенствованными существующими методами с преимущественным выпуском химической продукции, снизить издержки производства товарной продукции до уровня издержек производства аналогичных продуктов, получаемых из нефтяного и других видов сырья.

Опыт становления сланцевой промышленности за рубежом свидетельствует о том, что интерес к использованию сланцев появлялся лишь в те периоды, когда на мировом топливном рынке складывалась неблагоприятная конъюнктура для таких традиционных природных источников энергии, как нефть, газ, каменный уголь.

После второй мировой войны сложились благоприятные условия для производства и сбыта нефти на мировом рынке. В результате в ряде зарубежных стран сланцевые предприятия были законсервированы.

Однако в последние годы на мировом топливном рынке ситуация вновь осложнилась в связи с мощной волной энергетического кризиса.

Все возрастающую нехватку нефти и природного газа, быстрый рост цен на эти виды топлива некоторые западные специалисты по энергетике и экономике пытаются объяснить ограниченностью топливных ресурсов на нашей планете. Называются недалекие сроки полного истощения мировых запасов нефти и газа. В действительности недра Земли таят в себе не только нефть, газ, но и колоссальные углеводородные ресурсы в виде горючих сланцев.

На современном этапе для решения топливно-энергетической проблемы возникла необходимость создания научно-технической и экономической основы достижения прогресса в развитии сланцевой промышленности. Конкретными задачами в этом направлении являются: обобщение сведений о потенциальных запасах горючих сланцев в мире и распределении их на земном шаре; изучение мирового опыта разработки месторождений горючих сланцев и его переработки; раскрытие свойств горючих сланцев, определяющих технику его термического разложения; исследование экономической эффективности промышленных агрегатов и новых методов термического разложения горючего сланца; изучение проблемы комплексного энергохимического использования сланца.

Результаты значительной части работ, проведенных в указанных направлениях в СССР и зарубежных странах, изложены и обобщены в настоящей монографии. Автором использованы материалы Симпозиума ООН по разработке и использованию горючих сланцев, состоявшегося в 1968 г.; материалы оценки горючих сланцев и сланцевой смолы по континентам и зарубежным странам, произведенной Г. В. Озеровым [149]; монографии «Геология СССР», «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», а также опубликованные работы зарубежных и советских специалистов.

Основная часть исследований экономической эффективности направлений комплексной переработки использования отечественных горючих сланцев выполнена автором.

Работы, связанные с разработкой и освоением комплексного энергохимического использования сланца на базе термического разложения топлива в установках с твердым теплоносителем в СССР, проведены Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского, Институтом химии и Институтом термофизики и электрофизики АН Эстонской ССР, Институтом сланцев в г. Кохтла-Ярве и сланцехимическим комбинатом «Кивиыли».

Промышленные и опытные исследования по изучению и совершенствованию отечественного генераторного процесса переработки сланцев, по определению оптимального качества сырья для переработки проведены Институтом химии и Институтом экономики АН Эстонской ССР совместно со сланцехимическим комбинатом «Кивиыли», сланцеперерабатывающим комбинатом им. В. И. Ленина и Институтом сланцев.

Большая помощь в проведении исследований была оказана автору профессорами, докторами технических наук М. Я. Губергрицем и С. И. Файнгольдом, кандидатами технических наук И. И. Степановым, В. В. Шелоумовым, С. Л. Эпштейном, В. М. Ефимовым, инж. Б. И. Тягуновым.

Автор считает своим долгом принести искреннюю благодарность акад. АН СССР Н. В. Мельникову, ознакомившемуся с настоящей работой.

## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

---

### Глава I

#### ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ, УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ И ЗАЛЕГАНИЯ

Горючие сланцы относят к сапропелитам. Они представляют собой твердое полезное ископаемое осадочно-органогенного происхождения, содержащее различное количество органического вещества (керогена), способное при сгорании давать тепло, а при термическом разложении — выделять значительное количество жидких продуктов и высококалорийного газа, состоящих из разнообразных химических компонентов [37].

Исследователи дают различные ответы на вопрос об условиях генезиса горючих сланцев [2, 15, 25, 39, 82, 87, 108, 127]. Однако многие из них [2, 15, 25, 87, 108, 127] считают, что горючие сланцы образовались под воздействием двух наиболее важных факторов.

Первым из них является накопление соответствующего органического вещества, состоящего в основном из липидной группы, достаточного для образования керогена. К этой группе в первую очередь относятся планктон и фитопланктон. Последний синтезирует органическое вещество из неорганического и является одним из источников поступления органического вещества в водный бассейн. Он участвует в круговороте кремния и кальция, из которых строит свои внешние оболочки. В количественном отношении планктон в несколько раз превышает все другие водные организмы, вместе взятые, а его необыкновенно интенсивный рост обеспечивает быстрое размножение и огромное накопление органического материала. Отмирающие организмы опускаются на дно и входят в состав донных образований.

Океаническими экспедициями установлены колоссальные площади, занятые планктонными илами. В Антарктике диатомовый ил занимает площадь почти в 22 млн. км<sup>2</sup>, а в Атлантическом океане глобигериновый ил — 44 млн. км<sup>2</sup>. Благоприятные условия для накопления планктона имеют некоторые тропические озера, как, например, оз. Маракайбо в Венесуэле.

При наиболее благоприятных условиях развитие планктона и накопление органической массы происходят исключительно интенсивно и длительно на обширных площадях морей и озер. Внешним признаком таких условий является окрашивание воды, или «цветение» воды. Серо-зеленая окраска Балтийского моря обуславливается скоплением громадного количества сине-зеленых водорослей.

Кроме фитопланктона в океанах и морях произрастают донные и плавающие крупные водоросли. Примером может служить Саргассово море в Атлантическом океане, где на площади около 4,5 млн. км<sup>2</sup> встречаются водоросли, образующие подобие плавающих островов до нескольких сотен метров в диаметре. Отмирая, эти водоросли разрушаются и принимают участие в накоплении органического вещества в водной массе бассейнов и в образовании донных осадков.

С изменением климатических и других условий развитие планктона становится малоинтенсивным, кратковременным и приобретает строго локальный характер.

Вторым — наличие неокисляющейся среды, которая обуславливает длительное сохранение отмерших организмов. Эти организмы поражаются бактериями, в результате чего совершается сложный биохимический процесс: окисление с последующим разложением органических остатков. Сохранение органической массы в отложении главным образом зависит от низкого содержания кислорода в придонных слоях воды. В связи с этим важное значение в генезисе керогенных пород имеет различие водной среды.

Накопления осадков, обуславливающие образование горючих сланцев, происходят в морских глубинах, где циркуляция воды оканчивается незначительно выше слоя перемещения воды снизу вверх. Подобные условия часто возникают в период региональных трансгрессий на тектонически устойчивые площадки. Так было, например, в лейасе в Западной Европе. Отложения подобного типа обычно небольшие по мощности и содержат незначительные количества органического вещества.

Более благоприятные условия для осадконакопления имеют переходные районы: заливы, проливы, фиорды, лагуны, заливные равнины, большие лиманы. В каменноугольный период, например, в переходных районах сложились горючие сланцы Шотландии. В проливе шириной 500—1000 км, соединяющем два обширных морских бассейна на западе и на востоке (рис. 1), который геологи называют ордовикским морем, образовался Прибалтийский сланцевый бассейн.

Горючие сланцы переходных фаций более богаты органическим веществом по сравнению со сланцами морской фации. Самые богатые месторождения горючих сланцев сформировались в пресноводных озерах, которые достигали в древние времена размеров внутриконтинентальных или внутригорных бассейнов. Уникальными являются палеоценовые отложения горючих сланцев формации

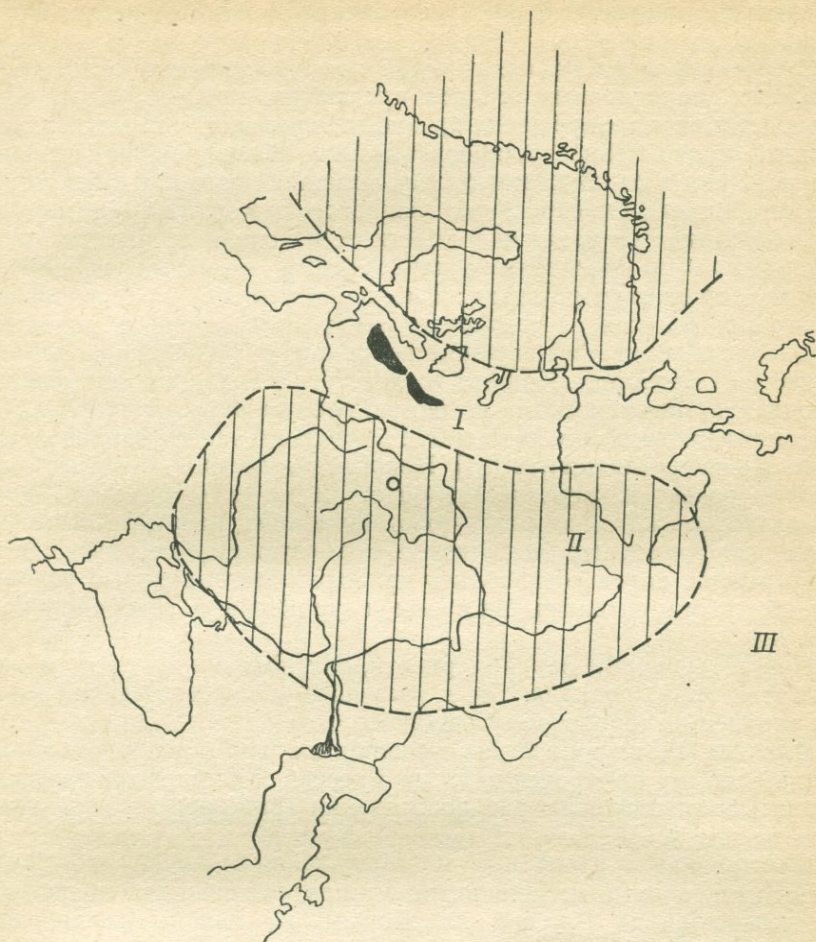


Рис. I. Схематическое очертание нижнесилурийского, или ордовикского, моря (по акад. А. П. Карпинскому):

I — горячие сланцы Прибалтийского сланцевого бассейна; II — суша; III — нижнесилурийское, или ордовикское, море

Грин-Ривер в штате Колорадо США и пермской формации Ирати в Бразилии.

Горячие сланцы широко распространены в недрах Земли и по геологическому возрасту приурочены к отложениям, начиная от древнего палеозоя и кончая третичным периодом включительно, что и обуславливает важность в генезисе горячих сланцев палеогеографического фактора.

В отдельные геологические периоды в зависимости от характера и длительности проявления седиментационных ритмов, интенсивности накопления органических веществ и минерального материала

изменялись мощности и распространенность сланценосных отложений.

С течением времени под толщей новых осадочных отложений, в нижних слоях донных осадков происходил процесс уплотнения, затвердевания и превращения органо-минеральной массы в горючие сланцы. Накопление микроорганизмов было периодическим. В связи с чем в одной сланценосной толще образовался один пласт горючего сланца определенной мощности, а в другой — несколько сланцевых пластов различной толщины, отделенных друг от друга межпластовыми прослойками карбонатных, песчаных, глинистых или песчано-глинистых пород. Изменения условий накопления органических веществ, а следовательно, и переслаивание являются результатом колебаний глубины водоемов, обусловленных геотектоническим фактором. Под его воздействием менялись как условия накопления органического вещества, обломочного материала и карбоната кальция в водной массе бассейнов, так и условия осадения их на дно водоемов [31]. Накопление сланценосных отложений приурочено к трансгрессивной ветви геотектонических циклов и происходило в период между орогеническими фазами в открытой части платформенных бассейнов, в конечную стадию развития их трансгрессии, когда создавались наиболее благоприятные условия для обильного развития биомассы, накопления и захоронения ее остатков.

Некоторые общие закономерности, обусловленные геотектоническим фактором, проявляются в размещении месторождений горючих сланцев на территории Советского Союза.

Влияние геотектонических условий на формирование сланце-накоплений, их приуроченность на Русской и Сибирской платформах к эпохам широкого распространения трансгрессии моря показаны на рис. 2.

Формирование сланцевых месторождений в конце протерозоя связано с древними малоподвижными платформенными областями. На северо-западе Русской платформы, на склоне Балтийского щита, происходило сланценакопление раннего и среднего ордовика. Наиболее мощное сланценакопление отмечается на северо-востоке Сибирской платформы, образующее Якутский сланцевый бассейн. В сланценакоплении Якутского бассейна отложения послекембрийского возраста участвуют очень мало. Развитие их по площади ограничено, мощности незначительны. Они главным образом окаймляют сланцевый бассейн. Повсеместно распространены четвертичные отложения. Мощность их колеблется от 2—3 м на водоразделах до 45—50 м в долинах палеорек.

Широкое распространение по площади сланцевой толщи Якутского бассейна, выдержанность ее строения и состава слагающих пород, тщательная сортировка терригенного материала, микрослоистость пород и, наконец, богатство и разнообразие фауны свидетельствуют о том, что сланценосные отложения накапливались в условиях стабильности водного бассейна и в значительном удале-

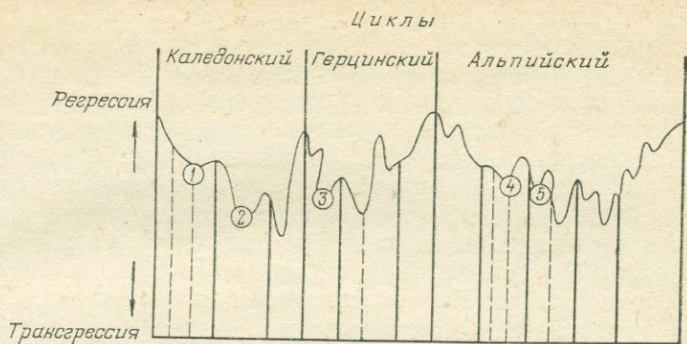


Рис. 2. Принципиальная схема колебаний движения земной коры (по С. С. Баукову). Кружками отмечены моменты сланценакопления, совпадающие со временем завершения трансгрессии моря между региональными орогеническими фазами.

Цифры в кружках обозначают:

- 1 — Якутский сланцевый бассейн (нижний и средний кембрий); 2 — Прибалтийский сланцевый бассейн (средний ордовик); 3 — горючие сланцы доманиковой фации (верхний девон); 4 — Волжский сланцевый бассейн (верхняя юра); 5 — Волжский сланцевый бассейн (нижний мел)

нии от берега. В береговой же части наблюдаются несогласные залегания сланценосных пластов, а также наличие обломочных пород, что свидетельствует о проявлении тектонических движений и неустойчивости береговой линии наступающего моря.

Прибалтийский сланцевый бассейн формировался с кембрийского периода, о чем свидетельствуют грубообломочные осадки нижнего кембрия, налегающие на неровную поверхность докембрийского кристаллического фундамента.

В течение всего кембрийского периода шло накопление обломочного материала: конгломератов, песков, глин. Четко разграничиваются циклы осадконакопления с более грубыми осадками внизу и тонкозернистыми — сверху, что указывает на периодическую смену палеогеографических условий.

В платформенных и субплатформенных условиях среднего палеозоя (поздний девон) сложились доманиковые сланцы.

Доманиковая фация [98, 99] сравнительно с отложениями предшествующих эпох представляет собой относительно глубоководные сланценосные толщи. Сланценакопление происходило в Печорской синеклизе и на склонах Башкирского свода. К этому же периоду относятся горючие сланцы Припятского прогиба, занимающие обширные площади.

В позднем карбоне — ранней перми происходило сланценакопление в Зайсанской впадине на юго-востоке Казахстана. Здесь после саурской фазы герцинского тектогенеза в условиях геосинклинального режима во внутреннем прогибе сложились мощные сланценосные толщи Кендерлыкского месторождения. Нижнетриасовые горючие сланцы Омолонского месторождения образовались

в Верхояно-Чукотской мезозойской складчатой области Колымского срединного массива.

Юрское и меловое сланценакопление совершалось как в платформенных условиях, например Волжский сланцевый бассейн, Тимано-Печорская площадь, месторождения горючего сланца Иркутского сланцевого бассейна и Забайкалья, так и в геосинклинальных — например месторождения горючих сланцев Грузии и Киргизии. Особенно широкое распространение имеют сланценакопления поздней юры на востоке Русской платформы.

В Восточно-Русской впадине сложился Волжский бассейн, который простирается от Каспийского моря до Баренцева. Тип осадков здесь терригенный, мелкозернистый. Морские осадки — глины и аргиллитовые глины с редкими прослоями мергелей и известковистых песчаников — распространены по правобережью и левобережью р. Волги до широты г. Казани. Севернее до широты г. Мурома, восточнее и западнее от области распространения типичных морских осадков прослеживаются мелководные и прибрежные осадки: глина, алевроиты, пески с большим количеством растительного обугленного детрита.

В келловее, оксфорде и кимеридже продолжалось развитие трансгрессии юрского моря. Состав осадков хотя и имеет терригенный характер, но становится более карбонатным. Морские отложения наблюдаются повсеместно.

Осадки нижнего волжского яруса несколько меньше подстилающих их осадков кимериджа—келловоя, но они более однородны на всей огромной территории их распространения.

Нижний волжский ярус четко разделен на две толщи: нижнюю глинисто-мергельно-сланцевую и верхнюю известково-мергельную. Наиболее четко такое разграничение выдерживается в южной половине Восточно-Русской впадины до широты Москвы. Здесь в направлении с юга на запад происходит нарастание признаков обмеления моря и уменьшение мощности толщ нижнего волжского яруса.

Сланценакопление происходило главным образом во внутренней части морского бассейна.

Для сланценовых отложений нижнего волжского яруса, выполняющих целиком одну тектоническую структуру, установлена парагенетическая связь: смена морских осадков мелководными морскими, а затем прибрежными. С увеличением мощности сланцевой толщи сланценозность ее уменьшается. Так, например, от подошвы нижнего сланцевого пласта до кровли верхнего пласта в районе Кашпир—Ульяновск из 5 м общей мощности на горючий сланец приходится 2,5 м, а в районе Озинок из 48 м общей мощности горючий сланец занимает 11 м и глина, обогащенная органическим веществом, — 11 м. В наиболее глубоководных частях моря органическое вещество распределялось в большей по мощности толще пород и сланцевые слои постепенно переходили в глину, а затем в мергельную глину и мергель.

В завершенном цикле осадконакопления в пределах Восточно-Русской впадины Русской платформы сланценонакопление приурочено к концу развития трансгрессии и происходило в условиях открытого моря на значительной площади. Для того времени характерен массовый расцвет органической жизни.

Месторождения горючих сланцев Средиземноморского геосинклинального пояса (Карпаты, Закавказье, Южно-Таджикская депрессия и др.) образовались в кайнозойский период (палеоген — неоген). На этом же этапе сформировались и платформенные месторождения горючих сланцев левобережной Украины: Болтышское и Новодмитриевское [58].

Условия образования наиболее изученных в СССР девонских и юрских горючих сланцев в пределах Прибалтийского и Волжского сланцевых бассейнов позволяют определить основные характерные признаки их генезиса.

Главной структурной формой сланцевых бассейнов являются крупные синеклизы, заложенные в соответствующий геотектонический цикл развития Земли. В каледонском цикле — синеклиз между Анабарским и Оленекским поднятиями на Сибирской платформе и Прибалтийская впадина на Русской платформе, в герцинском и альпийском циклах — Восточно-Русская и Приуральская впадины на Русской платформе. На месторождениях платформенного типа мощность сланценосных толщ невелика и не превышает нескольких десятков метров. Число сланцевых пластов редко достигает десяти. Для месторождений горючего сланца геосинклинального типа характерна гораздо большая мощность, достигающая 1 км. Число сланцевых пластов в такой толще составляет сотни.

Сланценосные отложения на территории СССР являются в основном типично морскими осадками, что обуславливается наличием в них разнообразной морской фауны, карбонатным составом, характером напластования, выдержанностью слоев по площади и другими признаками.

Прослеживаемая на всех месторождениях ритмичность строения сланценосных отложений обусловлена мелкими колебательными движениями типа пульсации на фоне крупных волновых движений земной коры. Большая стабильность параметров строения сланценосных толщ в Прибалтийском и Волжском сланцевых бассейнах свидетельствует о том, что одновременные мелкие колебательные движения имели одну и ту же величину на больших участках области седиментации.

В разрезах сланценосных отложений не наблюдается лагунных или континентальных отложений. Характерными для сланценосных толщ являются карбонатные породы: известняки, мергели и мергелистые глины, с которыми слои горючих сланцев залегают согласно.

Породы сланценосной толщи генетически однообразны. В составе горючих сланцев много тонкозернистых материалов, из которых преобладает кварц.

Как в сланцевых слоях, так и в переслаивающихся с ними породах содержатся обильные остатки разнообразной морской фауны; в породах подстилающей и покрывающей толщ фауна представлена беднее. Это позволяет однозначно решать вопрос генезиса.

Тектоническая нарушенность сланцевых бассейнов незначительна. Породы залегают практически горизонтально. Исключение составляют нарушения, связанные с соляной тектоникой, гляциотектоникой, карстовыми процессами и эрозионными размывами. Породы не метаморфизированы.

Из палеогеографической обстановки эпох сланценакопления следует отметить, что образование сланценосных отложений происходило регионально в спокойных условиях, в отдалении от области сноса при низком уровне континента, о чем можно судить по однородному и мелкозернистому составу осадков на большой площади их распространения и по большому количеству кварцевых обломочных зерен в составе терригенного компонента. Это согласуется также со временем конечной стадии развития трансгрессии, когда ландшафт становится наиболее выровненным.

Нахождение наиболее обильной и разнообразной ископаемой фауны, а также накопление больших масс органических веществ позволяют сделать вывод о том, что периоды развития трансгрессии юрского моря, совпадающие с наиболее низким уровнем стояния области размыва, являлись в истории Земли наиболее благоприятными для развития органической жизни и сланценакопления.

Палеогеографический фактор, в известной мере, определяет степень сланцефикации — метаморфизма горючих сланцев. Это обусловлено тем, что по мере углубления захоронения органического материала под покрывающими породами температура повышается, процессы превращения продолжают, причем с тем большей скоростью, чем выше температура и степень карбонизации вещества [92].

## Глава II

### СОСТАВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

#### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВИДЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы встречаются в природе в нескольких видах [37, 127].

Битуминозные сланцы. Характерной особенностью этого вида горючего сланца является то, что его минеральная часть пропитана готовыми жидкими или твердыми битумами (нефтью,

асфальтом), которые легко экстрагируются нейтральными органическими растворителями (бензолом, сероуглеродом). Их происхождение обусловлено тем, что в битуминозных слоях битумы пропитывали горную породу после ее образования, заполняя в ней различные пустоты (поры, трещины).

Эти горючие сланцы встречаются в месторождении Пуэртольяно в Испании. В СССР к этому виду горючих сланцев относится асфальтовый доломит, месторождение которого расположено близ г. Сызрани, и битумные пески месторождения Нотанеби в Азербайджанской ССР.

**Пиробитуминозные сланцы.** Органическое вещество этого вида не экстрагируется нейтральными органическими растворителями даже под давлением. Однако при нагревании без доступа воздуха эти сланцы выделяют различные нефтеобразные продукты. Органическое вещество, слагающее эти сланцы, принято называть кероген, а сами сланцы — горючими сланцами.

Для происхождения этого вида горючих сланцев характерно то, что органическое вещество, заключенное в них, накапливалось одновременно с минеральной его частью, которые при тонком прораствании друг с другом и образовали эту своеобразную горную породу.

К этому виду относятся горючие сланцы формации Грин-Ривер (США), формации Ирати (Бразилия), шотландские сланцы (Англия), месторождения Нерке (Швеция), а также горючие сланцы Прибалтийского и Волжского сланцевых бассейнов в СССР.

Третий вид горючих сланцев — переходной от первого ко второму виду.

Как показывают химические анализы и микроскопические исследования, горючие сланцы формируются из органического вещества и минеральной массы, состоящей главным образом из глинистых частиц и карбоната кальция. Органическое вещество горючего сланца, придающее ему специфические свойства, представляет собой продукт изменения органической части растительных и животных организмов, служащей основой для его образования. К числу животных и растительных организмов, из которых образуется органическое вещество, относятся водные представители микроскопического мира — планктон. Эти микроорганизмы, особенно водоросли, отмирая в огромных количествах, подвергаются разрушению и оседают на дно водоемов. В процессе осаждения органическое вещество под воздействием различных химических факторов превращается в раствор или коллоид, и лишь незначительная часть остатков — клетчатка, лигнин и хитин — непосредственно участвует в накоплении донных отложений.

Осаждаясь на дне водоема, органическое вещество и минеральная масса смешиваются, образуя первоначально рыхлый студенистый карбонатно-глинистый ил. Органическое вещество ила при недостатке кислорода разлагается, в результате чего происходит обогащение его водородом и углеродом. Содержание кислорода, азота

и серы понижается. Органическая масса, получившая название сапропель, т. е. гниющий ил, под толщей покрывающих пород уплотняется и превращается в твердую слоистую горную породу — сапроелит. Горючие сланцы поэтому являются представителями ископаемых сапроелитов.

По составу органического вещества и степени метаморфизма горючие сланцы делятся на два основных генетических типа: сапропелевый и сапропелево-гумусовый [81]. Наибольшее распространение имеют сапропелевые горючие сланцы. Они отличаются от сапропелево-гумусовых более однородным составом органического вещества, содержание которого достигает 50%. Сапропелевые горючие сланцы являются ценным комплексным сырьем, на базе которого возможно производство не только энергии, но и различных видов химической продукции и строительных материалов. Специфическая особенность горючих сланцев сапропелево-гумусового типа — меньшее содержание органического вещества по сравнению с тем же в сапропелевых горючих сланцах. Органическая масса в них менее однородна и лабораторный выход смолы, по Фишеру, колеблется в довольно широком диапазоне. Этот тип горючих сланцев пригоден главным образом для энергетических целей.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы относятся к многозольным каустобиолитам [49]. Во всех разновидностях горючих сланцев на долю минеральной массы приходится 65—85% на сухое вещество. Содержание минеральной углекислоты в горючем сланце колеблется от десятых долей процента до 20%. В горючих сланцах почти всех геологических формаций присутствует сера от десятых долей процента до 6% и более. Многосернистые горючие сланцы непригодны для энергетического использования. В зависимости от характера месторождения и способа разработки его изменяется процент содержания в горючем сланце естественной влаги (в пределах 20—30%).

Высокая зольность и влажность горючих сланцев могут препятствовать их промышленному использованию, так как вызывают дополнительные капитальные вложения и эксплуатационные расходы на обогащение и подсушку. Обогащение осуществляется удалением из горной массы крупных минеральных включений, образовавшихся на более поздних стадиях превращения горючего сланца, или удалением сростков с межпластовыми прослойками карбонатных пород, песчаников и др.

Характерной особенностью горючих сланцев по сравнению с каменными углями является значительное содержание в органическом веществе диспергированной минеральной массы, в связи с чем глубокое обогащение весьма затруднено. Технические свойства горючих сланцев крупнейших месторождений приведены в табл. 1.

## Технические свойства горючих сланцев крупнейших месторождений мира

Месторождения горючих сланцев	Влажность естественная $W_p$ , % по массе	В расчете на сухое вещество, % по массе			Условное органическое вещество, % по массе	Теплота сгорания сухого вещества, $Q_c$ ккал/кг	По данным авторов
		зола прокаливания $A_{пр}$	двуокись углерода $CO_2$	общая сера $S_{общ}$			
СССР							
Эстонское . . . . .	10,0	47,0	18,0	1,5	35,4	3150	М. Я. Губергрица (1957 г.)
Ленинградское . . . . .	10,0	48,7	17,0	1,6	34,8	3101	А. Ф. Добрянского (1947 г.)
Кашпирское . . . . .	20,0	58,9	12,1	5,3	33,3	2500	Ю. И. Корниловой, С. С. Семенова (1959 г.)
Кендерлыкское . . . . .	4,3	64,2	2,3	1,5	33,5	2615	М. М. Барщевского, Э. С. Безмогина, Р. Н. Шапиро (1963 г.)
Болтышское . . . . .	30,0	65,0	5,0	2,0	30,0	2460	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
Байсунское . . . . .	4,0	66,0	6,0	4,7	28,0	2460	
США 1286 Грин-Ривер, Колорадо . . . . .	0,2	59,8	4,9	0,8	13,8	1220	Х. Р. Линдена, Ч. Л. Цароса, Х. Л. Фельдкирхнера, Д. Хьюблера (1968 г.)
Бразилия Ирати . . . . .	16,2— —20,5	72,3	1,3	0,9	26,4	1810	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
Швеция Нерке . . . . .	1,4	79,0	1,0	5,3	20,0	2010	
Шотландия Лотианы . . . . .	—	78,0	—	0,7	19,0	1410	Д. Стюарта (1968 г.)
КНР Фушунь . . . . .	5,0	78,5	3,8	0,5	18,6	1390	С. Л. Эпштейна (1961 г.)
Австралийские сланцы . . . . .	—	51,6	—	—	49,7	4500	Р. Ф. Кане (1965 г.)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

В зависимости от генетического типа горючих сланцев органическое вещество имеет различное происхождение [1, 23, 34, 51, 53, 56, 114, 115].

В сапропелевых горючих сланцах органическое вещество преимущественно растительного происхождения. Для него характерно относительно малое содержание серы и азота. Теплота сгорания органической массы довольно высокая и достигает 9000—9200 ккал/кг.

В сапропелево-гумусовых горючих сланцах органическое вещество растительного и животного происхождения. Для него характерно довольно высокое содержание серы и азота. Теплота сгорания достигает 7000—7200 ккал/кг.

При исследовании под микроскопом в шлифах видно, что органическое вещество горючих сланцев слагается перемеживающимися между собой двумя элементами: 1) бурыми, желто-бурными и других цветов непрозрачными скоплениями размером от 0,01 до 0,1 мм, которые являются остатками водорослей и придают специфическую окраску горной породе; 2) золотисто-желтыми прозрачными изотропными образованиями тех же размеров, но более правильной вытянутой формы, которые являются гелиофицированными остатками растительных и животных организмов, прошедших стадию коллоидного состояния.

Органическое вещество горючих сланцев (кероген) различно по химическому составу. Элементарный состав керогена горючих сланцев сапропелевого типа следующий: 70—80% углерода, 8—10% водорода, 10—15% кислорода, до 1% азота и не более 2% серы, а элементарный состав керогена горючих сланцев сапропелево-гумусового типа характеризуется: 60—70% углерода, 5—8% водорода, до 20% кислорода, свыше 1% азота и до 10% серы [81].

Химический состав органического вещества горючих сланцев приведен в табл. 2.

Элементарный состав керогена горючих сланцев находится в прямой зависимости от степени его метаморфизации. Горючие сланцы более ранних геологических периодов содержат в органической массе больше летучих веществ и имеют повышенный процент выхода смолы по сравнению с горючими сланцами более молодого возраста, в частности третичного периода.

Элементарный состав органической массы обуславливается также генетическими особенностями горючего сланца. В сапропелевых горючих сланцах наблюдается более высокое содержание углерода и водорода по сравнению с тем же в сланцах сапропелево-гумусового типа и, наоборот, последние имеют в керогене гораздо больше кислорода, азота и серы по сравнению со сланцами первого типа.

Содержание и элементарный состав органической массы определяют выход летучих веществ при сухой перегонке горючего сланца.

Как показывают данные табл. 3, лабораторная перегонка горючего сланца сапропелевого типа позволяет получить наиболее высокий выход смолы и газа. Этим и объясняется технологическое использование горючих сланцев подобного типа как в зарубежных странах, так и в СССР.

Сравнительная характеристика элементарного состава органического вещества горючих сланцев крупнейших месторождений мира

Месторождения горючих сланцев	Содержание органического вещества, % по массе	Элементарный состав органического вещества, % по массе					По данным авторов
		C	H	N	O	S	
СССР							
Эстонское . . . . .	35,4	77,3	9,8	0,4	10,8	1,7	М. Я. Губергрица (1957 г.)
Ленинградское . . . . .	34,8	77,7	9,6	0,2	11,3	1,2	А. Ф. Добрянского (1947 г.)
Кашпирское . . . . .	33,3	59,7	7,8	2,5	15,2	14,2	Ю. И. Корниловой, С. С. Семенова (1959 г.)
Кендерлыкское . . . . .	33,5	75,0	8,1	2,1	14,8		М. М. Барщевского, Э. С. Безмозгина, Р. Н. Шапиро (1963 г.)
Болтышское . . . . .	30,0	68,0	9,3	1,3	19,9	1,5	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
Байсунское . . . . .	28,0	64,3	7,6	2,1	20,6	5,4	
С Ш А							
Грин-Ривер, Колорадо . . . . .	13,8	80,5	10,3	2,4	5,8	1,0	Г. Ю. Диннина, К. Е. Стенфилда, Г. Л. Кука, Г. В. Сонса (1968 г.)
Бразилия							
Ирати . . . . .	26,4	68,1	10,3	1,6	16,3	3,7	В. М. Ефимова, Э. Э. Пийка (1966 г.)
Швеция							
Нерке . . . . .	20,0	69,5	7,7	0,4	16,4	6,0	А. Ф. Добрянского (1947 г.)
Шотландия							
Лотианы . . . . .	20,0	63,0	10,0	0,5	25,8	0,7	Д. Стюарта (1968 г.)
Австралийские сланцы . . . . .	49,7	63,1	7,9	0,4	27,9	0,7	Р. Ф. Кане (1965 г.)

Сланцевые смолы, полученные в процессе полукоксования горючих сланцев различных месторождений, довольно значительно отличаются друг от друга по элементарному и фракционному составу, по содержанию кислых и нейтрально-кислородных соединений органических оснований, парафинов, серы. Особенно большое количество серы находится в смоле горючих сланцев сапротелево-гумусового типа (примерно до 10%). В большинстве своем сланцевые

Выход продуктов полукоксования горючих сланцев  
крупнейших месторождений мира

Месторождения горючих сланцев	Выход на сухое вещество в лабораторной реторте по Фишеру, % по массе				По данным авторов
	смола	пирогенная вода	полукокс	газ и потери	
СССР					
Эстонское . . . .	25,5	2,9	63,8	7,8	М. Я. Губергрица (1957 г.)
Ленинградское . .	22,0	1,9	70,5	5,6	А. Ф. Добрянского (1947 г.)
Кашпирское . . . .	12,9	2,0	78,7	6,4	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
Кендерлыкское . .	13,5	6,3	72,6	7,6	
Болтышское . . . .	13,0	4,6	78,4	4,0	
Байсунское . . . .	10,3	2,6	81,3	5,8	
С Ш А					
Грин-Ривер, Ко- лорадо . . . . .	10,3	1,4	85,8	2,5	Б. Гутри, Л. Шрамма (1950 г.)
Бразилия					
Ирати . . . . .	10,8	2,6	82,6	4,0	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
Швеция					
Нерке . . . . .	5,6	3,4	86,1	4,9	К. Ж. Гейрота (1968 г.)
Шотландия					
Лотианы . . . . .	8,2	2,2	86,6	3,0	Д. Стюарта (1968 г.) Д. М. Доугалла (1955 г.)
КНР					
Фушунь . . . . .	6,6	3,4	86,7	3,3	С. Л. Эпштейна (1961 г.)
Австралийские сланцы . . . . .	30,9	0,7	64,1	4,3	Р. Ф. Кане (1965 г.)

смолы бедны фенолами. Содержание их в смоле колеблется от 1,0 до 8%.

В табл. 4 приведены данные, характеризующие смолы полукоксования горючих сланцев.

Все сланцевые смолы имеют в своем элементарном составе серу. Диапазон колебания содержания серы в смолах зависит от генетического типа горючего сланца. В малосернистых смолах сапропелевых сланцев содержание серы не превышает 2%, в среднесернистых смолах — от 2 до 4% и в многосернистых смолах сапропелево-гумусовых сланцев — более 4%. Наиболее сернистой смолой является кашпирская. Как показывает опыт Сызранского завода,

Характеристика смол полукоксования горючих сланцев крупнейших месторождений мира

Таблица 4

Показатели	Месторождения горючих сланцев, по данным авторов					
	СССР					
	Эстонское (генераторная смола) М. Я. Губергрица (1957)	Ленинградское (генераторная смола) А. Ф. Добрянского (1948)	Кашпирское (генераторная смола)	Кендерльское (смола полукоксования)	Байсунское (смола полукоксования)	Болтышское (смола полукоксования)
	И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968)					
Выход смолы по Фишеру, (массовая доля), % . . . . .	25,5	22,0	12,9	13,5	10,3	13,0
Выход смолы на органическое вещество (массовая доля), % . . . . .	72,2	63,3	38,8	40,1	36,8	43,4
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,98—1,02	0,976	1,032—1,034	0,91	0,953	0,886
Вязкость условная при 50°С, °Е . . . . .	6—11	6,3	3,7	1,7	0,9	1,3
Температура застывания, °С . . . . .	—20	—20	—	+6	—	+0 до 20
Фракционный состав:						
начало кипения, °С . . . . .	130,0	130,0	189, 198	74,0	105,0	90,0
выкипает, °С, об. %:						
до 150 . . . . .	—	—	—	11,5	6,0	7,0
до 120 . . . . .	3,0	3,5	1—3	25,0	20,0	19,0
до 250 . . . . .	11,0	—	13—16	38,0	30,0	31,0
до 300 . . . . .	25,0	25,0	31—33	55,0	44,0	46,0
до 325 . . . . .	—	35,0	43—44	70,0	53,0	57,0
до 350 . . . . .	47,0	44,0	62—65	78,0	—	67,0
Элементарный состав (массовая доля), % . . . . .						
С . . . . .	83,0	83,0	79,0	85,4	81,2	83,6
Н . . . . .	9,7	9,5	8,6	11,6	10,2	11,6
S . . . . .	1,0	1,1	7,9	0,5	3,4	1,2
N . . . . .	6,3	{ 0,1 }	4,5	0,7	1,7	1,0
О (по разности) . . . . .	—	{ 6,3 }	—	1,8	3,5	2,6
Массовая доля, % . . . . .						
фенолов . . . . .	25,0	21,0	—	1,0	3,0	1,9
парафинов . . . . .	—	—	10,8	8,1	—	8,0

Показатели	Месторождения горючих сланцев, по данным авторов					
	США, Грин-Ривер, П. М. Дугана, Д. Р. Хилла, Ф. С. Рейнольдса, П. Д. Рута (1968 г.)	Бразилия, Ирати, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Швеция, Нерке; И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Шотландия, Лотианы, Д. Стюарта (1968 г.)	КНР, Фушунь, С. Л. Эпштейна (1961 г.)	Австралийские, Р. Ф. Кане (1965 г.)
Выход смолы по Фишеру, (массовая доля), % . . . . .	10,3	10,8	4,5	8,2	6,6	30,9
Выход смолы на органическое вещество (массовая доля), %	74,6	40,9	22,0	41,0	35,4	62,0
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup>	0,934	0,921	0,970	0,877	0,886—0,910	0,890
Вязкость условная при 50° С, °Е . . . . .	29	1,2	4,5	7—8	1,8—2,2	—
Температура застывания, °С	29,4	—	—	24—30	33—36	—
Фракционный состав:						
начало кипения, °С . . . . .	143,3	142,0	70,0	160,0	212,0	—
выкипает, °С, об. %:						
до 150 . . . . .	—	2,0	5,0	—	—	—
до 120 . . . . .	4,4	19,0	25,0	10,0	—	—
до 250 . . . . .	—	39,0	35,0	20,0	10	—
до 300 . . . . .	14,6	54,0	50,0	30,0	20	—
до 325 . . . . .	—	60,0	—	50,0	30	—
до 350 . . . . .	31,3	62,0	—	60,0	50	—
Элементарный состав (массовая доля), % . . . . .						
С . . . . .	86,4	87,4	—	85,8	85,4	85,4
Н . . . . .	11,5	10,2	—	12,6	12,2	12,0
S . . . . .	0,6	0,5	1,5	0,5	0,5	0,4
N . . . . .	1,0	0,7	—	0,7	1,3	0,5
O (по разности) . . . . .	0,5	1,2	—	0,4	0,6	1,7
Массовая доля, % . . . . .						
фенолов . . . . .	—	1,2	—	2,4	3,5—5,3	—
парафинов . . . . .	27,0	20,0	—	12,1	17—19	—

на базе этой смолы можно организовать выпуск медицинских сернистых препаратов и других ценных химических продуктов.

Для смол полукоксования прибалтийского горючего сланца характерно наличие фенолов, а для смол формации Ирати, формации Грин-Ривер, кендерлыкских, кашпирских и болтышских сланцев — присутствие парафинов и высших азотных оснований. Теплота сгорания смол полукоксования горючих сланцев составляет 9800—10180 ккал/кг.

Как свидетельствуют данные (см. табл. 4), в смоле полукоксования довольно большая доля бензиновой фракции, выкипающей при температуре до 200° С. В большей части смол на долю бензиновой фракции приходится 19—25% и лишь только в смолах некоторых месторождений выход ее не превышает 5%. Дизельная фракция, выкипающая при температуре 200—325° С, составляет основную массу смолы — 30—40%, а в некоторых смолах — до 50—60%. Остаток смолы, выкипающий при температуре свыше 325° С, в смолах многих месторождений не превышает 25—30%.

Наличие в сланцевых смолах главным образом легких и средних фракций имеет решающее значение при оценке горючих сланцев как химического сырья.

В процессе термического разложения горючего сланца помимо смолы выделяется значительное количество сланцевого газа: в шахтных генераторах Прибалтийского сланцевого бассейна до 580 м<sup>3</sup> на 1 т перерабатываемого сланца. Однако генераторный газ оказывается сильно разбавленным инертными газами: в его составе на долю азота приходится 62,4% и на долю CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>S — 18%. Некоторые агрегаты выдают газ с высоким содержанием непредельных органических соединений, который может служить ценным химическим сырьем. Теплота сгорания такого газа превышает 11 000 ккал/м<sup>3</sup>.

Сравнительно продолжительное время термическое разложение горючих сланцев с целью выделения жидких и газообразных продуктов для их дальнейшей химической переработки являлось практически единственным.

Сухая перегонка горючих сланцев является довольно сложным технологическим процессом, при котором значительная часть веществ, образовавшихся в результате термического разложения макромолекулярной массы полезного ископаемого, остается в виде нелетучего, но высококарбонизированного, в сравнении с исходным веществом, полукокса и кокса.

Органическое вещество горючих сланцев различных месторождений мира, содержащее большое количество водорода и имеющее отношение С : Н ∞ 7—8, может и без термического разложения использоваться для непосредственной химической переработки на мономерное сырье, широко применяемое в химической промышленности для синтеза разнообразных полимерных и непалимерных продуктов.

В Институте химии АН Эстонской ССР была разработана схема

промышленного производства смесей насыщенных дикарбоновых кислот методом окислительной деструкции органической массы (концентрата горючего сланца с содержанием 85—90% керогена) [114, 115]. Была проделана большая работа по окислению керогена (концентрата) щелочным перманганатом калия, азотной кислотой, азотной кислотой и воздухом, кислородом в водно-щелочной среде. Кероген горючих сланцев — кукерситов Прибалтийского сланцевого бассейна — хорошо деструктируется до растворимых соединений всеми перечисленными окислителями. Однако действие каждого окислителя осуществляется по-разному: с различными кинетикой, выходом кислот и их соотношением в смеси. Существенное влияние оказывают и условия окисления. Так, при окислении щелочным перманганатом калия в зависимости от условий окисления можно получить или свыше 70% углерода в виде органических веществ сложнее щавелевой кислоты, или до 50% углерода в виде только щавелевой кислоты, или практически полностью получить углерод только в виде  $\text{CO}_2$ .

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Петрографический фактор оказал свое влияние не только на состав исходного органического вещества горючих сланцев, но и на минеральную их часть.

Под микроскопом при увеличении в 100 раз строение горючих сланцев представляется сложной микроскопической мозаикой из смешения органического вещества и минеральной массы, кальцита и глинистых частиц. Кальцит образует каркас наподобие пчелиных сот, внутри ячеек которых расположены микроскопические сгустки органического вещества и связанные с ними глинистые частицы. Под микроскопом видны также редкие кусочки кварцита  $\text{SiO}_2$  и рассеянные кристаллы пирита  $\text{Fe}_2\text{S}$ . Кальцит представлен в форме пелитоморфных частиц и в форме остатков известковой фауны.

Глинистый материал по минеральному составу складывается из кварца (до 50—60%) и из изотропных бесцветных зерен редких минералов.

Сопутствующими минералами являются: каолинит и монтмориллонит, редкие зерна кварца, полевого шпата, циркона, рутила, апатита, граната, лейкоксена; рудные минералы: пирит, марказит и др. Горючие сланцы содержат в минеральной массе ценные химические элементы: германий, бериллий, итрий, скандий. Однако содержание химических элементов, за исключением германия, незначительно.

Химический состав минерального остатка полукоксования горючего сланца приведен в табл. 5.

Коксозольный остаток сухой перегонки и зола пылевидного сжигания горючего сланца в топках котлов тепловых электростанций могут служить материалом для производства теплоизоляции

Химический состав золы горячих сланцев крупнейших месторождений мира

Химический состав	Месторождения горячих сланцев, по данным авторов					
	СССР					
	Эстонское, М. Я. Губергрица (1957 г.)	Ленинградское, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Кашпирское, Н. И. Матусевича (1959 г.)	Кендерлыкское, М. М. Баршевского, Э. С. Безмозгина, Р. Н. Шапиро (1963 г.)	Болтышское, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Байсунское, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)
SiO <sub>2</sub> . . . . .	31,0	33,8	34,6	58,2	57,5	40,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	7,8	9,4	13,2	17,2	19,4	15,5
Fe <sub>2</sub> O . . . . .	5,8	4,9	5,2	7,3	6,6	11,1
CaO . . . . .	39,0	37,1	24,6	2,3	7,1	16,6
MgO . . . . .	4,5	3,1	1,7	1,0	2,1	2,4
SO <sub>3</sub> . . . . .	4,5	3,5	17,5	3,4	2,9	9,5
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O . и другие	7,4	8,2	3,2	10,6	4,4	4,7

Химический состав	Месторождения горячих сланцев, по данным авторов					
	США, Грин-Ривер, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Бразилия, Ирати, Н. М. Тора, В. И. Марфи, (1951 г.)	Швеция, Нерке, И. М. Озерова, В. Ф. Полозова (1968 г.)	Шотландия, Лотианы, Д. Стюарта (1968 г.)	КНР, Фушунь, В. С. Файнберга (1967 г.)	Австралийские, Н. М. Тора, В. И. Марфи (1951 г.)
SiO <sub>2</sub> . . . . .	43,8	58,0	44,0	55,7	62,3	90,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,2	24,5	16,0	25,0	26,7	4,8
Fe <sub>2</sub> O . . . . .	4,6	8,5	8,0	9,9	6,1	0,9
CaO . . . . .	22,1	2,6	21,0	2,7	0,1	0,5
MgO . . . . .	9,3	3,3	1,0	3,1	1,8	0,3
SO <sub>3</sub> . . . . .	2,2	0,7	6,0	0,9	—	0,2
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O . и другие	5,8	2,4	4,0	2,7	3,0	2,6

Промышленная классификация горючих сланцев [81]

Генетический тип сланца	Основные показатели и нормы	Промышленный класс сланца	Основные показатели	Вид сланца	Группа	Продукты переработки	Примечание
Сапропелевый	Выход смолы на органическое вещество более 50%	Энергетический	Теплота сгорания сланца $Q_p^H$ 1800 ккал/кг. Выход смолы от сланца менее 15%	Карбонатный ( $CaO+MgO > 20\%$ ) Алюмосиликатно-карбонатный ( $CaO+MgO$ от 10 до 20%) Алюмосиликатный ( $CaO+MgO < 10\%$ )	Энергетическая	Тепло и электроэнергия Зола для производства строительных материалов	Содержание редких и рассеянных элементов в промышленном количестве может иметь самостоятельное значение при оценке сланцев
		Технологический	Теплота сгорания сланца $Q_p^H$ 2000 ккал/кг. Выход смолы от сланца более 15%	Карбонатный Алюмосиликатно-карбонатный Алюмосиликатный	Газово-смоляная	Бытовой газ, топочный мазут, фенолы, бензол, клей, пластификаторы, дубители, электродный кокс, моющие вещества, битум, масло для пропитки древесины и др.; зольные остатки для производства строительных материалов	

Генетический тип сланца	Основные показатели и нормы	Промышленный класс сланца	Основные показатели	Вид сланца	Группа	Продукты переработки	Примечание
Сапропелевый	Выход смолы на органическое вещество более 50%	Энерготехнологический	Теплота сгорания сланца $Q_p^H$ более 1600 ккал/кг. Выход смолы от сланца более 10%. Содержание серы в смоле 2%	Карбонатный Алюмосиликатно-карбонатный Алюмосиликатный	Энергохимическая	Тепло и электроэнергия Химические продукты: этилен, пропилен и др. Зола для производства строительных материалов	Содержание редких и рассеянных элементов в промышленном количестве может иметь самостоятельное значение при оценке сланцев
Сапропелево-гумусовый	Выход смолы на органическое вещество менее 50%	Технологический	Выход смолы от сланца 10%. Содержание серы в смоле менее 2%	Алюмосиликатно-карбонатный Алюмосиликатный	Смоляная	Сернистые продукты: ихтиол, альбихтол, натрий-ихтиол, сульфиды и др. Зольные остатки для производства строительных материалов	

онных материалов и вяжущих веществ. Зола, содержащая не менее 15% свободной окиси кальция, обладает вяжущими свойствами и пригодна для изготовления легких и тяжелых бетонов и изделий из них. Все разновидности сланцевой золы могут быть использованы в качестве наполнителя в бетоне. Некоторые виды золы, как, например, карбонатные, находят применение в сельском хозяйстве для известкования кислых почв.

Поскольку горючие сланцы представляют собой комплексное органико-минеральное сырье, пригодное для получения искусственного жидкого топлива и химических продуктов, производства энергии и различных строительных материалов, И. М. Озеровым и В. Ф. Полозовым была предложена их промышленная классификация [81], в основу которой, как видно из табл. 6, были положены генетический признак, а также химические и технологические свойства горючих сланцев. По условиям образования выделены два генетических типа сланцев, а по составу и свойствам горючих сланцев — три класса. В зависимости от химического состава зольной части горючие сланцы подразделены на три вида. Данные табл. 6 показывают возможности промышленного использования горючих сланцев различных месторождений.

### Глава III

## ЗАПАСЫ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Горючие сланцы имеют широкое распространение на земном шаре. В настоящее время не имеется научно обоснованного учета запасов этого полезного ископаемого. Из литературных источников [127, 149] известно, что при оценке ресурсов горючих сланцев не соблюдалась сопоставимость по параметрам глубины залегания и мощности учитываемых пластов, по типам горючих сланцев и их качеству. В некоторых случаях опубликованные данные относятся не к общему району залежей, а характеризуют лишь отдельные шахты или местные участки добычи, которые ни в коей мере не могут представлять всего сланцевого бассейна. В связи с этим следует также отметить, что нередко упоминается большое количество названий местных обнажений горючих сланцев, относящихся в конечном счете к одному основному месторождению.

На основании литературных источников ученые [13, 14, 39, 42, 126, 127, 149] делали неоднократные попытки установить потенциальные запасы горючих сланцев мира.

Наиболее оптимистичные сведения об общих потенциальных запасах горючих сланцев в недрах Земли были обнародованы в 1965 г. [138]. Эти данные приведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, потенциальные ресурсы горючих сланцев в мире с содержанием органического вещества от 10 до 65%, по расчетам авторов, достигают 13 400 трлн. т. Наибольшие потенци-

Потенциальные запасы горючих сланцев и органического вещества в недрах Земли [149], трлн. т

Части света и континенты	Горючие сланцы с содержанием органического вещества от 10 до 65%		Горючие сланцы с содержанием органического вещества от 5 до 10%	
	потенциальные запасы горючих сланцев	минимальный объем органического вещества	потенциальные запасы горючих сланцев	минимальный объем органического вещества
Африка . . . . .	340	34	3 400	170
Азия . . . . .	450	45	4 500	225
Австралия . . . . .	80	8	800	40
Европа . . . . .	110	11	1 100	55
Северная Америка . . . . .	200	20	2 000	100
Южная Америка . . . . .	160	16	1 600	80
Всего . . . . .	1340	134	13 400	670

альные ресурсы горючих сланцев сосредоточены в Азии и Америке. Значительными запасами горючих сланцев располагают недра Европы.

На состоявшейся в Москве VII Всемирной конференции по энергетике были приведены более скромные данные, свидетельствующие о том, что потенциальные ресурсы смолы в горючих сланцах по крайней мере равны оптимистически оцененным запасам нефти и газа, вместе взятым.

На Симпозиуме ООН по разработке и использованию горючих сланцев, который был проведен в 1968 г. в Таллине, были приведены новые данные, представляющие итоговые результаты последних изыскательских работ и научных исследований. В табл. 8 приведены данные, характеризующие потенциальные запасы горючих сланцев в зарубежных странах и СССР, а также ориентировочные потенциальные ресурсы сланцевой смолы. Оценка запасов сланцевой смолы по континентам и зарубежным странам произведена в работе [149], а расчет потенциальных ресурсов смолы в СССР произведен автором. Для расчета принят выход смолы в шахтных генераторах (для сланца-кукерсита 14%), скорректированный в соответствии с изменением содержания органического вещества в горючем сланце других месторождений.

Как показывают данные табл. 8, потенциальные ресурсы горючих сланцев, заключенные в толще земного шара при максимальной глубине до 2000 м (Грин-Ривер), примерно в 3 раза меньше, чем были определены в 1965 г. Д. К. Дунканом и В. Е. Свонсоном, и составляют, вероятно, 449 трлн. т. В них содержится ориентировочно около 26 трлн. т. сланцевой смолы.

Широко распространенные в мире горючие сланцы могут рассматриваться как грандиозный резервный источник энергии,

Общие потенциальные запасы горючих сланцев и ресурсы сланцевой смолы  
в мире

Страны	Ресурсы, млн. т	
	горючие сланцы	сланцевая смола
<b>СССР</b>		
Прибалтийский сланцевый бассейн	150 000	25 500
Волжский сланцевый бассейн	500 000	45 000
Олепекский сланцевый бассейн	500 000	40 000
Тимано-Печорская область	400 000	36 000
Кузнецкий бассейн	1 500	180
Забайкалье	13 000	1 600
Доманиковые сланцы	500 000	45 000
Иркутская область	380	50
Белорусская ССР	4 000	360
Украинская ССР	4 500	400
Казахская ССР	6 020	540
Грузинская ССР	1 300	120
Армянская ССР	1 300	120
Узбекская ССР	1 400	130
Азербайджанская ССР	500	50
Таджикская ССР	2 900	260
Итого по СССР	2 086 800	195 310
<b>Западная Европа</b>		
Австрия	20	1
Люксембург	200	10
Федеративная Республика Германии	4 380	285
Испания	364	40
Франция	4 124	205
Соединенное Королевство Велико- британия	4 438	240
Италия	96 800	5 500
Швеция	15 900	600
Болгария	525	30
Югославия	180	30
Итого по Западной Европе	126 931	6 941
Всего СССР и Западная Ев- ропа	2 213 731	202 251
<b>Америка</b>		
Канада	410 000	23 500
Соединенные Штаты Америки	431 148 000	24 600 000
Бразилия	16 200 000	1 200 290
Чили	745	55
Итого по Америке	447 758 745	25 823 845
<b>Азия</b>		
Китайская Народная Республика	430 000	24 500
Бирма	1 080	280

Страны	Ресурсы, млн. т	
	горючие сланцы	сланцевая смола
Тайланд . . . . .	2 540	670
Турция . . . . .	560	56
Израиль . . . . .	160	13
Иордания . . . . .	90	10
Итого по Азии . . . . .	434 430	25 529
<b>Африка</b>		
Марокко . . . . .	4 070	687
Итого по Африке . . . . .	4 070	687
<b>Австралия и Океания</b>		
Австралия . . . . .	120	41
Новая Зеландия . . . . .	120	30
Итого по Австралии и Океании	240	71
Итого в зарубежных странах	448 324 416	25 857 073
Всего мировые ресурсы . . .	450 411 216	26 052 383

промышленное использование которого пока продолжает отодвигаться открытием новых нефтяных и газовых месторождений: их разработка при современном уровне технического развития пока оказывается экономичнее разработки сланцевых залежей. Ресурсы нефти и газа в пригодных для эксплуатации месторождениях исчерпаемы и со временем иссякнут. По общему мнению геологов и энергетиков, подобное положение может сложиться приблизительно к концу этого или в начале будущего столетия, если потребление энергии в мире будет возрастать в соответствии с намеченными прогнозами.

Одновременно следует отметить, что ресурсы извлекаемых горючих сланцев зависят не только от потенциальных запасов, но и от геологических условий, совершенства технологии добычи, а также ряда других факторов, влияющих на издержки производства: удаленность и доступность мест разработки, транспорт, характер и мощность покрывающих пород, водоснабжение, удаление породы, заработная плата, прибыль от капитальных вложений, эффективность процессов деструктивной переработки и др.

Извлекаемые ресурсы горючих сланцев  $q$  могут быть определены по предлагаемой нами формуле

$$q = \left[ Aq \left( 1 - \frac{\gamma}{100} \right) + Bq \frac{\alpha}{100} \left( 1 - \frac{\beta}{100} \right) \right] \left( 1 - \frac{k}{100} \right), \quad (1)$$

где  $Aq$ ,  $Bq$  — потенциальные геологические запасы горючих сланцев, доступные соответственно для открытой и подземной добычи, т;  $\alpha$  — доля горючих сланцев, залегающих на экономически

целесообразной глубине, %;  $k$  — доля горючих сланцев с теплотой сгорания от 1000 ккал/кг и выше, %;  $\beta$ ,  $\gamma$  — потери горючего сланца соответственно при подземной и открытой добыче, %.

Для добычи горючих сланцев открытым способом при современном уровне техники ведения добычных работ максимальным соотношением вскрыши к рабочей мощности пласта можно считать 10 : 1, а вероятным — не более 5—6 : 1. Такие условия имеют место на месторождениях СССР, Европы, Азии, Африки, Южной Америки и США. Ориентировочно следует считать, что около 40% запасов горючих сланцев мира может быть извлечено открытым способом.

Наиболее мощные пласты горючих сланцев залегают главным образом в крупнейшей формации Американского континента — Грин-Ривер — на глубине до 2000 м и более. В практических условиях, вероятно, можно принять к учету, как извлекаемые подземным способом, пласты горючих сланцев мощностью от 1 м и выше при глубине залегания их не менее 100 м. Потенциальные геологические запасы горючих сланцев, залегающих в таких условиях, составляют примерно 60% сланцевых запасов, подлежащих извлечению подземным способом.

В потенциальных геологических запасах учтены горючие сланцы теплотой сгорания от 1000 ккал/кг и выше. Для сжигания сланца в топках электростанций минимальной границей теплоты сгорания горючих сланцев является 1800 ккал/кг. Однако в агрегатах деструктивной переработки сланца, как показывает опыт сланцеперерабатывающих заводов в Фушуне (КНР), возможно использование горючих сланцев с теплотой сгорания и менее 1000 ккал/кг. Поэтому при расчете извлекаемых запасов принимается калорийность сланцев от 1000 ккал/кг и выше.

Добыча горючих сланцев подземным и открытым способами, как правило, сопряжена с потерями полезного ископаемого [74]. Например, в 1972 г. камерно-столбовая система выемки сланца на шахтах треста Эстонсланец позволила извлечь из недр 70,1% потенциальных запасов. 29,9% полезного ископаемого осталось под землей в виде целиков, необходимых для поддержания кровли. При добыче открытым способом за счет оставления сланцевого слоя А и эксплуатационных потерь в недрах остается в виде суммарных потерь 24,7% горючего сланца.

Вместе с тем следует отметить, что в настоящее время ищутся новые пути разработки и переработки горючих сланцев непосредственно в пласте. Это позволит в значительной мере избежать больших потерь полезного ископаемого в недрах.

С учетом изложенных соображений извлекаемые современными способами запасы горючих сланцев, вероятно, составляют 50—55% по отношению к потенциальным геологическим запасам. Подставив в формулу (1) цифровые значения, получаем следующую величину извлекаемых горючих сланцев:

$$q = \left[ 180 \left( 1 - \frac{25}{100} \right) + 270 \cdot \frac{60}{100} \left( 1 - \frac{30}{100} \right) \right] \left( 1 - \frac{10}{100} \right) = 224 \text{ трлн. т.}$$

Запасы горючих сланцев были установлены на основе ранее опубликованных данных, которые часто оказывались весьма условными. В связи с этим одной из важнейших проблем остается дальнейшее развитие геологической разведки с целью уточнения ресурсов и выявления оптимальных месторождений горючих сланцев по горно-геологическим, технико-экономическим факторам и качеству полезного ископаемого.

На территории СССР балансовые запасы в настоящее время подсчитаны только для месторождений, расположенных в северо-западном районе страны — Прибалтийском сланцевом бассейне и районах Поволжья — Волжском сланцевом бассейне. В других районах СССР месторождения горючих сланцев только изучаются.

На территории СССР, например, трестом Киевгеология с 1968 г. производится предварительная разведка шахтных полей на Болтышском месторождении и определяется технико-экономическая целесообразность проведения детальной геологической разведки.

Предварительная разведка подтвердила широкое распространение и выдержанность 5—6 пластов горючего сланца мощностью более 2 м и с теплотой сгорания 2000—2500 ккал/кг.

В соответствии с технической классификацией горючие сланцы Болтышского месторождения могут быть отнесены к энергетическим и энерготехнологическим. Ресурсы горючего сланца в пластах мощностью 2 м и более исчисляются по этому месторождению в количестве 3445 млн. т и отнесены Украинским республиканским геологическим фондом к категории С<sub>1</sub>.

В Восточных Карпатах завершены рекогносцировочно-поисковые работы по изучению менилитовых сланцев.

В соответствии с методикой, рекомендованной СЭВом, установлено, что кондиционные прогнозные запасы горючих сланцев первой группы составляют 25,9 млрд. т, некондиционные — 82,6 млрд. т. Кондиционные и некондиционные ресурсы горючих сланцев второй группы определены соответственно в 19,2 и 50,8 млрд. т. Следовательно, суммарные прогнозные ресурсы горючих сланцев и запасы, учтенные балансом горючих сланцев на 1/1 1970 г., составляют общие геологические запасы СССР 195,1 млрд. т, в том числе кондиционные — 58,5 млрд. т.

## Глава IV

### ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

На Европейском континенте количество месторождений горючих сланцев довольно внушительное. Самыми крупными из них являются месторождения СССР.

На территории СССР месторождения горючих сланцев известны во многих районах. Наиболее крупные из них расположены в Эстонской ССР, Ленинградской области и в Поволжье. В последние годы проведена геолого-экономическая оценка Кендерлыкского месторождения горючих сланцев Юго-Восточного Казахстана, исследованы залежи менилитовых сланцев Восточных Карпат, завершены рекогносцировочно-поисковые работы по изучению крупного Болтышского месторождения горючих сланцев в южной части Украинской ССР, осуществлена разведка месторождений горючих сланцев Кировской области и Байсунского месторождения в Узбекской ССР.

Малозученные месторождения горючих сланцев имеются также в Костромской области, Чувашской АССР, Мордовской АССР, Коми АССР, на Урале, Северном Кавказе, в Западной и Восточной Сибири, в Белорусской ССР и республиках Средней Азии. Промышленная ценность их пока не определена.

В настоящее время промышленная разработка горючих сланцев и их использование осуществляется на двух месторождениях Прибалтийского сланцевого бассейна: Эстонском и Ленинградском, и одним месторождении Волжского сланцевого бассейна — Кашпирском.

### Прибалтийский сланцевый бассейн

Из сланцевых бассейнов СССР Прибалтийский является наиболее крупным. Обширный материал о нем приведен в работах [2, 13, 14, 54, 71, 87, 108]. Бассейн расположен на северо-западе Русской платформы в пределах Эстонской ССР, Ленинградской, Новгородской и Псковской областей РСФСР (рис. 3). Северной границей распространения горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна является линия выхода последних под четвертичные и среднедевонские отложения. На юг, в сторону погружения пород, распространение горючих сланцев довольно большое и прослеживается более чем на 100 км. По простиранию сланцевая толща прослеживается на расстоянии более 400 км. Площадь бассейна составляет примерно 60 тыс. км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы горючего сланца в недрах бассейна можно определить примерно в 150 млрд. т. Расчет произведен с учетом следующих предпосылок: средняя плотность горючего сланца 1,69 т/м<sup>3</sup> при естественной влажности 6,2%, усредненная суммарная мощность сланцевых слоев в сланценосной толще бассейна 1,5 м.

Однако по глубине залегания и мощности сланцевого пласта, определяющим техническую возможность и экономическую целесообразность разработки при современном уровне технического развития горных работ, промышленные границы Прибалтийского сланцевого бассейна значительно уже указанных выше, и условно они могут быть проведены по простиранию от г. Раквере в Эстонской

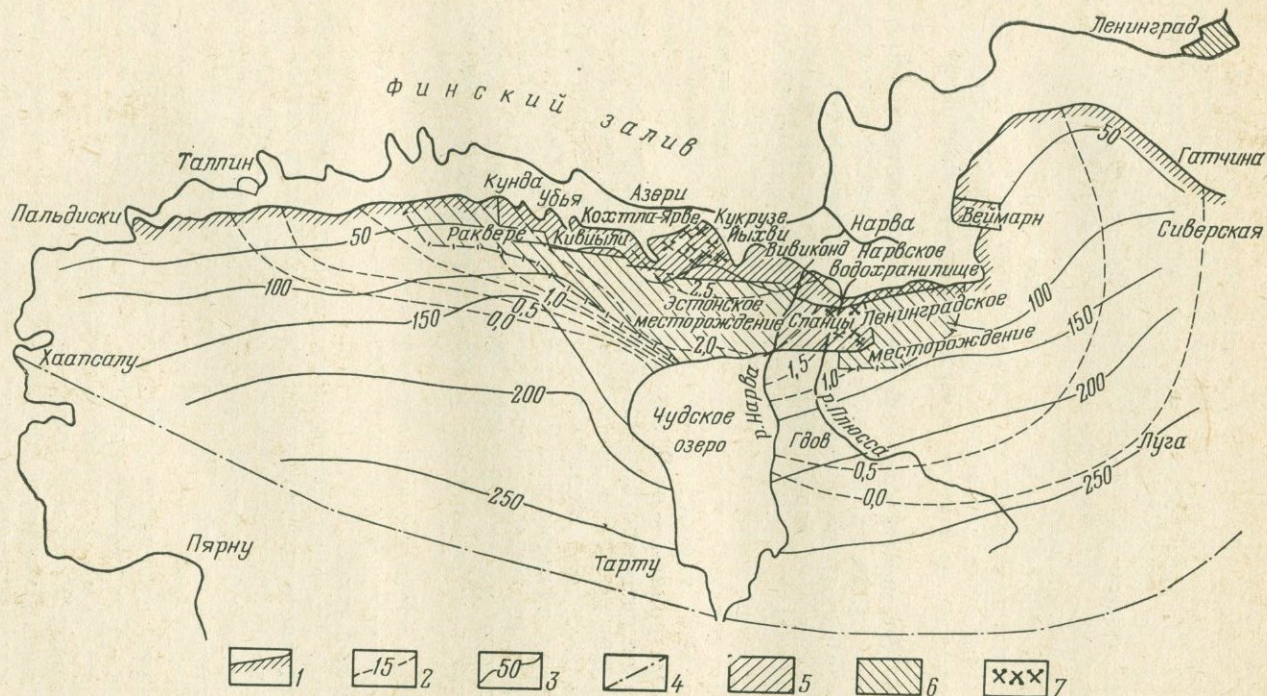


Рис. 3. Обзорная схема распространения залежей горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна (по С. С. Баукову):

1 — линия выхода пласта горючих сланцев под четвертичные отложения и под отложения среднего девона; 2 — изолинии суммарной мощности сланцевых слоев А — F, м; 3 — изолинии глубины залегания подошвы кукурзеского горизонта и промышленной пачки А — F, м; 4 — южная граница распространения сланцевой фации кукурзеского горизонта; 5 — территория разведанности по категориям А<sub>2</sub>+В+С<sub>1</sub>; 6 — граница разведанности по категории С<sub>2</sub>; 7 — действующие, строящиеся и ликвидированные шахты и карьеры

ССР до г. Луги в Ленинградской области (200 км), а по падению — от линии выхода пласта на севере до широты северного берега Чудского озера (30 км). В указанных промышленных границах площадь бассейна равна примерно 6 тыс. км<sup>2</sup>. Геологические запасы на этой площади составляют примерно 20 млрд. т (усредненная мощность сланцевых слоев в пласте принята 2 м).

Балансовые запасы на 1/1 1970 г. установлены в 7,8 млрд. т. Среднее содержание органического вещества в сланце 20%, минимальная теплота сгорания — 1600—1700 ккал/кг.

Горючий сланец — кукурцит представляет собой своеобразную мергельную слоистую осадочную горную породу желто-бурого цвета; обогащенную органическим веществом [15, 54, 108]. В сухом виде он легко загорается от спички и горит длинным коптящим пламенем.

Основными компонентами кукурцита являются органическое вещество — кероген, карбонатная часть и тонкозернистый обломочный материал, которые находятся между собой в определенных количественных соотношениях, характерных для каждого сланцевого слоя [1, 34, 53, 114, 115]. Составные части горючего сланца образуют тонкую смесь, обнаруживаемую при измельчении до 0,05 мм.

Содержание органического вещества в горючем сланце колеблется от 20 до 60%, карбоната — от 20 до 45% и обломочного тонкозернистого материала — от 20 до 40%.

Органическое вещество кукурцита имеет вид округлых сгустков диаметром от 0,01 до 0,1 мм, имеющих большей частью желтовато-бурый цвет и реже цвет желтого воска. Между сгустками органического вещества размещается минеральная часть. Теплота сгорания органического вещества составляет 8900—9100 ккал/кг на абсолютно сухую массу [22, 107]. Выход смолы от органического вещества в лабораторных условиях, по Фишеру, достигает 65—67%.

Карбонатная часть кукурцита представлена главным образом пелитоморфным кальцитом в виде скелетных известняковых остатков ископаемой фауны.

Обломочный материал горючего сланца состоит из разнообразных минералов, среди которых преобладают минералы легкой фракции: кварц (до 45%), гидрослюда (до 35%), ортоклаз (до 15%) и минералы тяжелой фракции: титан, циркон, гранат, турмалин, рутил и некоторые другие. Размер зерен обломочного материала не превышает 0,01 мм.

Из аутигенных минералов распространен пирит (или марказит), который частично рассеян по породе в виде отдельных кристаллов и небольших агрегатов их. Местами он образует также густые скопления в виде прослоек мощностью до 10 см.

Горючие сланцы приурочены главным образом к известняковым отложениям кукурцезского горизонта среднего ордовика [2, 14, 54].

В геоструктурном отношении территория Прибалтийского сланцевого бассейна участвует в северном обрамлении Прибалтийской

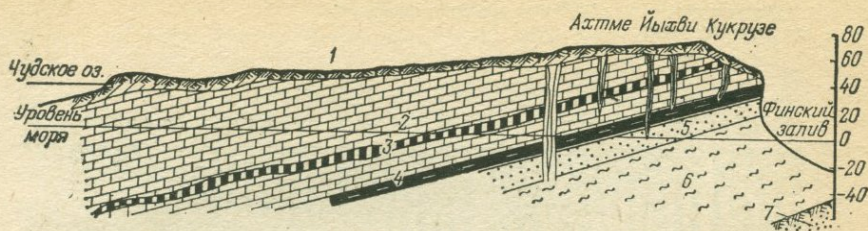


Рис. 4. Меридиональный геологический разрез Прибалтийского сланцевого бассейна (по С. С. Баукову):

1 — четвертичные отложения; 2 — известняки ордовика; 3 — пласт горючих сланцев; 4 — пласт диктионемовых сланцев; 5 — пески; 6 — глины кембрия; 7 — песчаники кембрия

впадины, выполненной осадочными породами кембрия, ордовика, силура и девона.

Тектоническое строение бассейна несложное: слагающие его породы залегают практически горизонтально с небольшим наклоном на юг (около 3 м на 1 км) — в сторону от оси впадины. На общем фоне спокойного залегания горных пород имеются небольшие пологие поднятия и впадины, тектонические трещины, сбросы и флексуры с незначительной амплитудой и нарушения, связанные с провалением карста и ледниковой абразии.

Мощность осадков Прибалтийской впадины сильно изменяется, увеличиваясь в южном и юго-восточном направлениях (рис. 4). В районе сланцевого бассейна она достигает 100—280 м.

Стратиграфический разрез в центральной части Прибалтийского бассейна показан на рис. 5. Сланценосная толща бассейна состоит из ряда слоев суммарной мощностью до 100 м. Нижние слои — обовые пески и песчаники — лежат на неравномерно и глубоко размытой поверхности кембрийских отложений. В верхней части они постепенно переходят в глинисто-битуминозные диктионемовые сланцы, содержащие до 15—20% органической массы. Мощность их колеблется от 1,5 до 4 м. На слабо размытой поверхности диктионемовых сланцев залегают глауконитовые песчаники и известняки, перекрываемые ортоцератитовыми слоями глинистых известняков.

Еще выше расположены доломитизированные и глинистые толстоплитчатые известняки, представляющие собой эхиносферитовые слои мощностью от 7 до 12 м. Они подстилают кукерский ярус, вмещающий слои горячего сланца. Мощность сланценосной толщи кукерского яруса колеблется в пределах 18—22 м. Сложены они доломитизированными и глинистыми известняками, среди которых залегают 18—20 слоев горячих сланцев — кукерситов.

Сланценосную толщу кукерских слоев условно можно разделить на два горизонта — верхний и нижний. Первый из них содержит маломощные слои горячего сланца с большим количеством известняковых включений. Этот горизонт не имеет промышленного значения.

Эстонское  
месторождение

Гдовское месторождение

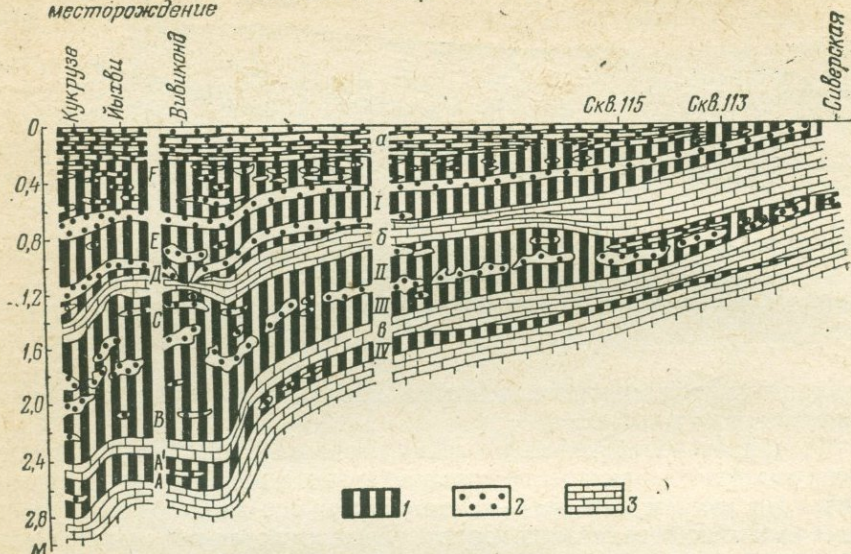


Рис. 5. Широтный геологический разрез промышленной пачки горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна вдоль северной границы ее распространения (по С. С. Баукову):

*F—A; I—IV* — индексы сланцевых слоев; *a* — ложная кровля; *б* — плита; *в* — «кулак»; *1* — горючий сланец; *2* — известняк, обогащенный органическим веществом; *3* — известняк

Отложения нижнего горизонта мощностью 5—6 м вмещают два пласта кондиционных горючих сланцев — верхний и нижний. Верхний пласт состоит из двух слоев *G* и *H* суммарной мощностью 0,4—0,6 м; разделяются слои породным прослойком средней толщиной 0,23 м. Весь пласт вследствие малой мощности и отделения от нижнего пласта значительной толщей пород (1,1 м) не имеет большого промышленного значения. На территории Ленинградской области слои *G* и *H* становятся очень тонкими.

Нижний пласт состоит из четырех-шести отдельных слоев горючего сланца мощностью от 0,1 до 0,9 м, разделенных прослойками известняка. Все слои пласта имеют промышленное значение.

Сложное строение промышленного пласта, характерное для Прибалтийского сланцевого бассейна, значительно затрудняет разработку месторождений. Отдельные сланцевые слои содержат большое количество весьма крепких известковистых включений (конкреций), что в еще большей мере осложняет разработку залежей и особенно обогащение сланца.

Сланцевые пласты имеют неодинаковую глубину залегания. В северной части бассейна они выходят под четвертичные отложения, а в южной — углубляются на 100—150 м от поверхности земли.

Промышленный пласт подстилается и перекрывается известняками, частично доломитизированными или битуминозными, с редкими пропластками горючих сланцев.

Вся толща ордовикских известняков разбита повсеместно распространенными трещинами, расстояние между которыми достигает 30—50 м. Обычно они заполнены песчано-глинистым материалом, а в местах, где последний отсутствует, по ним в горные выработки поступают подземные воды [24].

В пределах бассейна установлено наличие древних (глубинных) и современных (поверхностных) карстов, нарушаемых древним карстом, приуроченным к вертикальным трещинам-зонам тектонических нарушений северо-восточного простирания. Местами имеются довольно крупные зоны нарушений, где промежутки заполнены песчано-глинистым материалом, а слои горючих сланцев замещены смесью известняков, доломитов и жирных глин. Распространяются они на значительную глубину, пересекая промышленный пласт и вмещающие породы. Ширина зон закарстованных нарушений колеблется от 10 до 200 м, длина — от 100 м до нескольких километров.

Степень закарстованности промышленного пласта составляет около 3%, а по отдельным участкам — 5—8%. Современные карсты проявляются в виде воронок, характеризуются неглубоким распространением (3—5 м от поверхности земли) и на горные работы влияния не оказывают.

Прибалтийский сланцевый бассейн относится к Прибалтийскому и Московскому артезианским бассейнам, имеет сложные гидрогеологические условия.

В обобщенном виде в пределах Прибалтийского сланцевого бассейна можно провести следующее гидрогеологическое районирование.

Первый район представляет собой предглинтовую низменность, ограничивающую с севера месторождения горючих сланцев Эстонской ССР и Ленинградской области. Этот район располагает сложным комплексом свободных и слабонапорных вод в разнообразных по генезису песчаных слоях четвертичной толщи. В этом районе основными являются три водоносных горизонта: 1) в озерно-ледниковых песках лужской и балтийской стадиях валдайского ледникового; 2) в песчаных отложениях стадий Балтийского моря; 3) в песчано-гравийно-галечных образованиях (межморенный горизонт). Во всех этих горизонтах воды пресные гидрокарбонатные натриевые или кальциевые. В межморенном горизонте они имеют значительный дебит.

Ниже водоносных горизонтов четвертичных отложений находятся два выдержанных водоносных горизонта: первый из них залегает на глубине 10—50 м и заключает безнапорные, местами слабонапорные порово-пластово-трещинные пресные воды с небольшим дебитом, второй, залегающий на породах кристаллического фундамента, обладает значительным дебитом, напорным характером

и слабой минерализацией вод; глубина залегания вод 70—100 м.

Второй район распространен на ордовикском плато, характеризуется сложным многослойным гидрогеологическим разрезом. В четвертичной толще размещен обычно маломощный водоносный комплекс со свободными пресными водами, имеющими небольшой дебит. В толщах карбонатных пород ордовика заключен мощный водоносный комплекс со свободными трещинно-карстовыми пресными водами, уровень которых находится на глубине от 3—5 до 25 м от земной поверхности. Дебит воды достигает нескольких кубических метров в секунду на скважину.

Водоупором в почве для водоносного комплекса известняков и доломитов ордовика служат глауконитовые глины. Ниже этого комплекса залегает порово-трещинно-пластовый водоносный горизонт оболочных песков, песчаников и алевролитов, нижним водоупором которых служит мощная толща синих кембрийских глин. Глубина залегания горизонта 10—100 м. Величина напора данного горизонта небольшая, возрастающая к югу. Водообильность незначительная. Там, где нет контакта с водами вышележащего горизонта, удельный дебит не превышает 0,3 л/с.

Водоносные горизонты ордовикского плато хорошо изолированы от вышележащих толщ синих глин и находятся на глубине до 300 м. Обладают большим напором, повышенной минерализацией и удельным дебитом от сотых долей до 1,85 л/с.

Третий район охватывает северо-западную окраину главного девонского поля. Отличительная черта этого района — наличие водоносных горизонтов в девонских отложениях, покрывающих здесь ордовикскую карбонатную толщу. Район занимает большую часть сланценосной площади и соседнюю с ней территорию, расположенную к югу. В соответствии с особенностями гидрогеологического разреза, химизма и режима подземных вод он делится на три подрайона.

Первый из них занимает Восточный участок месторождения Эстонской ССР и Северный участок месторождения в Ленинградской области. Расположен он между вторым и третьим подрайонами. В подрайоне в доломитах и мергеле повсеместно распространен пластово-трещинный водоносный горизонт. Глубина его залегания достигает 20 м. Воды свободные и слабонапорные, пресные, с удельным дебитом от 0,001 до 1,0 л/с.

Второй подрайон находится южнее первого. Он имеет сплошное развитие водоносного горизонта и более глубокое залегание по сравнению с горизонтом первого подрайона. Удельный дебит колеблется от 0,5 до 3,7 л/с.

Третий подрайон распространен в Ленинградской области. Глубина залегания его достигает 350—500 м. Воды напорные с большим дебитом.

Толща карбонатных пород среднего ордовика имеет многочисленные карсты и трещины, по системе которых циркулируют воды.

Только в северной части сланцевых месторождений Эстонской ССР и Ленинградской области сланценосный пласт местами размещается выше уровня грунтовых вод. Однако и здесь в осенний и весенний периоды на непродолжительное время уровень подземных вод поднимается выше горизонта горючих сланцев.

В пределах Прибалтийского сланцевого бассейна разведаны четыре месторождения горючих сланцев: Эстонское, Ленинградское, Веймарнское и Чудово-Бабинское.

Эстонское месторождение горючих сланцев расположено в северо-восточной части Эстонской ССР; занимает западную часть Прибалтийского сланцевого бассейна. Северной границей месторождения служит линия выхода промышленного пласта под наносы четвертичных отложений, проходящая в 3—15 км от берега Финского залива (глинт). Линия с промышленной мощностью сланцевых пластов (0,7 м) проходит на западе близ г. Раквере. Восточной границей месторождения служит р. Нарва. На юге границей залегания промышленного пласта условно принят северный берег Чудского озера. В южном направлении распространение пласта прослежено на расстоянии 40 км. По данным разведочных поисковых и структурных скважин залежи горючих сланцев изучены на площади 17 тыс. км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы горючих сланцев на этой площади составляют более 50 млрд. т (усредненная мощность сланцевых слоев по месторождению принята 2 м). Геологические запасы сланцев определены в 18,4 млрд. т.

Промышленной территорией принято считать северо-восточную часть месторождения, расположенную между г. Раквере на западе и р. Нарвой на востоке, занимающую около 3000 км<sup>2</sup>, с запасами горючих сланцев до 8 млрд. т.

Из общей площади, охваченной поисковой разведкой, примерно участок в 1000 км<sup>2</sup> уточнен детальными и предварительными разведками. На этом участке балансовые запасы горючих сланцев на 1/1 1970 г. определены по категориям А+В+С<sub>1</sub> в 3,8 млрд. т и забалансовые—799 млн. т.

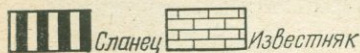
Разведанная часть месторождения условно разделяется руслами рек Пуртсе, Васавере и Нарвы на три района: Западный, Центральный и Восточный.

Западный район характеризуется небольшой глубиной залегания промышленного пласта — от 5—10 м на севере до 50 м на юге. Разведанные запасы горючего сланца на площади этого района составляют 1,1 млрд. т, из них более половины может быть отработано открытым способом.

В Центральном районе сланценосный пласт залегает на глубине от 0 до 60 м. В этом районе разработка горючего сланца осуществляется подземным способом. На территории района действуют девять шахт. Для открытого способа разработки в этом районе имеются весьма ограниченные площади.

В Восточном районе пласт горючих сланцев залегает на глубине от 3 до 55 м. Северная часть его может разрабатываться

Условный индекс	Структурный разрез	Мощность слоя, м	Высота от подошвы слоя, м	Характеристика слоя
		0,07	7,33	1
		0,50	6,83	2
		0,45	6,38	3
		0,25	6,13	4
		0,08	6,05	5
		0,30	5,75	6
		0,60	5,15	7
H		0,10	5,05	8
		0,10	4,95	9
H		0,17	4,78	10
H/G		0,25	4,53	11
G		0,28	4,25	12
G/F		0,08	4,17	13
F <sub>5</sub>		0,04	4,13	14
F <sub>5</sub> /F <sub>4</sub>		0,16	3,95	15
F <sub>4</sub>		0,03	3,92	16
F <sub>4</sub> /F <sub>3</sub>		0,12	3,80	17
F <sub>3</sub>		0,30	3,50	18
F <sub>3</sub> /F <sub>2</sub>		0,10	3,40	19
F <sub>2</sub>		0,08	3,32	20
F <sub>2</sub> /F <sub>1</sub>		0,13	3,16	21
F		0,95	2,21	22
E		0,30	1,91	23
E/D		0,10	1,81	24
D		0,10	1,71	25
D/C		0,20	1,51	26
C		0,35	1,16	27
C/B		0,10	1,06	28
B		0,60	0,46	29
B/A		0,10	0,36	30
A'		0,06	0,26	31
A		0,20	0,00	32
				33



открытым способом. В настоящее время здесь действуют два карьера и закладывается третий.

Сланценосный пласт Эстонского месторождения имеет сложное строение (рис. 6). В его составе выделяются два сланценосных комплекса: нижний и верхний. Нижний комплекс, включающий слои А—F, представляет собой промышленный пласт. Верхний комплекс состоит из двух сланцевых слоев G и H общей мощностью 0,4—0,5 м, разделенных прослойком известняка толщиной 0,2—0,3 м. Средняя теплота сгорания горючего сланца слоев G и H равна 2500 ккал/кг, а вместе с разделяющим их известняковым прослойком — 1300 ккал/кг на сухое вещество. Сланцевые слои G и H раньше также относились к промышленному пласту. Запасы по ним подсчитаны на значительной площади месторождения и отнесены к забалансовым. Несмотря на выдержанное распространение, эти слои в настоящее время не представляют практического интереса из-за невыгодного их залегания.

Как показано на рис. 6, промышленный пласт состоит из шести сланцевых слоев, обозначенных снизу вверх соответствующими индексами: слой А — залегает в почве промышленного пласта; состоит из двух

Рис. 6. Геологический разрез промышленного пласта горючих сланцев в центральной части Эстонского месторождения (по С. С. Баукову):

1, 5, 8, 10, 12, 23, 25, 27, 29, 31, 32 — горючий сланец; 2, 3, 7, 9, 11 — известняк битуминозный; 4, 6 — известняк мергелистый; 13, 14, 15, 16, 18, 21 — известняк серого цвета; 17, 22 — горючий сланец с конкрециями; 19, 20 — глинистый сланец с конкрециями; 24 — известняк битуминозный, розовая плита; 26 — известняк, двойная плита; 28 — известняк битуминозный, кулак; 30 — известняк глинистый, синяя плита; 33 — известняк глинистый

пачек горючего сланца, разделенных прослойком битуминозного известняка толщиной 3—4 см: нижняя пачка имеет коричневатобурый цвет и содержит незначительное количество известковистых включений; мощность ее колеблется от 11 до 22 см, средняя 19 см; теплота сгорания сланца 4140 ккал/кг; верхняя пачка этого слоя  $A^1$  — глинистая, влажная, мягкая, желтовато-серого цвета, без известняковых включений, мощность 5—12 см, средняя — 7 см; теплота сгорания сланца 2490 ккал/кг. Общая мощность слоя  $A$  колеблется от 20 до 36 см, средняя теплота сгорания сланца 3060 ккал/кг;

прослойк  $B/A$  — глинистый известняк, синяя плита, плотный, мощность 12—17 см, средняя — 13 см;

слой  $B$  — горючий сланец коричневого цвета; мощность 50—68 см, средняя — 51 см; с включениями битуминозного известняка, составляющими около 7% от мощности данного слоя. Сланец содержит сравнительно много пиритной серы; теплота сгорания его 3610—4010 ккал/кг. Развитая трещиноватость, особенно в нижней части слоя, значительно ослабляет его прочность. Слой  $B$  дает основную массу товарного сланца крупных классов;

прослойк  $C/B$  — битуминозный известняк, называемый «кулак», темновато-серого цвета, плотный, с включениями кристалликов гипса и ракушек; содержит до 10% органического вещества; мощность 7—14 см, средняя — 10 см;

слой  $C$  — горючий сланец коричневатобурого цвета, мощность 29—48 см, средняя — 31 см, пласт содержит большое количество мелких включений битуминозного известняка (до 15%), имеющих вытянутую чичевицеобразную форму; слой раздроблен мелкими неправильными трещинами, рыхлый и легкоразрушаемый; средняя теплота сгорания сланца 2570 ккал/кг. Этот слой дает основную массу товарного сланца мелких классов;

прослойк  $D/C$  — плотный двухслойный известняк, имеет голубовато-серый цвет, легко отделяется от слоя  $C$  и постепенно, на протяжении 2—3 см, переходит в сланец слоя  $D$ ; мощность 20—25 см, средняя — 24 см;

слой  $D$  — горючий сланец желтовато-серого цвета, мощность 10—15 см, средняя — 13 см, местами содержит тонкие включения известняка; трудно отделяется от заключающих его породных прослоек; средняя теплота сгорания сланца 3240 ккал/кг;

прослойк  $E/D$  — битуминозный известняк, имеет розоватый цвет, мощность 7—15 см, средняя — 13 см, содержит до 10% органического вещества;

слой  $E$  — горючий сланец светло-коричневого цвета, мощность 30—45 см, средняя — 39 см, с высоким содержанием органического вещества; содержит включения битуминозного известняка, количество которых достигает в среднем 13,6% мощности данного слоя; включения имеют форму прерывных прослоек толщиной до 7 см; слой  $E$  характеризуется наличием микротрещин, стенки которых покрыты налетами пирита; кровля слоя не имеет ясно выраженного

контакта с вышележащим слоем; средняя теплота сгорания сланца 3650 ккал/кг;

слой *F* — горючий сланец буровато-коричневого цвета, содержит большое количество включений известняка, тесно сросшихся со сланцем и поэтому трудно поддающихся обработке; мощность 0,7—1,0 м, средняя — 91 см. В нижней части слоя (мощностью до 30 см) включения известняка, составляющие до 50% мощности, представлены двумя-тремя почти непрерывно прослеживающимися и сросшимися со сланцем прослойками. Эта часть слоя очень монолитная, трудно обрабатываемая. В средней части (мощностью 30—35 см) включений меньше (около 19% по мощности), и они представлены узкими линзообразными прослойками. В верхней части (мощностью до 25 см) содержание включений увеличивается до 37%; теплота сгорания сланца колеблется от 1800 до 2400 ккал/кг, средняя — 2160 ккал/кг.

К западу и югу от центральной части месторождения общая мощность промышленного пласта несколько уменьшается. Мощность нижних слоев сланца (*A*, *B* и *C*) в направлении с запада на восток, как правило, увеличивается, а мощность верхних слоев (*D*, *E* и *H*) уменьшается; исключения составляют лишь слои *F* и *G*, максимальная мощность которых приурочена к центральной части. Колебания мощности по отдельным районам месторождения характеризуются данными табл. 9.

Как видно из данных табл. 9, слои горючего сланца являются маломощными и нечистыми. Среднее содержание известняковых включений в слоях *A—E* составляет 11%, а в слое *F* — 39% его мощности. Тесное прорастание горючего сланца породой является характерным для всего Прибалтийского бассейна и, естественно, осложняет добычу сланца и последующее его обогащение.

Усредненная качественная характеристика горючего сланца Центрального района месторождения приведена в табл. 10.

Как видно из данных табл. 10, лучшими по качеству являются сланцевые слои *B* и *E*, содержащие более 40% органического вещества, наиболее бедными — слои *C* и *F*, в которых довольно много известняковых включений.

Средняя плотность слоя *F* колеблется от 1,55 до 1,80 т/м<sup>3</sup>; остальных слоев — от 1,53 до 1,62 т/м<sup>3</sup>, что обусловлено содержанием известняковых включений и естественной влажностью. Средняя плотность известняковых прослоек колеблется в пределах 2,2—2,5 т/м<sup>3</sup>.

Ленинградское месторождение расположено в северо-западной части Ленинградской области и захватывает часть Псковской области. Оно является восточным крылом Прибалтийского сланцевого бассейна. Простирается месторождение в широтном направлении примерно на 70 км и в меридиональном — на 25—30 км. Площадь распространения равна около 4 тыс. км<sup>2</sup>; разделена р. Плюссой на две неравные части: Левобережье и Правобережье. Площадь Левобережья (разведанная) составляет 500 км<sup>2</sup>, Право-

Колебание мощности сланцевых слоев и породных прослоев по отдельным районам Эстонского месторождения Прибалтийского сланцевого бассейна [10], м

Индекс слоя	Районы											
	Западный				Центральный				Восточный			
	горючий сланец			прослой	горючий сланец			прослой	горючий сланец			прослой
	максимальная	минимальная	средняя		максимальная	минимальная	средняя		максимальная	минимальная	средняя	
<i>H</i> . . . . .	0,43	0,08	0,25	0,19	0,25	0,10	0,17	0,23	0,27	0,10	0,15	0,24
<i>G</i> . . . . .	0,35	0,06	0,17	0,10	0,30	0,10	0,26	1,11	0,39	0,06	0,25	1,05
<i>F</i> . . . . .	1,05	0,45	0,72	0,05	1,00	0,70	0,90	—	0,98	0,19	0,55	1,05
<i>E</i> . . . . .	0,97	0,37	0,56	0,10	0,45	0,30	0,39	0,13	0,34	0,14	0,27	0,05
<i>D</i> . . . . .	0,35	0,08	0,16	0,25	0,15	0,10	0,13	0,24	0,05	—	0,03	0,12
<i>C</i> . . . . .	0,45	0,14	0,26	0,05	0,48	0,29	0,37	0,10	0,52	0,35	0,45	0,18
<i>B</i> . . . . .	0,42	0,06	0,11	0,08	0,68	0,50	0,55	0,13	0,78	0,50	0,69	0,07
<i>A<sub>1</sub></i> . . . . .	0,33	0,08	0,08	0,04	0,12	0,05	0,07	0,04	0,15	0,10	0,14	0,15
<i>A</i> . . . . .			0,09		0,22	0,11	0,19		0,20	0,11	0,13	0,01
Итого <i>A—E</i> . . . . .			1,26	0,52			1,70	0,64			1,71	0,53
<i>A—F</i> . . . . .			1,98	0,57			2,60	0,64			2,26	0,58
<i>A—H</i> . . . . .			2,40	1,86			3,03	1,98			2,66	1,87

Усредненная качественная характеристика горючего сланца  
Центрального района Эстонского месторождения Прибалтийского сланцевого  
бассейна [10]

Индекс слоя	Мощность, см	На абсолютно сухую массу			При естественной влаж- ности $W_p = 10\%$	
		теплота сгорания, ккал/кг	содержание органиче- ского веще- ства, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от орга- нического ве- щества), %	теплота сгорания, ккал/кг	производитель- ность пласта, т/м <sup>2</sup> (по факти- ческому выходу горной массы)
<i>F</i> . . . . .	90	2160	24,2	15,7	1950	1,5
<i>E</i> . . . . .	39	3650	41,0	26,7	3290	0,7
<i>E/D</i> . . . . .	13	630	7,6	4,9	560	0,3
<i>D</i> . . . . .	13	3240	36,5	23,7	2920	0,2
<i>D/C</i> . . . . .	24	130	1,5	1,0	120	0,6
<i>C</i> . . . . .	37	2570	28,9	18,9	2310	0,6
<i>C/B</i> . . . . .	10	630	7,6	4,9	560	0,2
<i>B</i> . . . . .	55	3610	40,6	26,4	3250	0,9
<i>B/A</i> . . . . .	13	630	7,6	4,9	560	0,3
<i>A</i> . . . . .	30	3060	34,4	22,4	2760	0,5
<i>A — F</i> . . . . .	При выемке полезной мощности пла- ста				2620	4,0
<i>A — F</i> . . . . .	При валовой выемке всей рабочей мощности пласта				2050	5,4
<i>A — F</i> . . . . .	То же, с выработкой 65% породы (куски >125 мм)				2400	4,6
<i>A — E</i> . . . . .	При выемке полезной мощности пла- ста без слоя <i>F</i> (существующий спо- соб выемки)				3050	2,4

бережья — более 5 тыс. км<sup>2</sup>, в том числе разведанная — 323 км<sup>2</sup> и охваченная поисками — 920 км<sup>2</sup>.

Границы Ленинградского месторождения установлены только с северной и восточной его сторон. Северная граница проходит от р. Нарвы до р. Луги, восточная — по рекам Луге и Сабе до Сяб-озера.

Граница месторождения на западе и юге условная, поскольку промышленная сланценосность на западе переходит в Эстонское месторождение, на западе граница проведена по берегу Чудского озера и р. Нарве, на юге — по изогипсе 150 м подошвы промышленного пласта горючих сланцев.

Ленинградское месторождение горючих сланцев располагает двумя водоносными горизонтами, из которых нижний приурочен

к песчаным толщам среднего кембрия и нижнего ордовика и к известнякам ордовика. Мощность горизонта достигает 150 м.

Верхний горизонт охватывает водоносные песчаные и доломитово-известняковые горизонты среднего и верхнего девона. Его суммарная мощность — до 50 м (Ленинградское месторождение) и до 100 м (Чудово-Бабинское месторождение).

Особенностью рельефа территории месторождения является Везенбергский уступ, к югу от которого находится Гдовское плато, а севернее от него расположена заболоченная равнина. Здесь известно три крупных низинных болота. В районе месторождения много рек и озер.

Строение промышленного пласта Ленинградского месторождения имеет большое сходство со строением промышленного пласта Эстонского месторождения. Различие обусловлено лишь изменением мощности слоев горючего сланца, которое на Ленинградском месторождении в 1,5—2 раза меньше, чем на Эстонском.

Геологический разрез промышленного пласта горючих сланцев Ленинградского месторождения показан на рис. 7.

Как видно из рисунка, промышленный пласт представляет собой переслаивание четырех слоев горючего сланца с известняками.

I-й слой — горючий сланец темно-коричневого цвета. Он включает значительное количество конкреций длиной до 0,5—0,6 м, толщиной до 0,1 м; мощность слоя колеблется от 0,46 до 1,37 м. Содержание конкреций в слое достигает 50% мощности, среднее — 25%. В нижней части слоя размещен прослой известняка мощностью 0,02—0,15 м. I слой соответствует слоям D и E Эстонского месторождения.

Плита — светло-серый слабоглинистый известняк, однослойный или двухслойный, мощность его 0,14—0,45 м, средняя — 0,24—0,27 м.

II слой — горючий сланец, довольно чистый, богатый органическим веществом, темно-коричневого цвета, содержит белые известковистые цилиндрические включения до 2 мм в диаметре; мощность

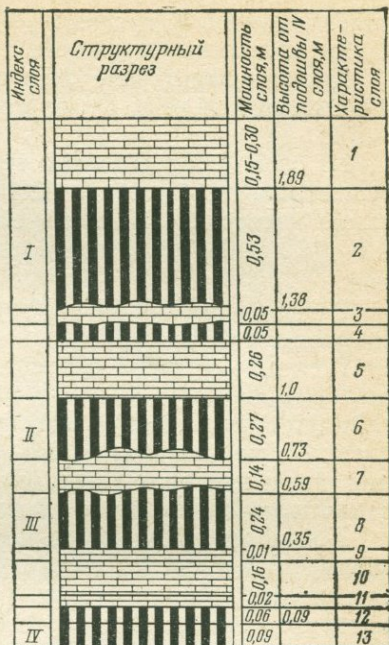


Рис. 7. Геологический разрез промышленного пласта горючих сланцев Ленинградского месторождения (по Е. Г. Шаховой):

1, 3, 10 — известняк; 2 — горючий сланец желтовато-коричневого цвета с конкрециями; 4, 12 — глинистый сланец; 5 — известняк, плита; 6 — горючий сланец коричнево-бурого цвета; 7 — известняк битуминозный, кулак; 8 — горючий сланец коричневого цвета; 9 — известняк глинистый; 13 — горючий сланец

пласта 0,1—0,5 м, средняя — 0,2—0,25 м. II слой соответствует слою С Эстонского месторождения.

Кулак — глинистый желтовато-серый известняк, залегающий в виде линзовидных глыб; мощность 0,04—0,25 м, средняя — 0,1—0,15 м.

III слой — более чистый горючий сланец, богатый органическим веществом, коричневатого или серовато-коричневого цвета. Пласт лишен известняковых включений; мощность 0,09—0,45 м, средняя — 0,2—0,22 м. III слой параллелен слою В Эстонского месторождения.

Разделяющий слой — голубовато-серый глинистый известняк мощностью 0,06—0,40 м.

IV слой — горючий сланец, несколько более глинистый, чем вышележащий слой. Состоит из двух пачек: нижняя представлена глинистой разновидностью бурого цвета, верхняя — мергелистым сланцем; мощность слоя 0,9—0,12 м. К востоку и югу от центральной части месторождения она снижается до 0,04 м. Этот слой соответствует слоям А и А<sub>1</sub> Эстонского месторождения.

Почва промышленного пласта — глинистый известняк; общая мощность в пределах Ленинградского месторождения 1,43—3,25 м, суммарная мощность всех слоев горючего сланца 0,76—2,08 м, средняя — около 1,0 м, глубина залегания 40—145 м.

Наиболее близко к поверхности промышленный пласт залегает на Северном участке Левобережья. Здесь средняя мощность вскрытия составляет 22,6 м, общая мощность — 2,2 м (от 1,93 до 2,85 м), из них суммарная мощность горючих сланцев — 1,28 м (от 0,70 до 2,24 м); мощность прослоев известняков в промышленном пласте 0,1—0,26 м; глубина залегания подошвы нижнего слоя горючих сланцев изменяется от 10,2 до 33,8 м.

Колебания мощности пластов горючего сланца по участкам Ленинградского месторождения приведены в табл. 11.

По пластам Западного участка горючий сланец Ленинградского месторождения имеет среднюю плотность (в т/м<sup>3</sup>): I—1,96; II—1,70; III—1,58; IV нижний—1,78. Естественная влажность горючих сланцев изменяется от 1,7% (II слой) до 3,9% (I слой).

Усредненная качественная характеристика горючего сланца Западного участка приведена по Е. Г. Шаховой и А. П. Сиверцеву в табл. 12 [95, 124].

Как видно из табл. 12, технические свойства горючих сланцев меняются в значительных пределах. Зольность горючих сланцев промышленного пласта составляет в среднем 48—50%, а I и IV слоев — гораздо выше. Содержание углекислоты увеличивается в верхней части промышленного пласта. Например, среднее содержание CO<sub>2</sub> в I слое колеблется от 17 до 19%, а в остальных — от 9,3 до 14,4%. Содержание летучих в I слое ниже, чем в других.

В среднем по месторождению теплота сгорания горючего сланца выше 2000 ккал/кг. Самой высокой калорийностью обладают сланцы III слоя.

Колебание мощности сланцевых слоев и породных прослоев по отдельным участкам Ленинградского месторождения Прибалтийского сланцевого бассейна, м

Индекс слоя	Участки месторождения										
	Западный				Центральный			Криволукский			
	горючий сланец			прослой	горючий сланец		прослой	горючий сланец			прослой
	максимальная	минимальная	средняя		максимальная	минимальная		максимальная	минимальная	средняя	
I (верхний) . . . . .	1,10	0,43	0,81	0,28	0,85	0,45	0,12—0,45	0,90	0,45	0,66	0,27
I (нижний) . . . . .	0,12	0,01	0,05	0,05	0,10	0,01	0,02—0,15	0,10	0,04	0,06	0,06
II . . . . .	0,50	0,20	0,34	0,25	0,45	0,15	0,15—0,40	0,40	0,10	0,30	0,25
III . . . . .	0,45	0,15	0,30	0,16	0,45	0,10	0,03—0,22	0,40	0,10	0,28	0,11
IV (верхний) . . . . .	0,15	0,03	0,08	0,16	0,12	0,02	0,06—0,28	0,10	0,03	0,07	0,17
IV (нижний) . . . . .	0,20	0,05	0,09	0,03	0,12	0,05	0,01—0,04	0,12	0,03	0,09	0,04
Общая мощность промышленного пласта (с ложной кровлей) . .	3,25	1,47	2,60	—	—	—	—	2,85	1,78	2,36	—
Суммарная мощность чистого сланца . . . .	2,08	1,01	1,67	—	—	—	—	1,99	1,07	1,46	—

Усредненная качественная характеристика горючего сланца  
Западного участка Ленинградского месторождения Прибалтийского  
сланцевого бассейна

Индекс слоя	Мощность, см	На абсолютно сухую массу			При естественной влаж- ности $W_p = 3,9\%$	
		теплота сгорания, ккал/кг	содержание органиче- ского веще- ства, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от орга- нического ве- щества), %	теплота сгорания, ккал/кг	производитель- ность пласта (по фактиче- скому выходу горной массы), т/м <sup>2</sup>
I	86	2600	29,3	19,1	2500	1,5
II	34	3910	44,0	28,6	3760	0,6
III	30	4447	49,9	32,4	4270	0,5
IV	17	3341	37,5	24,4	3210	0,3

Анализ технических показателей позволяет отдать предпочтение горючему сланцу III слоя. Несколько худшего качества сланец II слоя, и наиболее низким качеством отличаются сланцы IV и I слоев.

Веймарнское месторождение горючих сланцев расположено в 120 км к юго-западу от Ленинграда близ ст. Веймарн.

Месторождение находится в западной части ордовикского плато, которое, постепенно снижаясь к югу, почти у самой границы месторождения переходит в низину, где сохранились девонские отложения.

Поверхность территории месторождения ровная, местами слегка всхолмленная: к северу и востоку выделяются отдельные холмы, сложенные четвертичными отложениями высотой 5—7 м.

В геологическом строении месторождения принимают участие главным образом породы ордовика и частично девона. Коренные породы почти повсеместно прикрыты донной мореной и реже флювиогляциальными песками четвертичного возраста мощностью от 0,5 до 5 м. Новочетвертичные образования в виде торфа имеют ограниченное распространение.

На площади сланцевых залежей поверхностные воды развиты слабо. Месторождение пересекают небольшие речки. Расход воды в них колеблется от 20 до 700 м<sup>3</sup>/ч. Питание речек происходит за счет ключевых вод и частично болот.

Разведанными в настоящее время являются три участка месторождения: Веймарнский, Алексеевский и Опольский.

Промышленный пласт горючих сланцев приурочен к низам кукерского горизонта. Вмещающими его породами являются кукерские известняки мощностью 15,8 м.

Промышленный пласт состоит из трех слоев горючих сланцев, переслаивающихся с известняками:

I слой (рабочий) — горючий сланец; средняя мощность 0,32 м; содержит много конкреций сапропелитового известняка (до 35—55% от мощности).

Плита — известняк мощностью от 0,33 до 0,40 м (средняя — 0,36 м);

II слой — горючий сланец, более богатый; содержит меньше известковистых включений, представляющих тонкие трубочки.

Кулак — прослой известняка мощностью от 0,07 до 0,17 м (средняя — 0,12 м).

III слой — горючий сланец, характеризующийся наиболее высоким качеством, практически не содержит известковистых включений; мощность слоя колеблется от 0,13 до 0,17 м, средняя — 0,16 м.

В табл. 13 приведены данные по Е. Г. Шаховой, характеризующие колебание мощности сланцевых пластов по Опольскому участку Веймарнского месторождения, естественную влажность и среднюю плотность горючего сланца [124].

Таблица 13

Изменение мощности слоев, естественной влажности и плотности горючих сланцев Опольского участка Веймарнского месторождения Прибалтийского сланцевого бассейна

Индекс слоя	Мощность, м				Естественная влажность $W_p$ , %	Плотность, $t/m^3$
	горючий сланец			прослой		
	максимальная	минимальная	средняя	средняя		
I	0,40	0,25	0,32	0,36	1,96	1,54
II	0,39	0,35	0,37	0,12	3,07	1,40
III	0,20	0,13	0,17		2,53	1,50

Как видно из табл. 13, особенностью Веймарнского месторождения по Опольскому участку, отрицательно сказывающейся на его оценке, является невыдержанность по мощности. Суммарная средняя мощность промышленного пласта по месторождению (включая известняки) колеблется от 1,14 до 1,21 м, средняя — 1,12 м, в том числе горючего сланца — 0,5 м.

Общая глубина залегающих кровли промышленной пачки от поверхности изменяется от 0,50 до 24 м, достигая наибольшей величины в восточной и южной частях месторождения.

Данные по усредненной качественной характеристике горючего сланца Опольского участка Веймарнского месторождения по Е. Г. Шаховой приведены в табл. 14 [124].

Таблица 14

Усредненная качественная характеристика горючего сланца Опольского участка Веймарнского месторождения Прибалтийского сланцевого бассейна

Индекс слоя	Мощность, см	На абсолютно сухую массу			При естественной влажности $W_p = 3,1\%$	
		теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %	теплота сгорания, ккал/кг	производительность пласта (по фактическому выходу горной массы), т/м <sup>2</sup>
I	32	2510	28,2	18,3	2430	0,6
II	37	3027	34,0	22,1	2930	0,3
III	17	3785	42,6	27,7	3670	0,7

Чудово-Бабинское месторождение расположено в пределах Чудовского и Тосненского районов Ленинградской области. В целом месторождение не оконтурено. Разведочными работами установлено, что в 30 км восточнее и в 30 км западнее разведанной площади промышленный пласт переходит в примазки сланца, а к северу от разведанного участка наблюдается генетическое выклинивание горючих сланцев. В южном направлении мощность сланцевых слоев увеличивается.

Территория месторождения ровная. В ее пределах протекает р. Равань и расположено несколько небольших болот.

Гидрогеологические условия месторождения довольно сложные — имеются три водоносных горизонта. На обводнение месторождения оказывают влияние воды, циркулирующие по трещинам, пересекающим толщу горных пород.

Подземные воды напорные. Увеличение напора происходит в направлении падения пород. В северной части месторождения водонапор составляет 3,5 кгс/см<sup>2</sup>, а в южной — 8—10 кгс/см<sup>2</sup>.

Промышленный пласт Чудово-Бабинского месторождения состоит из трех слоев горючих сланцев: I слой мощностью от 0,10 до 0,21 м (средняя — 0,15 м); II слой мощностью от 0,38 до 0,80 м (средняя — 0,60 м).

I и II слои горючих сланцев разделяются прослойком известняка мощностью от 0,5 до 1,0 м, средняя — 0,84 м.

III слой находится на 4,2 м ниже II слоя; его мощность колеблется от 0,10 до 0,45 м, средняя — 0,30 м.

Суммарная мощность промышленного пласта 1,6 м. В пределах разведанной площади промышленный пласт хорошо выдержан по мощности. Глубина залегания пласта достигает 87—141 м и увеличивается на юго-восток.

Качественная характеристика горючих сланцев Чудово-Бабинского месторождения та же, что и горючих сланцев Ленинградского месторождения.

Теплота сгорания сланцев колеблется от 2500 до 3000 ккал/кг.

### Волжский сланцевый бассейн

Волжский сланцевый бассейн расположен на востоке европейской части СССР. Территория его занимает ряд областей и автономных республик Среднего Поволжья и западной части Казахской ССР.

Площадь бассейна находится в восточной части Русской платформы, фундамент которой слагается древними докембрийскими породами, погружающимися в сторону Прикаспийской впадины.

Северная часть бассейна размещена в пределах Московской синеклизы, вытянутой в северо-восточном направлении. К югу от нее находится Токмовский свод — довольно крупная антеклиза, вытянутая в северо-западном направлении. На юго-востоке Токмовский свод ограничен Ульяновско-Саратовской синеклизой северо-восточного простирания.

В бассейне р. Волги, к востоку от Токмовского свода, расположен Жигулевско-Пугачевский свод широтного простирания, к юго-востоку от которого размещен юго-восточный склон Русской платформы, полого погружающийся в сторону Прикаспийской синеклизы.

Положение основной сланценосной толщи бассейна в разрезе постоянное. Мощность сланценосных отложений колеблется от 48—50 м на Озинковском месторождении до 0,9—4,7 м на Усольском месторождении. Коэффициент сланценосности на Озинковском месторождении составляет 25%, на Чернозатонском — 10%.

Общей закономерностью для Волжского бассейна является уменьшение мощности сланценосной толщи с юго-востока на северо-запад. С увеличением мощности толщи сланценосность ее уменьшается. Так, например, от подошвы нижнего сланцевого пласта до кровли верхнего в районе Кашпир-Ульяновск из 5 м общей мощности толщи на долю горючих сланцев приходится 2,5 м, а в районе Озинок из 48 м общей мощности толщи на горючие сланцы приходится 11 м.

Западная граница Волжского бассейна проходит по западному склону Приволжской возвышенности, восточная — по правобережью р. Волги, к югу переходя на левый берег р. Волги к западным отрогам Общего Сырта. Площадь бассейна достигает 350 тыс. км<sup>2</sup>. Если принять среднюю мощность сланценосной толщи 10 м и коэффициент сланценосности 10%, то потенциальные запасы горючих

сланцев Волжского бассейна, вероятно, составляют не менее 500 млрд. т со средним содержанием органического вещества 20%.

Горючие сланцы Волжского бассейна сапропелевые, слабоизвестковистые, серовато-бурого или серого с буроватым оттенком цвета, крепкие, плитчатые, иногда слабослюдистые. Содержание  $\text{CaCO}_3$  в них достигает 5—10%; терригенная часть сланца колеблется от 45 до 80—85%, плотность — от 0,91 до 2,24 г/см<sup>3</sup>, теплота сгорания — от 1686 до 2583 ккал/кг.

На долю органического вещества в сланце приходится от 15 до 30% массы. Оно имеет различные оттенки желтого цвета, образует скопления удлиненной, иногда линзовидной формы. Соотношение органического вещества сапропелевого и гумусового типов в различных образцах сланца неодинаково, но преобладает обычно сапропель. Теплота сгорания на абсолютно сухую массу — 7500—7945 ккал/кг.

Минеральная масса представлена тонкодисперсным глинистым веществом, равномерно распределенным по породе, мелкими зернами кальцита и редкими ромбоэдрами доломита. Алевритовый материал представлен единичными зернами кварца, полевых шпатов, листочками гидрослюды и ярко-зелеными зернами глауконита. Пирит (около 3—5%) распределен по всей породе в виде мельчайших зерен, а также образует более крупные скопления до 0,15 мм.

Волжский сланцевый бассейн в гидрографическом отношении принадлежит к бассейнам р. Волги с ее притоками. Наибольшее количество осадков выпадает в июле и августе. В Заволжье среднее количество осадков не превышает 270—300 мм.

На площади бассейна выделяют семь водоносных комплексов: водоносный комплекс четвертичных отложений содержит ряд водоносных горизонтов; подземные воды залегают на глубине 8—25 м;

водоносный комплекс неогеновых отложений включает 3—5 водоносных горизонтов со значительным напором вод;

водоносный комплекс палеогеновых отложений неводообилен;

водоносный комплекс меловых отложений содержит порово-пластовые и трещинно-пластовые воды, обладающие иногда напором;

водоносный комплекс юрских отложений располагается на глубине 103—143 м; воды безнапорные и напорные с дебитом 1—2 л/с;

водоносный комплекс триасовых отложений является водообильным с дебитом 1 л/с;

водоносный комплекс палеозойских отложений залегают на больших глубинах и имеет напорный характер;

карбонный водоносный комплекс имеет высокодебитные воды с удельным дебитом 10—30 м<sup>3</sup>/ч.

Гидрогеологические условия Волжского бассейна благоприятны для ведения горных работ. Обводненность сланценосных отложений слабая: как продуктивные, так и перекрывающие их породы содержат слабоводоносные горизонты, однородные по фильтрационным

свойствам. Удельный дебит сланценосной толщи на Савельевском месторождении 0,003—0,15 л/с, максимальный — 1,5 л/с.

В Волжском сланцевом бассейне выделяют семь групп месторождений горючего сланца. В настоящее время разрабатывается только Кашпирское месторождение Сызранской группы.

### Сызранская группа месторождений

Сызранская группа месторождений расположена на территории Куйбышевской, Саратовской и Ульяновской областей, включает Кашпирское месторождение и месторождение Самарской Луки.

Кашпирское месторождение находится в 12 км южнее г. Сызрани и в 3 км к юго-востоку от пос. Кашпир. Оно занимает возвышенную часть правобережья р. Волги.

Стратиграфический разрез отложений месторождения показывает, что сланценосная толща размещена в северной части месторождения на глубине от 60 м и в южной — на глубине до 300 м; залегание ее почти горизонтальное, со слабым падением на юг. На разведанной площади 237 км<sup>2</sup> мощность сланцевой толщи изменяется от 5 до 7 м; продуктивная сланценосная толща содержит шесть пластов горючих сланцев:

VI пласт (нижний) является монолитным; мощность его от 0,05 до 1 м;

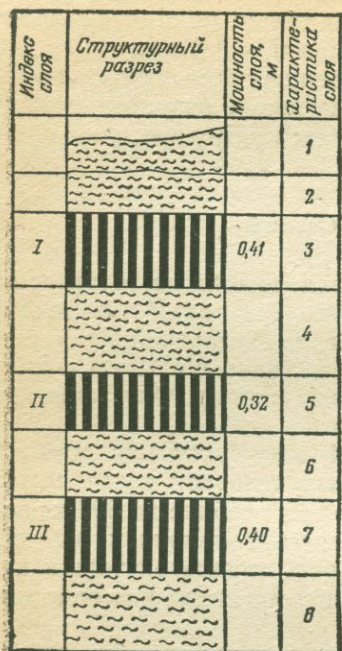
V пласт залегает на 0,3—1,0 м выше VI пласта; мощность его изменяется от 0,05 до 0,1 м;

IV пласт залегает на 1—2 м над V пластом; прослойком между ними служит глина;

III пласт отделен от IV пласта прослойком плотной глины толщиной 0,3—0,5 м; средняя мощность пласта 0,3 м; местами пласт однороден, местами имеет сложное строение;

II пласт залегает на 1,2 м выше III пласта; суммарная мощность его изменяется от 0,32 до 4,2 м; распространен повсеместно и состоит из трех слоев: нижний мощностью 0,05—0,58 м сложен сильноглинистым горючим сланцем, часто переходящим в сапропелевую глину; средний отделен от нижнего известковистой глиной толщиной от 0,14 до 0,95 м, развит повсеместно, представлен темно-коричневым сланцем мощностью от 0,05 до 0,47 м; верхний слой расположен выше среднего на 0,05—1,7 м, прослеживается по всему месторождению, мощность его изменяется от 0,08 до 0,5 м, сложен темно-коричневым сланцем. Между I и II пластами находится слой глины толщиной 0,4—0,6 м;

I пласт имеет мощность от 0,27 до 0,58 м; на некоторых участках месторождения его мощность достигает 1 м; сланец светло-коричневого цвета, в нижней части переходящий в коричневый; верхняя часть пласта плотная, известковистая, нижняя — тонкослоистая, легко расщепляющаяся.



На разрабатываемых участках месторождения горючие сланцы добываются только из трех пластов I, II и III, хотя III пласт считается нерабочим (рис. 8).

Изменение мощности сланцевых пластов, естественной влажности и плотности горючих сланцев промышленной пачки приведено в табл. 15.

Усредненная качественная характеристика горючего сланца промышленной пачки приведена по Г. В. Явтухе в табл. 16 [132].

Месторождение Самарской Луки относится к нижневолжскому

Рис. 8. Геологический разрез промышленного пласта горючих сланцев в южной части Кашпирского месторождения (по Г. В. Явтухе):

1, 4, 6, 8 — известковистая глина; 2 — глина; 3 — горючий сланец желтовато-бурого цвета; 5 — горючий сланец темно-коричневого цвета; 7 — горючий сланец

Таблица 15

Характеристика пластов промышленной пачки Кашпирского месторождения Волжского сланцевого бассейна

Место отбора, вид пробы	Индекс пласта	Средняя мощность, м	Естественная влажность рабочего сланца, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Шахта № 1, пластово-дифференциальная	I	0,40	16,2	1,54
	II	0,30	22,0	1,64
	III	0,35	21,2	1,65
	I + II + III	1,05	19,9	—
Шахта № 3, пластово-дифференциальная	I	0,45	19,4	1,49
	II	0,28	19,3	1,51
	III	0,36	21,3	1,50
	I + II + III	1,09	20,0	—
Шахта № 5/6, пластово-дифференциальная	I	0,38	19,7	1,47
	II	0,26	21,1	1,54
	III	0,35	21,3	1,59
	I + II + III	0,99	20,7	—

Усредненная качественная характеристика горючего сланца  
Кашпирского месторождения Волжского сланцевого бассейна

Индекс пласта	Мощность, см		На абсолютно сухую массу			При естественной влажности		
	максимальная	минимальная	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %	теплота сгорания, ккал/кг	производительность пласта (по фактическому выходу горной массы), т/м <sup>2</sup>	
							максимальная	минимальная
I	80	10	2583	33,5	21,8	2510	1,5	0,2
II верхний слой	50	8	2402	31,2	20,3	2330	1,0	0,2
II средний слой	95	14	2178	28,3	18,4	2110	1,9	0,3
II нижний слой	58	5	1685	22,0	14,3	1640	1,3	0,1

ярусу, оно мало изучено; на отдельных участках мощность сланцевого пласта достигает 3,4—4,1 м, полезная мощность 0,85 м. Пласт состоит из четырех слоев горючего сланца мощностью 0,25; 0,35; 0,15 и 0,1 м; слои разделены глинистыми прослойками. Средняя теплота сгорания на сухую массу 2100 ккал/кг.

#### Кировская группа месторождений

Сланценовые отложения Кировской группы месторождений распространены в бассейне верхнего течения р. Вятки и ее притоков. Разведанными являются два месторождения: Синегорское и Воронеж-Волосковское.

Синегорское месторождение находится на правом берегу р. Кобры в 150 км к северу от ст. Слободское.

Сланценовость месторождения связана с нижеволжским ярусом и распространяется на площади 90 км<sup>2</sup>.

Сланценовый пласт включает до шести слоев горючего сланца, разделенных глинистыми прослойками; залегают на глубине от 58,4 до 72,4 м. Суммарная мощность сланцевых слоев в пласте достигает 7,2 м, общая мощность глинистых прослоев 4,6 м.

К востоку и западу от с. Синегорье прослежено уменьшение мощности сланцевого пласта и числа слоев горючего сланца. Так, в 5 км к юго-востоку число сланцевых слоев сокращается до четырех, а их общая мощность — до 3 м. Резкое изменение строения сланцевого пласта наблюдается и в южном направлении, где встречено только два сланцевых слоя мощностью 0,29 и 0,04 м. Общая мощность пласта 2,8 м.

Воронье-Волосковское месторождение находится в 60 км к западу от ст. Кирс, на правом берегу р. Черной Холуницы.

Сланценосный пласт залегает горизонтально на глубине от 2,8 до 42,7 м, распространен на площади более 100 км<sup>2</sup>; сложен чередующимися прослоями глин и слоями горючего сланца; мощность не выдержана и изменяется от 6,6 до 12 м.

Сланценосный пласт содержит три слоя горючего сланца: нижний слой представлен коричневато-серым тонкослоистым горючим сланцем мощностью от 1,0 до 2,6 м (средняя — 2,3 м); средний слой представлен зеленовато-серым горючим сланцем мощностью от 0,65 до 3,3 м (средняя — 2,3 м); верхний слой представлен темно-серым горючим сланцем мощностью от 1,0 до 2,5 м (средняя — 2 м); отделен от среднего слоем глины толщиной 0,80—1,5 м.

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Кировской группы приведена по Г. В. Явтухе в табл. 17 [133].

Таблица 17

Усредненная качественная характеристика горючего сланца Синегорского месторождения Кировской группы Волжского сланцевого бассейна

Индекс слоя	Мощность, м			На абсолютно сухую массу			Теплота сгорания рабочего сланца, ккал/кг
	максимальная	минимальная	средняя	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %	
I	3,90	0,30	1,89	1431	18,6	12,1	1290
II	2,00	1,00	1,50	1374	17,8	11,6	1240
III	2,65	0,56	1,45	2030*	26,4	17,2	1830*

\* Низшая теплота сгорания сланца.

Мантуровская группа месторождений

Мантуровская группа месторождений горючих сланцев находится в Костромской области на водоразделе рек Унжи и Неи от ж.-д. станций Мантурово и Нея на севере до с. Унжа на юге. В эту группу входят Усольское, Голиковское, Ледино-Афанасьевское, Угорское, Поисковое, Семенихинское и Макаровское месторождения.

Сланценосные отложения приурочены к нижневолжскому ярусу, характерной особенностью которого является частое переслаивание горючих сланцев и серых глин.

Глубина залегания сланценосного пласта колеблется в широких пределах: от выхода на поверхность по берегам рек до 40—50 м на водоразделах; мощность пласта от 0,9 до 8 м.

Характерной особенностью залегания сланцевого пласта является увеличение мощности и числа слоев горючего сланца с юга на север. Так, на самых северных участках бассейна мощность пласта достигает 8 м, а число слоев горючего сланца — до 10—11. К югу и юго-западу число сланцевых слоев в пласте уменьшается.

Горючий сланец тонкослоистый, коричневато-бурого цвета. В нижней части пласта развиты толстоплитчатые горючие сланцы темно-серого цвета. Тонкослоистые горючие сланцы имеют гораздо большее содержание органического вещества, чем толстослоистые; менее известковистые и не столь зольные.

Усредненный химический состав органической массы горючих сланцев следующий: С 56,0—61,4%, Н 6,5—8,1%, N 1,3—1,6%, О и S 29,1—33,6%.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по Г. В. Явтухе в табл. 18 [132].

#### Мордовская группа месторождений

Из месторождений горючих сланцев Мордовской группы разведаны два: Горко-Хухаревское и Моревское. Сланценосные пласты этих месторождений относятся к нижеволжскому ярусу. Кроме этих месторождений в бассейне нижнего течения р. Алатыря вскрыты новые нижеволжские сланценосные отложения на глубине 66,3—67,0 м, что свидетельствует о широком распространении по площади залежей горючих сланцев.

Горко-Хухаревское месторождение находится на правом берегу р. Меня, в 45 км к северо-западу от ст. Алатырь.

Сланценосный пласт залегает на глубине от 54 до 108 м, содержит один слой горючего сланца мощностью от 0,03 до 0,65 м (средняя — 0,3 м); теплота сгорания сланца на абсолютно сухую массу колеблется от 620 до 5071 ккал/кг, средняя — 2747 ккал/кг.

Моревское месторождение расположено близ с. Моревка, в 23 км к северо-западу от Горко-Хухаревского месторождения. Геологическое строение месторождения аналогично Горко-Хухаревскому.

Сланценосный пласт залегает на глубине от 19 до 112 м, содержит один слой горючего сланца мощностью от 0,03 до 1,35 м, средняя — 0,49 м; теплота сгорания сланца от 700 до 5110 ккал/кг при средней величине 3226 ккал/кг.

#### Ульяновская группа месторождений

Ульяновская группа месторождений горючих сланцев расположена в Среднем Поволжье на территории юго-западной части Татарской АССР и северной части Ульяновской области.

Разведанная площадь распространения сланценосных отложений составляет около 300 км<sup>2</sup>. На ней выявлено более 10 месторождений горючих сланцев.

Качественная характеристика горючих сланцев Мантуровской группы месторождений Волжского сланцевого бассейна

Индекс слоя	Месторождения				
	Усольское	Голиковское	Ледино-Афанасьевское	Угорское	Поисковое
	На абсолютно сухую массу теплота сгорания, ккал/кг				
I а	4401	3969	3167	3380	4200
б	2078	1964	2275	1890	2640
II а	3205	3907	3187	4402	3017
б	1011	1692	2015	1327	2691
III а	3075	4437	1950	3452	3600
б	1150	592	1702	1750	2584
IV а	3744	3715	2726	2843	3600
б	638	625	1727	1652	—
V а	3397	2330	2900	—	—
б	1248	505	1700	—	—

Индекс слоя	Месторождения				
	Усольское	Голиковское	Ледино-Афанасьевское	Угорское	Поисковое
	На абсолютно сухую массу содержание органического вещества, %				
I а	57,0	51,5	41,3	43,8	54,5
б	27,0	25,4	29,6	24,5	34,3
II а	41,7	50,7	41,5	57,0	39,2
б	13,1	21,9	26,2	17,2	35,0
III а	40,0	57,5	25,3	44,7	46,7
б	14,9	7,8	22,0	22,8	33,5
IV а	48,5	48,3	35,5	36,8	45,7
б	8,3	8,1	22,5	21,4	—
V а	44,2	30,3	37,6	—	—
б	16,3	6,5	22,0	—	—

Индекс слоя	Месторождения				
	Усольское	Голиковское	Ледино-Афанасьевское	Угорское	Поисковое
	На абсолютно сухую массу лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %				
I а	37,1	33,5	26,9	28,5	35,4
б	11,1	16,5	19,2	15,9	22,3
II а	27,1	32,9	26,9	37,1	25,5
б	8,5	14,2	17,0	11,2	22,7
III а	26,0	37,4	16,4	29,1	30,1
б	9,7	5,0	14,3	14,8	21,8
IV а	31,5	31,4	23,1	23,9	29,7
б	5,4	5,3	14,6	13,9	—
V а	28,7	19,7	24,4	—	—
б	10,6	4,2	14,3	—	—

Примечание. а — максимальная величина, б — минимальная величина.

Ундорское месторождение находится на территории Ульяновской области в 30 км к северу от г. Ульяновска.

Сланценосный пласт залегает на глубине от 3,2 до 120,8 м, сложен серыми известковистыми глинами, чередующимися со слоями горючего сланца; мощность пласта от 1,9 до 6,8 м.

Пять верхних слоев горючего сланца в пласте имеют промышленное значение, их общая мощность от 1,05 до 2,5 м.

Захарьевское месторождение находится в 14 км к северу от г. Ульяновска.

Сланценосный пласт залегает на глубине до 132 м, мощность — 4,9 м; включает семь-восемь слоев горючих сланцев общей мощностью от 1,8 до 3,2 м (средняя — 2,2 м).

Рабочими являются три верхних слоя горючего сланца:

I слой (верхний) имеет среднюю мощность 0,56 м; состоит из двух частей, разделенных глиной;

II слой отделен от I глиной толщиной 0,43 м; представлен глинистым горючим сланцем; средняя мощность слоя 0,57 м;

III слой расположен на 0,3 м ниже II, его мощность изменяется от 0,1 до 0,65 м.

Мостовское (Подгородненское) месторождение своей юго-восточной границей непосредственно примыкает к г. Ульяновску.

Сланценосный пласт залегает на глубине от 118 до 225 м; состоит из шести-семи слоев горючего сланца, разделенных глинистыми прослойками; мощность пласта от 2,2 до 6,4 м, мощность слоев горючего сланца от 0,9 до 2,8 м, средняя — 1,8 м; общая толщина прослоек колеблется от 0,05 до 0,9 м.

Бессоновское месторождение расположено на территории Татарской АССР в 4 км к северу от пристани Ундоры, на правом берегу р. Волги.

Сланценосный пласт мощностью от 2,4 до 6 м содержит до семи слоев горючих сланцев общей мощностью от 0,85 до 2,47 м; слои разделены на две пачки: нижняя включает VI и VII слои со средней мощностью соответственно 0,44 и 0,59 м, отделена от верхней прослойкой глины толщиной 0,2—2,5 м; верхняя пачка подразделяется на пять слоев горючего сланца мощностью от 0,45 до 2,03 м.

Кадышевское месторождение находится в 2 км к юго-востоку от с. Кадышево Татарской АССР.

Сланценосный пласт залегает на глубине 30—50 м; его строение такое же, что и на Бессоновском месторождении; мощность от 2,3 до 7,2 м; суммарная мощность сланцевых слоев от 0,22 до 2,56 м, средняя — 1,6 м.

Васильевское месторождение находится в 45—50 км к северо-западу от г. Ульяновска, на правом берегу р. Свяги.

Сланценосный пласт залегает на глубине 60—70 м, его мощность 5,1 м; содержит до девяти слоев горючих сланцев, суммарная мощность которых изменяется от 1,7 до 3,2 м.

Алгаши-Шаймуринское месторождение находится в 55 км к северо-востоку от г. Ульяновска, на левом берегу р. Свияги.

Сланценосный пласт здесь имеет мощность 2,7 м; содержит до пяти слоев горючих сланцев общей мощностью от 1,0 до 1,9 м, средняя — 1,4 м.

Лево-Свияжское месторождение находится на левом берегу р. Свияги в 35—40 км к северу от г. Ульяновска.

Сланценосный пласт залегает на глубине 25—38 м, содержит до семи слоев горючих сланцев суммарной мощностью от 1 до 2 м. Горючие сланцы I и II слоев коричневого цвета, а с III по VII слой — темно-серого цвета.

Ембулатовское месторождение расположено на правом берегу р. Карлы в 55 км к западу от с. Тетюши. Сланценосный пласт мощностью 3 м содержит до пяти слоев горючих сланцев общей мощностью 1,5 м.

Яманчуриинское, Ново-Шаймурзинское и Шумовское месторождения имеют сланценосный пласт мощностью от 2,6 до 4,0 м, который имеет небольшое распространение по площади.

#### Свияжско-Сурская группа месторождений

Свияжско-Сурская группа месторождений горючих сланцев расположена в пределах водораздела между реками Свиягой и Сурой на территории Чувашской АССР. В нее входят Ибресинское, Буинское, Липовское и Вурнарское месторождения.

Сланценосные отложения являются северо-западным продолжением распространения горючих сланцев в Ульяновском районе, залегают на глубине 50—90 м. Мощность их достигает 3 м.

Ибресинское месторождение находится близ ст. Ибреси.

Сланценосный пласт состоит из чередования слоев горючих сланцев и сапропелевых глин, залегает на глубине 85—90 м, в южной части — на глубине до 120 м; мощность пласта от 1,1 до 2,7 м. Пласт заключает два слоя горючих сланцев: верхний представлен темно-серым горючим сланцем, мощность его от 0,16 до 0,84 м, средняя — 0,58 м; нижний состоит из бурого и глинистого горючего сланца, мощность его от 0,1 до 0,3 м. Слои разделены прослойком глины толщиной от 0,24 до 0,9 м.

Горючий сланец верхнего слоя имеет теплоту сгорания от 1991 до 3202 ккал/кг, средняя — 2544 ккал/кг, нижнего слоя — 1500 ккал/кг.

Буинское месторождение находится близ ст. Буинск. Сланценосная толща сложена чередующимися слоями глин и горючих сланцев, залегает на глубине 50—70 м, имеет мощность от 1,2 до 2,7 м.

Сланценосный пласт состоит из четырех слоев сланца:

I слой разделен на две части мощностью 0,2 м каждая; теплота сгорания сланца верхней части 1070 ккал/кг, нижней — 2290 ккал/кг;

II слой мощностью 0,22 м отделен от I прослойком глины толщиной 0,2 м; представлен глинистым горючим сланцем; теплота сгорания сланца 1600 ккал/кг;

III слой расположен на 0,15 м ниже II; средняя мощность его 0,29 м, теплота сгорания сланца 1985 ккал/кг;

IV слой залегает на 0,59 м ниже III; мощность его от 0,07 до 0,79, средняя — 0,23 м; теплота сгорания сланца 970 ккал/кг.

Липовское месторождение расположено в 8—10 км к юго-востоку от разъезда Буинск. Сланценосный пласт залегает на глинах кимериджского возраста; мощность его от 1,8 до 2,7 м. Пласт содержит пять слоев горючих сланцев суммарной мощностью от 0,8 до 1,7 м, коэффициент сланценосности пласта 34,4%. Слои сланца разделены глинистыми прослойками. Горючие сланцы имеют листовое строение, теплота сгорания от 1042 до 3100 ккал/кг.

Шигалинское месторождение находится в 45 км к юго-востоку от ст. Ибреси.

Сланценосный пласт залегает на глубине от 59 до 116 м, мощность его от 0,38 до 3,9 м, содержит четыре слоя горючих сланцев суммарной мощностью 1,6 м; теплота сгорания сланца от 1226 до 3581 ккал/кг.

Вурнарское месторождение расположено в 5 км к северо-западу от ст. Вурнары, разведанная площадь равна 6400 км<sup>2</sup>.

Сланценосный пласт залегает на глубине 18—67 м, содержит два слоя: верхний слой представлен глинистым горючим сланцем черного цвета, мощностью от 0,10 до 0,25 м (средняя — 0,14 м); теплота сгорания сланца от 1969 до 2000 ккал/кг; нижний сложен черным тонкопластинчатым горючим сланцем мощностью от 0,22 до 0,37 м; теплота сгорания сланца от 2750 до 4055 ккал/кг; слои разделены прослойком сидеритового мергеля толщиной 0,1—0,25 м.

#### Общесыртовский сланцевый район

Общесыртовский сланцевый район расположен на территории Куйбышевской, Саратовской и Оренбургской областей. Он занимает водораздельное плато бассейнов рек Бузулука, Большого Иргиза и Чагана.

На площади района расположены месторождения горючих сланцев: в северной части — Торпано-Гришкинское, на юге — Маркаровское, Новониколаевское, Кумраси-Гнедовское, Андреевское, Фитальское и Больше-Черниговское, на юго-западе и западе — Коцебинское, Больше-Глушицкое и Дергуновское, на юго-востоке — Иртек-Ембулатовское.

Сланценосные отложения приурочены к нижней свите нижне-волжского яруса.

Торпано-Гришкинское месторождение находится в 55 км к западу от ст. Бузулук Оренбургской области.

Сланценосная толща мощностью 25 м распространена на площади около 18 км<sup>2</sup> и включает три пласта горючих сланцев:

нижний мощностью 5,2 м объединяет два слоя горючих сланцев мощностью 0,3 м (верхний) и 4,5 м (нижний);

средний расположен на 9,5 м выше нижнего, имеет мощность 2,4 м, включает один или два слоя горючих сланцев суммарной мощностью 2,1 м;

верхний расположен на 8 м выше среднего, мощность его 3,5 м состоит из трех слоев горючих сланцев мощностью 0,5; 1,0 и 0,5 м.

Теплота сгорания сланца нижнего пласта 1000—2867 ккал/кг, среднего — 748—1860 ккал/кг и верхнего — 516—1713 ккал/кг.

Макаровское месторождение находится в 75 км к юго-западу от г. Бузулука, занимает оно площадь 27 км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща содержит три пласта. Ее основанием служит пласт  $P_1$  средней суммарной мощностью 3,6 м; состоит из трех слоев горючих сланцев: слой  $A$  (нижний) средней мощностью 0,5 м, слой  $B$  — 0,3 м, слой  $C$  — 0,7 м;

пласт  $P_2$  средней мощностью 2,8 м расположен на 7,2 м выше пласта  $P_1$ , содержит три слоя горючего сланца, разделенных глинистыми прослойками, мощность слоев горючего сланца колеблется от 0,04 до 1,1 м. Промышленное значение имеет слой  $B$  мощностью 1,1 м;

пласт  $P_3$  лежит на 4,2 м выше пласта  $P_2$ , средняя мощность его 5,8 м, объединяет четыре слоя горючих сланцев, разделенных прослойками сапропелевых глин. Промышленное значение имеет слой  $A$  мощностью 1,1 м.

Новониколаевское месторождение расположено в 70 км юго-восточнее г. Бузулука в Куйбышевской области. Площадь его составляет 28 км<sup>2</sup>.

Средняя мощность сланценосной толщи 23,3 м. Разведочными работами установлены три пласта:

пласт  $P_1$  (нерабочий);

пласт  $P_2$  размещен на 6,1 м выше пласта  $P_1$  и имеет среднюю мощность 3,8 м; содержит три сланцевых слоя, из которых слой  $B$  средней мощностью 0,85 м имеет промышленное значение;

пласт  $P_3$  расположен над пластом  $P_2$  на 5,8 м, состоит из четырех слоев горючих сланцев. Промышленное значение имеет слой  $A$  средней мощностью 0,27 м.

Кумраси-Гнедовское месторождение находится в 1,5 км к югу от Новониколаевского.

Мощность сланцевой толщи достигает 24 м, содержит три пласта:

пласт  $P_1$  (нижний) средней мощностью 3,7 м состоит из трех слоев горючих сланцев средней мощностью от 0,48 до 0,65 м;

пласт  $P_2$  средней мощностью 2,9 м состоит из трех слоев горючего сланца, промышленное значение имеет слой В, средняя мощность которого 1,2 м;

пласт  $P_3$  размещен на 3,4 м выше пласта  $P_2$ , средняя мощность его 6,1 м; содержит четыре слоя горючих сланцев, из которых промышленную ценность имеет слой А средней мощностью 0,57 м.

Андреевское (Сергеевское) месторождение находится в 1,5 км к юго-востоку от Новониколаевского.

Сланценосная толща состоит из трех пластов горючих сланцев:

пласт  $P_1$  имеет мощность от 1 до 5 м, включает три слоя горючего сланца;

пласт  $P_2$  лежит выше пласта  $P_1$  на 5,5 м, средняя мощность его 2—3 м; объединяет два слоя горючих сланцев, из них нижний мощностью 0,6 м, верхний — 0,9 м;

пласт  $P_3$  расположен на 5 м выше пласта  $P_2$ , имеет мощность 4—7 м; состоит из трех слоев горючих сланцев. Промышленное значение имеет нижний слой А мощностью 1,5 м.

Фитальское месторождение находится в 100 км к юго-западу от ст. Бузулук.

Сланценосная толща распространена на площади 90 км<sup>2</sup>, залегает на глубине 15—17 м, включает несколько пластов горючих сланцев с различным числом сланцевых слоев:

нижний мощностью 2 м объединяет два сланцевых слоя общей мощностью 1,4 м;

средний находится на 8 м выше нижнего; средняя мощность его 1,5 м; мощность сланцевых слоев 0,4 и 0,6 м;

верхний пласт залегает выше среднего на 4 м; мощность пласта 2,5 м; состоит из трех слоев горючего сланца мощностью 0,5; 0,8 и 0,7 м.

Больше-Черниговское месторождение расположено на границе Куйбышевской и Оренбургской областей в 75 км к северу от г. Уральска, в бассейне р. Большой Глушицы.

Сланценосная толща залегает на глубине от 1,5 до 40—50 м и имеет мощность 23—27 м, включает шесть—восемь слоев горючих сланцев общей мощностью 7,2—8,8 м; коэффициент сланценосности толщи 27—29%.

Из всех пластов только пласты III и VI имеют промышленное значение:

пласт VI лежит в нижней части толщи, средняя мощность его 1,2 м;

пласт III находится на 9,4 м выше пласта VI, средняя мощность его 0,6 м.

Больше-Глушицкое месторождение находится в 3,5 км к западу от Больше-Черниговского и распространяется на площади 400 км<sup>2</sup>.

Коцебинское месторождение расположено в Саратовской области, в 150 км к юго-западу от г. Бузулука, на площади 24,4 км<sup>2</sup>.

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Общесыртовского района Волжского сланцевого бассейна

Индекс		Месторождения														
		Макаров-ское	Новонико-лаевское	Кумраси-Гидлов-ское	Андреев-ское	Дергунов-ское	Макаров-ское	Новонико-лаевское	Кумраси-Гидлов-ское	Андреев-ское	Дергунов-ское	Макаров-ское	Новонико-лаевское	Кумраси-Гидлов-ское	Андреев-ское	Дергунов-ское
пласта	слоя	На абсолютно сухую массу														
		теплота сгорания, ккал/кг					содержание органического вещества, %					лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %				
P <sub>1</sub>	A . . .	1542	1201	1600	1547	1064	20,0	15,6	20,8	20,2	13,8	13,0	10,1	13,5	13,1	9,0
	B . . .	1606	1467	1539	—	—	20,9	19,1	19,9	—	—	13,6	12,4	12,9	—	—
	B <sub>1</sub> . . .	—	—	—	—	2436	—	—	—	—	31,7	—	—	—	—	20,6
	B <sub>2</sub> . . .	—	—	—	—	1114	—	—	—	—	14,5	—	—	—	—	9,4
	C . . .	1047	1056	812	1174	—	13,7	13,8	10,6	15,3	—	8,9	9,0	6,9	10,0	—
	C <sub>1</sub> . . .	—	—	—	—	1930	—	—	—	—	25,0	—	—	—	—	16,3
	C <sub>2</sub> . . .	—	—	—	—	1333	—	—	—	—	17,3	—	—	—	—	11,3
	C <sub>3</sub> . . .	—	—	—	—	1256	—	—	—	—	16,3	—	—	—	—	10,6
D . . .	—	—	—	—	1163	—	—	—	—	15,1	—	—	—	—	9,8	
P <sub>2</sub>	A . . .	1685	1560	1496	1666	1110	21,9	20,3	19,5	21,7	14,4	14,2	13,2	12,7	14,1	9,4
	B . . .	1842	1707	1733	1659	1156	23,9	22,2	22,5	21,6	15,0	15,5	14,4	14,6	14,0	9,8
	B <sub>1</sub> . . .	1049	1108	984	955	—	13,7	14,4	12,7	12,4	—	8,9	9,4	8,3	8,1	—
	C <sub>1</sub> . . .	—	—	—	—	1513	—	—	—	—	19,7	—	—	—	—	12,8
	C <sub>2</sub> . . .	—	—	—	—	1098	—	—	—	—	14,3	—	—	—	—	9,3
	D . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>3</sub>	A . . .	3181	2854	2610	2848	—	41,3	37,1	32,6	37,0	—	26,9	24,1	21,2	24,1	—
	A <sub>1</sub> . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	A <sub>2</sub> . . .	—	—	—	—	1710	—	—	—	—	22,2	—	—	—	—	14,4
	B . . .	1322	1270	1358	1374	—	17,1	16,5	17,6	17,8	—	11,1	10,7	11,4	11,6	—
	C . . .	1358	1391	1271	1334	—	17,6	18,1	16,5	17,3	—	11,4	11,8	10,7	11,3	—
	D . . .	1235	1122	680	—	—	16,1	14,6	8,8	—	—	10,5	9,5	5,7	—	—

Сланценосная толща залегает на глубине 25—60 м; включает от семи до тринадцати сланцевых слоев общей мощностью 8—15 м, (средняя — 11 м); шесть слоев горючего сланца, разделенных глинистыми прослойками, составляют нижний пласт  $B_1$  общей мощностью 5—7 м; четыре верхних слоя входят в пласт  $A$ ; суммарная мощность слоев горючих сланцев 3—4 м.

Дергуновское месторождение расположено в 90 км к юго-востоку от г. Куйбышева.

Сланценосная толща при средней мощности 32 м содержит до четырех пластов горючих сланцев:

пласт  $P_1$  служит основанием толщи, средняя мощность его 14 м; состоит из семи слоев горючего сланца мощностью от 0,17 до 5,3 м, разделенных прослойками глины; средняя мощность всех сланцевых слоев 7,5 м;

пласт  $P_2$  находится на 10 м выше пласта  $P_1$ ; имеет среднюю мощность 18 м; включает четыре слоя горючих сланцев мощностью от 0,17 до 5,1 м (средняя — 7,2 м);

пласт  $P_3$  находится на 11—20 м выше пласта  $P_2$ , суммарная мощность его 1,0—8,6 м (средняя — 7,26 м); состоит из трех слоев горючего сланца мощностью от 0,13 до 1,25 м (средняя — 1,61 м);

пласт  $P_4$  лежит выше пласта  $P_3$  на 8,6 м, средняя мощность его 6,12 м; объединяет три сланцевых слоя средней мощностью от 0,2 до 1,05 м.

Иртек-Ембулатовское месторождение находится в 100 км к югу от г. Бузулука.

Сланценосная толща мощностью 14 м залегает на глубине до 80 м, состоит из двух пластов горючих сланцев: нижнего мощностью 2,3 м и верхнего — 1,7 м; сланцевые пласты разделены слоем глины толщиной 2,3 м.

Качественная характеристика горючих сланцев Общесыртовского района приведена по Г. В. Явтухе в табл. 19 [132].

#### Орловско-Пугачевская группа месторождений

Орловско-Пугачевская группа месторождений горючего сланца расположена в Саратовской области. В нее входят месторождения Савельевское и Орловское.

Савельевское месторождение находится в 18 км к югу от ст. Рукопель на водораздельной возвышенности рек Сакмы и Толстовки, занимает площадь 97,5 км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща залегает на глубине 180 м и более, мощность 18—19 м. В ее составе имеется от 9 до 11 пластов горючих сланцев, мощность которых колеблется от 0,1 до 2,5 м; коэффициент сланценосности толщи 18%.

В основании толщи залегают сланцевые пласты от VII до X значительной мощности и ограниченного распространения:

пласт VI расположен на 0,4 м выше пласта VII; средняя мощность 0,26 м;

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Орловско-Пугачевской группы  
Волжского сланцевого бассейна

Индекс пласта	Месторождения											
	Савельевское		Орловское		Савельевское		Орловское		Савельевское		Орловское	
	На абсолютно сухую массу											
	теплота сгорания, ккал/кг				содержание органического вещества, %				лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %			
	макси- мальная	мини- мальная	макси- мальная	мини- мальная	макси- мальная	мини- мальная	макси- мальная	мини- мальная	макси- мальная	мини- мальная	макси- мальная	мини- мальная
I	3027	1700	1230	700	39,4	22,0	16,0	9,1	25,6	14,3	10,4	5,9
II	2650	1705	1568	1068	34,4	22,2	20,4	13,9	22,4	14,4	13,3	9,0
III	2336	1765	2480	1444	30,4	22,9	32,2	18,7	19,8	14,9	20,9	12,2
IV	3584	1700	—	—	46,5	22,0	—	—	29,6	14,3	—	—
V	4473	1700	—	—	58,0	22,0	—	—	37,7	14,3	—	—
VI	4777	1701	—	—	62,2	22,0	—	—	33,9	14,3	—	—
VII	3586	1710	—	—	46,7	22,2	—	—	30,4	14,4	—	—

пласт V находится над пластом VI на расстоянии 0,8 м; мощность его колеблется от 0,15—0,30 до 1,95 м; местами разделен одной-двумя прослойками глины;

пласт IV залегает в среднем на 1,45 м выше пласта V; мощность его колеблется от 0,3—0,5 до 2,5 м; состоит из двух слоев горючего сланца мощностью: нижний — 0,56 м, верхний — 0,41 м;

пласт III расположен выше пласта IV на 0,28 м, средняя мощность 0,4 м;

пласт II находится над пластом III на 2,3 м, средняя мощность — 1,05 м; состоит из двух слоев горючего сланца средней мощностью 0,32 и 0,34 м;

пласт I является верхним, перекрывающим сланценовую толщу, мощность от 0,15 до 1,2 м, средняя — 0,6 м.

Из всей сланценовой толщи промышленное значение имеют пласты I, IV и V; разрабатываются пласты IV и V.

Орловское месторождение находится в 40 км к северо-западу от г. Пугачева.

Сланценовая толща залегает на глубине от 1,2 до 9,95 м на площади около 80 км<sup>2</sup>. В ее состав входит три пласта горючих сланцев суммарной мощностью 5,3 м, полезной — 2,0—2,5 м; коэффициент сланценосности толщи 14%:

пласт III расположен в нижней части сланценовой толщи; состоит из двух слоев горючего сланца мощностью: нижний — 0,25 м и верхний — 0,6 м; слои горючего сланца разделены прослойком глины толщиной 0,15 м;

пласт II мощностью 1 м лежит на 2,5 м выше пласта III, мощность 0,05—2,4 м;

пласт I находится на 1,3 м выше пласта II, мощность 0,25 м; состоит из двух слоев горючих сланцев мощностью: нижний — 0,1 м и верхний — 0,3 м.

Качественная характеристика горючих сланцев Орловско-Пугачевской группы месторождений приведена по Г. В. Явтухе в табл. 20 [132].

#### Озинковская группа месторождений

Озинковская группа объединяет три месторождения горючих сланцев: Озинковское, хутора Гремучий и хутора Карташев-Беленький.

Озинковское месторождение находится в 5 км к юго-западу от ст. Озинки Оренбургской ж. д. в Саратовской области.

Сланценовая толща залегает на глубине до 200 м, занимает площадь около 20 км<sup>2</sup>, средняя мощность 48 м; состоит из восьми пластов горючих сланцев мощностью 0,25—4,2 м, средняя — 0,45—1,42 м; коэффициент сланценосности 25%:

пласт VIII является нижней частью сланценовых отложений, наибольшая мощность 0,7—0,8 м.

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Озинковской группы Волжского сланцевого бассейна

Индексы		Месторождение								
пласта	слоя	Озинковское	Хутора Гремучий	Хутора Карташев-Беленький	Озинковское	Хутора Гремучий	Хутора Карташев-Беленький	Озинковское	Хутора Гремучий	Хутора Карташев-Беленький
		На абсолютно сухую массу								
		теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
I	—	2050	1298	1206	26,6	16,9	15,7	17,3	11,0	10,2
II	—	1700	1512	1521	22,0	19,6	19,7	14,3	12,7	12,8
III	—	1700	1383	1750	22,0	17,9	22,7	14,3	11,6	14,8
IV *	A	3210	—	—	41,7	—	—	27,1	—	—
	B	3116	—	—	40,5	—	—	26,3	—	—
	C	2055	—	—	26,8	—	—	17,4	—	—
	A—C	2793	—	—	36,2	—	—	23,5	—	—
IV	—	1800	1574	1230	23,4	20,4	16,0	15,2	13,3	10,4
V	—	1800	—	—	23,4	—	—	15,2	—	—
VI	—	2400	—	—	31,2	—	—	20,3	—	—
VII *	A	1595	—	—	20,7	—	—	13,5	—	—
	B	2578	—	—	33,5	—	—	21,8	—	—
	C	1695	—	—	22,0	—	—	14,3	—	—
	A—C	2220	—	—	28,8	—	—	18,7	—	—
VII	—	2300	—	—	29,9	—	—	19,4	—	—

\* По результатам технических анализов сланцев шахты № 1.

пласт VII находится над пластом VIII на расстоянии 9 м, суммарная мощность 3,4 м, рабочая — 1,71 м; включает пять слоев горючего сланца: самый нижний слой мощностью 0,2 м представлен глинистым горючим сланцем, который сменяется темно-серым горючим сланцем мощностью 0,35 м; в средней части пласта расположен сланцевый слой мощностью 0,35 м, а в верхней — два слоя горючего сланца, один из них мощностью 1,35 м и другой — 0,89 м;

пласт VI расположен на 5,6 м выше пласта VII, мощность его 0,5—3,4 м, средняя — 0,87 м; состоит из четырех слоев горючего сланца: нижние два слоя представлены слоистым сланцем темно-серого цвета, мощность 1 м; над ними находится слой глинистого горючего сланца мощностью 0,75 м, верхний слой сложен темно-серым горючим сланцем мощностью 0,4 м;

пласт V лежит выше пласта VI на 4 м; число сланцевых слоев в пласте колеблется от одного до пяти; общая мощность пласта 0,1—4,0 м, средняя — 0,5—1,0 м;

пласт IV отделен от пласта V прослойком глины толщиной 0,9 м; мощность 0,3—2,85 м, средняя — 0,45 м; пласт содержит несколько слоев горючего сланца;

пласт III находится на 5 м выше пласта IV, мощность 0,1—3,2 м; сланец буровато-коричневого цвета, пласт содержит несколько сланцевых слоев;

пласт II отделен от пласта III прослойком глины толщиной 0,8 м; мощность 0,2—3,0 м;

пласт I находится на 5,4 м выше пласта II; мощность 0,8—1,25 м, средняя — 0,9 м; имеет простое строение и хорошо выдерживается на всей площади месторождения.

Из всей сланценой толщи промышленное значение имеют пласты I, VI и VII.

Месторождение хутора Гремучий имеет разведанную площадь 11 км<sup>2</sup>.

Сланценовая толща залегает на глубине от 13,7 до 36 м; в некоторых местах она выходит на поверхность земли; мощность 28—30 м; состоит из восьми пластов горючих сланцев мощностью от 0,3 до 3,35 м каждый; коэффициент сланценоности 20%.

Месторождение хутора Карташев-Беленький содержит сланценовую толщу, включающую восемь пластов горючих сланцев мощностью от 0,22 до 1,34 м каждый.

Качественная характеристика горючих сланцев Озинковской группы месторождений приведена по Г. В. Явтухе в табл. 21 [132].

#### Приуральская группа месторождений

В Приуральскую группу месторождений горючих сланцев входят: Чернозатонское, Туксайское, Новосеменовское, Ташлинское, Кара-Тюбинское и Ак-Булакское.

Чернозатонское месторождение находится на левом берегу р. Урала, в 35 км к северу от ст. Алгабас Западно-Казахстанской области.

Сланценосная толща залегает на глубине 17,5 м, содержит шесть-семь пластов горючих сланцев, из которых промышленным является только один пласт; мощность его достигает 2,6 м. Пласт содержит четыре слоя горючего сланца коричневого цвета; средняя теплота сгорания сланца 4700 ккал/кг; средняя теплота сгорания органического вещества 7254 ккал/кг.

Туксайское месторождение расположено в 10 км к северу от ст. Алгабас, в 15 км от Чернозатонского месторождения.

Сланценосная толща прослеживается на протяжении 5 км шириной от 65 до 600 м, средняя мощность ее достигает 35 м. В составе сланценосных отложений шесть пластов горючих сланцев:

пласт VI (нижний) мощностью от 2,2 до 3 м состоит из двух слоев горючего сланца: нижний слой *A* представлен коричневым сланцем мощностью 1,3—2,2 м; верхний слой мощностью 0,5—1,05 м сложен серым сланцем;

пласт V находится на 5,9 м выше пласта VI, мощность 2,2 м; содержит два слоя горючего сланца: слой *A* мощностью 0,6 м, слой *B* мощностью 1 м;

пласт IV залегает выше пласта V на 1,7 м; мощность 0,4 м; сложен серым горючим сланцем;

пласт III размещен на 4,2 м выше пласта IV, имеет постоянную мощность от 0,6 до 1,75 м; содержит два слоя горючего сланца: слой *A* мощностью 0,7—1,05 м, сложенный коричневым сланцем, слой *B* мощностью 0,2—0,8 м, представленный серым сланцем;

пласт II залегает выше пласта III на 3 м; мощность 5,7 м; сложен серым горючим сланцем; содержит два сланцевых слоя: слой *A* (нижний) мощностью 2,15 м и слой *B* — 2,75 м;

пласт I лежит выше пласта II на 1,85 м; состоит из двух слоев горючего сланца: слоя *A* (нижнего) мощностью 0,5 м, слоя *B* мощностью 0,3 м.

Промышленное значение имеют пласты III и VI.

Новосеменовское месторождение находится в 7 км к югу от ст. Алгабас, в 18 км от Туксайского месторождения.

Сланценосная толща здесь залегает на глубине 15—60 м, общая мощность 45—55 м, суммарная мощность пластов горючего сланца 14 м; коэффициент сланценосности 24%. В ее строении выделены 12 сланцевых пластов, разделенных на два горизонта, из которых нижний имеет два рабочих пласта горючего сланца и шесть нерабочих пластов, верхний горизонт — один рабочий пласт и три нерабочих:

пласт I (нижний) представлен серым горючим сланцем с большим количеством глинистого материала; мощность 0,6 м;

пласт II лежит на 2,8 м выше пласта I; мощность 0,4 м; сложен серым горючим сланцем;

пласт III мощностью 0,5 м залегает на 3,4 м выше пласта II; представлен также серым сланцем;

пласт IV находится выше пласта III на 0,5 м, наиболее выдержан по простиранию и состоит из трех слоев: в слое А нижней части пласта лежит глинистый зеленовато-серый горючий сланец мощностью 0,9 м; в середине пласта залегает слой В коричневого сланца мощностью 0,9—1,2 м; верхний слой С сложен глинистым горючим сланцем зеленовато-серого цвета мощностью 0,2 м;

пласт V размещен выше пласта IV на 1,5 м; мощность 1 м;

пласт VI лежит на 5 м выше пласта V; мощность 0,9—1,1 м; содержит два сланцевых слоя: слой А (нижний) мощностью 0,9 м и слой В — 0,2 м;

пласт VII залегает на 0,6 м выше пласта VI; мощность 1,5 м; состоит из двух сланцевых слоев, представленных зеленовато-серым (нижний слой) и коричневым (верхний) горючими сланцами;

пласт VIII залегает на 1,1 м выше пласта VII; мощность 1 м;

пласт IX расположен выше пласта VIII на 12,5 м; мощность 0,8 м; сложен зеленовато-серым сланцем;

пласт X залегает на 3,5 м выше пласта IX; мощность 0,88—1,03 м; представлен коричневым сланцем;

пласт XI залегает на 3 м выше пласта X; мощность 1,8 м;

пласт XII расположен на 1,1 м выше пласта XI; состоит из двух сланцевых слоев мощностью 0,35 и 0,8 м.

Промышленное значение имеют пласты IV, VI и X.

Ташлинское, Кара-Тюбинское и Ак-Булакское месторождения имеют незначительные площади и недостаточно изучены.

Качественная характеристика горючих сланцев Приуральской группы месторождений приведена по Г. В. Явтухе в табл. 22 [132].

Таблица 22

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Приуральской группы Волжского сланцевого бассейна

Индекс пласта	Месторождение					
	Туксайское	Новосеменовское	Туксайское	Новосеменовское	Туксайское	Новосеменовское
	На абсолютно сухую массу					
	теплота сгорания, ккал/кг		содержание органического вещества, %		лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %	
III	3169	3123	41,2	40,6	26,8	26,4
VI	2002	—	26,0	—	16,9	—
VII	—	2203	—	28,5	—	18,5
IX	—	1932	—	25,0	—	16,3

## Оленекский сланцевый бассейн

Оленекский сланцевый бассейн расположен на территории Якутской АССР. Сланценосные отложения, прилегающие к р. Оленеку (Анабаро-Ленское междуречье), приурочены к нижнему и среднему кембрию и имеют непрерывное протяжение на площади примерно 130—135 тыс. км<sup>2</sup>. На севере, востоке и западе Оленекский сланцевый бассейн ограничен выходами сланцевой толщи на поверхность, а на юге — условной линией по параллели 67° северной широты. Имеются геологические предпосылки на расширение границ Оленекского сланцевого бассейна в сторону погружения кембрийских пород.

В геоструктурном отношении территория Оленекского сланцевого бассейна находится в северо-восточной части Сибирской платформы и приурочена к понижению между Анабарским и Оленекским поднятиями. Это понижение осложнено поднятиями и прогибами более мелкого поднятия с пологими углами залегания, измеряемыми минутами и редко единицами градусов. Дизъюнктивные нарушения развиты в окраинных частях сланцевого бассейна, у границы с Анабарским и Оленекским поднятиями, в пределах которых обнажаются породы синия, протерозоя и архея. Синийские отложения мощностью 300—700 м представлены внизу кварцевыми песчаниками, залегающими повсеместно с резким угловым несогласием на фазмытой поверхности архейских и протерозойских пород, сверху — доломитами.

На территории сланцевого бассейна наиболее широко распространены кембрийские отложения, которые занимают почти всю территорию Анабаро-Ленского междуречья. Они представлены карбонатными породами с примесью терригенного материала и горючими сланцами. По богатой фауне кембрийские отложения подразделяются на три отдела, в составе которых выделяются ярусы и зоны.

Нижние кембрийские отложения состоят из двух ярусов: алданского внизу и ленского сверху. Алданский ярус внизу сложен почти повсеместно песчаниками, алевролитами и глинами общей мощностью 10—140 м (мощность увеличивается с запада на восток), залегающими на породах синия со стратиграфическим несогласием; сверху — пестроцветными известняками мощностью 170—180 м. Органические остатки в нижней части алданского яруса редки, в верхней — встречаются по всему разрезу в большом количестве.

Ленский ярус представлен двумя типами отложений, распространенных на различных участках сланцевого бассейна. Во внутренней части бассейна он сложен горючими сланцами мощностью 7—10 м, с довольно многочисленными маломощными (5—10 см) прослойками известково-глинисто-кремнистых и известково-глинистых пород, обогащенных органическим материалом. Отложения этого яруса очень богаты органическими остатками. В перифери-

ческих частях бассейна горючие сланцы постепенно замещаются сначала глинистыми известняками, а затем в самых краевых частях — доломитизированными известняками мощностью 5—35 м.

Средние кембрийские отложения подразделяются также на два яруса: амгинский внизу и майский сверху.

Амгинский ярус представлен переслаивающейся толщей горючих сланцев, известково-глинистых и известково-кремнистых пород, обогащенных органическим материалом. Сланцевая толща характеризуется стратиграфической устойчивостью отдельных слоев и особенно групп слоев и исключительной насыщенностью разнообразными органическими остатками.

По литологическим признакам в амгинском ярусе выделяется пачка плотных зеленовато-серых, серых с коричневатым оттенком известняков мощностью 1,4—1,7 м под названием куонамского горизонта. Как и две вышележащие пачки этого яруса, куонамский горизонт прослеживается повсеместно на расстоянии многих сотен километров, что указывает на постоянство режима сланцевого бассейна на большой площади.

Общая мощность амгинского яруса выдержана и составляет 30—35 м. Так же как и в ленском ярусе, в периферических частях бассейна идет фаціальное замещение сланценосных отложений амгинского яруса глинистыми известняками и чистыми разностями известняков мощностью, не превышающей 20 м.

Сланценосные отложения ленского и амгинского ярусов по своим литологическим особенностям, широкому распространению по площади выделены в куонамскую свиту, которая имеет мощность 30—40 м и подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. Обусловлено это деление характером распределения и количественным соотношением горючих сланцев и кремнисто-глинистых, известково-кремнистых и известково-глинистых пород. Нижняя подсвита характеризуется многочисленными и нередко мощными (до 2 м) пластами горючих сланцев, составляющими в сумме иногда около  $\frac{1}{3}$  мощности разреза. По возрасту она объединяет ленский ярус и низы амгинского, но в некоторых районах имеет возраст или только ленский (район р. Оленека), или только амгинский (бассейн р. Куонамки).

Сланценосная толща ленского яруса в районе пос. Оленек имеет мощность 8,5 м; состоит из нескольких пластов горючих сланцев мощностью 0,1—2 м, разделенных прослойками известняков и известковисто-глинистых пород. Промышленное значение имеет самый нижний пласт мощностью около 2 м сложного строения; в своем составе он имеет несколько маломощных (от 0,03 до 0,05 м) породных прослоев.

По р. Малой Куонамке сланценосная толща приурочена к двум ярусам: ленскому и амгинскому. В ленском ярусе ее мощность 5 м; состоит из двух пластов горючих сланцев: нижнего мощностью 1,2 м и верхнего мощностью 0,3 м; пласты сложены горючими сланцами.

В амгинском ярусе мощность сланценой толщи составляет 6 м; представлена толща многочисленными пластами горючих сланцев мощностью до 0,5 м. Промышленное значение имеет пласт мощностью 0,5 м.

В бассейне р. Уджи сланценовая толща состоит из двух пластов:

нижний содержит несколько слоев горючих сланцев мощностью от 0,15 до 1,9 м. Самые мощные слои (0,8 и 1,9 м) расположены в средней части пласта;

верхний пласт мощностью 5,5 м содержит пять слоев горючих сланцев: два нижних мощностью 0,3 и 1,0 м разделены прослойком известняка толщиной 0,8 м; два верхних слоя разделены известняком толщиной 0,6 м; пласт характеризуется незначительной мощностью слоев горючего сланца, но хорошего качества.

Приведенные данные о широком распространении сланцевой толщи, выдержанность ее строения и состава слагающих ее пород, тщательная сортировка терригенного материала, микрослоистость пород, богатство и разнообразие фауны говорят о том, что сланценовые отложения накапливались в условиях стабильности водного бассейна и в значительном удалении от берега. Несогласное залегание синийских отложений на размытой поверхности архейских и протерозойских пород и отложений алданского яруса на синийских, а также обломочный состав пород синия и низов алданского яруса свидетельствуют о проявлении тектонических движений и неустойчивости береговой линии наступающего моря.

Потенциальные запасы горючих сланцев Оленекского бассейна, вероятно, составляют не менее 500 млрд. т. Для расчета на площади бассейна принята мощность сланцевых слоев 2 м. Плотность горючего сланца 2,1—2,2 г/см<sup>3</sup>, средняя плотность 1,6 т/м<sup>3</sup>.

Прогнозные запасы горючих сланцев Оленекского бассейна были определены Междуведомственной комиссией в количестве 111,8 млрд. т [42]. При расчете была принята мощность сланцевых слоев в 1,5 м с поправочным коэффициентом 0,3.

В результате дополнительных исследований прогнозные запасы составили около 300 млрд. т. При этом расчете мощность сланцевых слоев была увеличена на  $\frac{1}{3}$ , а поправочный коэффициент в связи с большей достоверностью данных принят равным 0,6 [44].

Горючие сланцы Оленекского бассейна представляют собой темно-коричневую, серовато-коричневую, иногда черную очень тонкослоистую породу, легко расщепляющуюся на тонкие пластинки. В сухом виде эти пластинки легко загораются от спички и горят сильно коптящим пламенем с резким запахом жженной резины.

Органическое вещество горючих сланцев представляет собой коричневатую-желтую, красновато-коричневую массу, образующую отдельные скопления в виде неправильных линзочек или участков клиновидной формы. Эти образования располагаются в виде линейно вытянутых полос. Теплота сгорания органического вещества составляет 7450—7600 ккал/кг.

Минеральная часть горючих сланцев представлена алевритоглинистым материалом с примесью кремнезема, кальцита, гидроксидов железа.

На территории сланцевого бассейна находятся реки Оленек и Анабар. Песчано-галечниковые отложения оттаивают на глубину до 1,5—2 м. Ниже слоя сезонной мерзлоты залегают цементированные льдом породы мощностью 300—350 м.

Качественная характеристика горючих сланцев Оленекского сланцевого бассейна приведена по В. Я. Кабанькову в табл. 23 [44].

Таблица 23

Качественная характеристика горючих сланцев Оленекского сланцевого бассейна

№ пробы	Район					
	р. Оленек	р. Уджи	р. Оленек	р. Уджи	р. Оленек	р. Уджи
	На абсолютно сухую массу					
	теплота сгорания, ккал/кг		содержание органического вещества, %		лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %	
1	1665	—	22,3	—	14,5	—
3	1615	—	21,6	—	14,0	—
7a	1880	—	25,0	—	16,3	—
7a <sub>1</sub>	1253	—	16,7	—	10,9	—
28a	2386	—	31,9	—	20,7	—
28-о	2473	—	32,8	—	21,3	—
29-н	1915	—	25,6	—	16,6	—
59	1397	—	18,7	—	12,2	—
81-1	1608	—	21,4	—	13,9	—
81-III	1001	—	13,4	—	8,7	—
82-1	1622	—	21,6	—	14,0	—
83-1	1201	—	15,9	—	10,3	—
401 Б	—	1052	—	14,0	—	9,1
401 Г	—	1142	—	15,2	—	9,9
401 Е	—	1883	—	25,0	—	16,3
401 И	—	1666	—	22,3	—	14,5

### Тимано-Печорская область горючих сланцев

Сланценозные отложения Тимано-Печорской области относятся к верхнеюрскому периоду. На территории области известно четыре района распространения горючих сланцев: Сысольский, Яренский, Ижемский и Нарьян-Марский. Два первых приурочены к Мезенской-Вычегодской синеклизе, а два последних — к Печорской синеклизе [3, 112]. Названные синеклизы разделены Канино-Тиманской антеклизой. В строении юрских отложений всех районов особых

различий не наблюдается. Площадь распространения сланценосных отложений известных месторождений составляет более 60 тыс. км<sup>2</sup>, разведанная площадь — более 9 тыс. км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща приурочена к отложениям нижневолжского яруса. Нижние пласты толщи расположены на глубине до 250—280 м, мощность сланценосной толщи 20—50 м, строение ее сложное; включает пять пластов горючего сланца мощностью 0,5—10,0 м, средняя — 4 м; пласты разделяются прослойками породы; коэффициент сланценосности 20%.

Потенциальные запасы горючих сланцев Тимано-Печорской области, вероятно, составляют 400 млрд. т, в пределах разведанной площади — примерно 50 млрд. т. Для расчета принята средняя мощность сланцевых пластов 4 м и плотность горючего сланца 1,7 г/см<sup>3</sup>.

Прогнозные запасы определены с учетом средней мощности пластов горючего сланца 0,7 м, имеющего промышленное значение, и составляют 9 млрд. т.

Горючие сланцы Тимано-Печорской области образовались в юрском периоде в результате накопления илистого и органического материала во впадине эпиконтинентального моря — пролива, соединяющего северное и южное моря. Минеральная масса присоединилась в иловую впадину с суши и отлагалась в спокойных водах, образуя глинисто-иловый осадок, смешивалась с органическим веществом, составившим горючий материал сланца.

Горючий сланец имеет темно-серый цвет с буроватым оттенком, крепкий, при высыхании светлеет и разделяется на тонкие пластинки, легко загорается от спички. Теплота сгорания органического вещества на абсолютно сухую массу 7700—8100 ккал/кг.

На территории Тимано-Печорской сланценосной области имеются водоносные горизонты, приуроченные к отложениям различных периодов — от среднеюрских до четвертичных. В последних залегают два водоносных горизонта: первый из них имеет безнапорные воды в флювиогляциальных алеврито-песчаных отложениях; дебит воды незначителен; второй горизонт — напорный, но подобно первому горизонту — локального значения. Наиболее водоносны среднеюрские отложения, сложены песками и алевритами, развиты повсеместно, мощность водоносного горизонта колеблется от 0 до 60 м, дебит при откачках и понижениях на 5—6 м достигает 4—6 л/с, но обычно составляет 1,5—2,0 л/с.

Месторождение горючих сланцев Сысольского района находится на юге Коми АССР, в бассейне р. Сысолы. Северная граница месторождения проходит в 40 км, а центральная — в 100—120 км к югу от г. Сыктывкара.

Сланценосная толща имеет мощность 15—25 м и распространяется на площади 20 тыс. км<sup>2</sup>. В стратиграфическом разрезе она разделяется на два горизонта: нижний, сложенный известковистыми, местами песчаными и слюдистыми глинами, мергелем, фосфоритами, мощностью 5—8 м; содержит горизонт пласт I горючего

сланца, имеющий ограниченное распространение; верхний мощностью 12—15 м; к нему приурочены четыре пласта горючих сланцев: II, III, IV, V, которые, как правило, сближены, а пласты III и IV и частично пласт II сливаются:

пласт II (нижний) является подошвой горизонта; мощность 0,25—4,0 м, средняя — 2,3 м;

пласт III расположен над пластом II; мощность 0,3—2,4 м, средняя — 1,15 м; пласт III в местах слияния с пластом II достигает 5,6 м, а местами выклинивается и замещается битуминозными известковистыми глинами;

пласт IV лежит на пласте III; мощность 0,25—1,7 м, средняя — 0,8 м;

пласт V мощностью от 0,2 до 2,0 м (средняя — 0,5 м) обычно отделяется от пласта IV прослойком породы толщиной 0,5—2,0 м. Иногда пласты V и IV сближаются, но всегда остаются самостоятельными.

Яренгский сланценосный район находится на юго-западе Коми АССР в 110 км к юго-западу от г. Сыктывкара.

Сланценосная толща в этом районе имеет мощность 14—16 м, редко достигает 21 м, площадь распространения сланценосных отложений превышает 10 тыс. км<sup>2</sup>, перекрывается она четвертичными образованиями. Подошва толщи находится на глубине 50—70 м, в восточной части — 80—100 м. Геологические исследования, дающие приближенные сведения о сланценосности, имеются только по юго-восточной части площади, равной 3 тыс. км<sup>2</sup>.

В сланценосной толще отмечено до девяти пластов горючих сланцев мощностью от 0,1 до 1,0 м каждый, суммарная мощность сланцевых пластов достигает 4,4 м.

Ижемский сланценосный район расположен в северо-западной и центральной частях Коми АССР в таежно-болотистой местности, площадь его равна десяткам тысяч км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща наиболее детально изучена по р. Айюве; мощность ее 19 м; толща содержит пять пластов горючих сланцев:

пласт I (нижний) мощностью 7 м переслаивается с глинами и глинистыми горючими сланцами;

пласт II находится на 1,5 м выше пласта I; средняя мощность 0,95 м;

пласт III находится над пластом II на расстоянии 1,9 м; средняя мощность 0,9 м;

пласт IV лежит на 1,2 м выше пласта III; мощность 0,85 м;

пласт V размещен на 0,9 м над пластом IV; средняя мощность 0,03 м.

Нарьян-Марский сланцевый район находится на северо-востоке Архангельской области в приморской равнине. Значительную часть территории района занимает пойма р. Печоры.

Сланценосная толща мощностью до 50 м разделена по стратиграфической глубине на два горизонта: нижний горизонт включает от одного до четырех пластов горючих сланцев мощностью

от 1,0 до 1,3 м каждый; подошва нижнего горизонта находится на глубине 271 м;

верхний горизонт сланценосной толщи содержит от одного до пяти пластов горючих сланцев мощностью от 0,05 до 0,7 м каждый.

Вероятная площадь распространения сланценосных отложений превышает 20 тыс. км<sup>2</sup>. Площадь в контуре, изученном редкой сетью скважин, составляет 1,0—1,2 тыс. км<sup>2</sup>.

Качественная характеристика горючего сланца месторождений Тимано-Печорской сланценосной области представлена по В. В. Богданову в табл. 24 [21].

Таблица 24

Характеристика горючего сланца месторождений Тимано-Печорской сланценосной области

Индекс пласта	Месторождение					
	Айювинское	Ибское	Айювинское	Ибское	Айювинское	Ибское
	На абсолютно сухую массу					
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %		лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
I <sub>н</sub>	953	—	12,0	—	7,8	—
I <sub>общ.</sub>	953	1064	12,0	13,5	7,8	8,8
II <sub>н</sub>	3573	—	45,3	—	29,5	—
II <sub>общ.</sub>	3650	1400	46,3	17,7	30,1	11,5
III	1597	1086	20,3	13,8	13,2	9,0
IV	2444	1357	31,0	17,2	20,2	11,2
V	2371	—	30,0	—	19,5	—

### Горючие сланцы Кузнецкого бассейна

В Кузнецком бассейне расположено Дмитриевское месторождение горючих сланцев близ пос. Дмитриевского Барзасского района Кемеровской области. Площадь его равна примерно 35 км<sup>2</sup>.

Сланценосные отложения мощностью более 100 м относятся к эйфельскому ярусу среднего девона [59, 109]; представлены зеленовато-серыми и желтоватыми аргиллитами, песчаниками и конгломератами. Среди этих пород размещена толща битуминозных известняков и горючих сланцев. Нижняя граница сланценосных отложений выражена сменой состава пород и окраски, верхняя — неясна и перекрывается трансгрессивной серией верхнего девона.

В районе р. Барзаса установлено наличие двух сланценосных полос: первая из них шириной 3 км и протяженностью более 9 км по правобережью составляет Дмитриевское месторождение, вторая, значительно большая по площади, проходит по верховьям пра-

вых притоков р. Барзаса—Трудной, Калиновки, Перебойя. Данные о характере сланценоности второй полосы незначительные. Имеется лишь один разрез в интервале 80 км, где на долю горючих сланцев приходится не более 40 км.

Пласт горючего сланца дмитриевско-перебойской сланценостой толщи имеет мощность от 20 м (Дедов лог) до 55 м (Марин лог).

Дмитриевское месторождение имеет потенциальные запасы горючего сланца не менее 1,5—3,0 млрд. т. При расчете приняты мощность сланцевых пластов 20—40 м, плотность горючего сланца 2,17 г/см<sup>3</sup>.

Горючие сланцы представляют слоистую породу серовато-бурого и коричнево-серого цвета; тонкие пластины сланца легко загораются от пламени спички и горят со специфическим битумным запахом.

Органическая масса представлена в сланце слизи-студнеобразным веществом комковатого и хлопьевидного строения, образовавшимся в придонной зоне и в иле водоема в результате ослизнения, перегнивания и полимеризации остатков и низших организмов и в первую очередь — сине-зеленых водорослей и бактерий; теплота сгорания органического вещества на абсолютно сухую массу составляет 8700—8900 ккал/кг.

Минеральная доля горючих сланцев состоит из угловатых или остроконечных, преимущественно ромбических кристаллов кальцита, реже доломита, мелких агрегативных скоплений этих же минералов и неокатанных или только слегка округленных зерен кварца и полевых шпатов; теплота сгорания горючих сланцев в среднем составляет 1500—1800 ккал/кг.

Дмитриевское месторождение имеет благоприятные условия для разработки: пологое падение слоев и большая высота правобережья р. Барзаса. Значительные площади месторождения могут быть обработаны карьерами и штольнями.

### Горючие сланцы Иркутской области

Месторождения Иркутской области расположены в пределах южной части Среднесибирского плоскогорья и ограничены примыкающими к нему горными обрамлениями Восточных Саян и Приморского хребта.

Сланценостая толща приурочена к юрскому периоду и входит в состав угленосного комплекса [55]. Пласты и отдельные слои горючего сланца расположены обычно близ угольных пластов или в виде прослоек внутри них. Угленосный комплекс содержит несколько горизонтов, в которых горючие сланцы слагают продуктивные пачки, часто перемежающиеся пластинами и прослойками пород, углей и горючих сланцев. Мощность продуктивных пачек колеблется от 15 до 20 м, мощность пластов и отдельных слоев горючего сланца в пачках обычно небольшая — от 0,1 до 0,6 м, реже достигает 1,0—1,5 м.

На территории Иркутской области известно более 10 сланцевых проявлений, однако геологическое изучение и геологоразведочные работы проведены лишь на трех месторождениях: Алюйском, Будаговском и Хахарейском; площадь сланцевых залежей составляет около 100 км<sup>2</sup>.

Потенциальные запасы горючих сланцев на этой площади исчисляются примерно 0,38 млрд. т. При расчете приняты: минимальная мощность сланцевых слоев 2 м, плотность горючего сланца — 1,9 г/см<sup>3</sup>.

В пределах месторождений Иркутской области распространены многозольные углистые горючие сланцы с сапропелевым по составу органическим веществом. Они представляют собой плотную темно-серую или почти черную с буроватым оттенком твердую породу с примесью значительного количества песчано-глинистого материала; теплота сгорания органического вещества на сухую массу 7900—8500 ккал/кг. Встречаются также сапропелиты, которые легко режутся ножом и образуют упругую стружку.

Условия разработки горючих сланцев на месторождениях несложные. Приток грунтовых и подземных вод в выработках предполагается незначительным.

Алюйское месторождение находится в 21 км на север от г. Тулуна по р. Алюй (приток р. Илира).

Горизонт горючих сланцев залегает в средней части угленосного комплекса и разделяет его на нижнюю и верхнюю подсвиты; общая мощность 15—20 м, в том числе на долю горючих сланцев и сапропелитов приходится от 3 до 3,35 м. В восточной части месторождения мощность горючих сланцев уменьшается, а в северном направлении сланцы фациально замещаются углистыми аргиллитами.

Будаговское месторождение расположено вблизи одноименной ж.-д. станции.

По своему геологическому строению и разрезу угленосные отложения подобны отложениям Алюйского месторождения. Сланцевосный горизонт имеет два пласта: I нижний и II верхний. Промышленное значение имеет пласт I, включающий четыре слоя горючих сланцев; максимальное распространение имеют два верхних слоя общей мощностью от 0,2 до 2,7 м; глубина залегания пласта от 0 до 47,7 м.

Хахарейское месторождение находится в 110 км северо-восточнее г. Тулуна.

Горючие сланцы залегают здесь в верхней части угленосного комплекса, имеющего в пределах месторождения мощность около 54 м; мощность сланцевосной толщи 12—15 м, глубина залегания от 0,9 до 8,5 м.

Основной пласт горючего сланца обладает тем же строением, что и пласт I Будаговского и Алюйского месторождений.

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Иркутской области приведена по В. И. Конивецу в табл. 25 [55].

**Качественная характеристика горючих сланцев месторождений  
Иркутской области**

Вид горючего сланца	Месторождение								
	Алюйское	Будайгов- ское	Хакарей- ское	Алюйское	Будайгов- ское	Хакарей- ское	Алюйское	Будайгов- ское	Хакарей- ское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органи- ческого вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органи- ческого вещества), %		
Черно-бу- рый слоис- тый	1720	2020	1640	20,7	24,3	19,7	13,5	15,8	12,8

**Горючие сланцы Забайкалья**

В строении недр Забайкалья принимают участие древние архейские, протерозойские и палеозойские кристаллические, эффузивные и метаморфические комплексы, слагающие фундамент, а также молодые мезозойские, вулканогенные образования и осадочные породы покрова [55, 113].

Сланценовые отложения приурочены к верхнемезозойскому периоду, размещены в стратиграфическом разрезе либо в виде самостоятельных толщ, либо в виде прослоек между пластами углей; мощность сланценовых отложений в различных впадинах изменяется от 15—20 до 100 м.

Сланценовые толщи залегают среди песчаников, чаще алевритов или аргиллитов. Пласты горючих сланцев иногда перекрывают или подстилают угольные пласты. В виде прослоек между пластами угля горючие сланцы встречаются реже, мощность пластов горючего сланца колеблется от 0,4 до 5—10 м; в некоторых случаях мощность их достигает 15—20 м. Строение мощных пластов горючего сланца обычно сложное: сланцевые слои перемежаются с прослойками породы.

Месторождения и проявления горючих сланцев приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам. Располагаются они на небольших и разрозненных полях. Общая площадь распространения сланценовых залежей в Забайкалье составляет примерно 800 км<sup>2</sup>.

Потенциальные запасы горючих сланцев месторождений Забайкалья исчисляются, вероятно, в 13 млрд. т. При расчете приняты минимальные мощности пластов горючих сланцев

по месторождениям — от 0,7 м (Гусиноозерское) до 20 м (Тургинское); плотность горючего сланца 1,9 г/см<sup>3</sup>.

Горючие сланцы представляют собой серую, темно-серую и коричневато-бурую с зеленоватым оттенком плотную слоистую горную породу; при высухании она легко расщепляется на тонкие, подобные листу бумаги, пластинки, толщина их измеряется десятками долями миллиметра.

В связи с таким строением горючие сланцы получили название «бумажные сланцы».

Органическое вещество сланцев представлено остатками мельчайших зеленовато-синих планктонных водорослей и незначительным количеством мелкого растительного детрита наземного происхождения, а также пеллеципод, гастропод, насекомых и рыб, из чего следует, что накопление органической массы происходило в мелководных прибрежных частях верхнеюрских озер; теплота сгорания органического вещества на сухую массу 7964—8240 ккал/кг.

Минеральная доля горючих сланцев — глинистая с примесью мельчайших зерен кварца, полевых шпатов, чешуек слюд, хлорита и серицита. По наслоению часто имеются также серо-белые пленки, корочки и примазки кальцита и железистых карбонатов.

В настоящее время на территории Забайкалья известно шесть месторождений и более десяти проявлений горючих сланцев.

Гусиноозерское месторождение находится в Бурятской АССР, в 75 км юго-западнее г. Улан-Удэ.

Сланценозные отложения залегают на Центральном участке Гусиноозерского угольного месторождения и приурочены к нижней части разреза угленосной нижнехолбольджинской подсвиты, которая широко распространена на площади Гусиноозерской впадины. Мощность пласта горючего сланца изменяется от 0,7 м (овраг Малый Хаян) до 2 м (овраги Ара-Ганга и Улан-Ганга). Пласт горючего сланца подстилается грубозернистыми песчаниками и конгломерато-брекчиями и перекрывается угольным пластом. Переход от горючего сланца к углю постепенный, через мергель, с характерной структурой. Сланцевые слои в обнажении падают на юго-восток под углом 12—15°.

Юмурченское месторождение расположено в 170 км к северо-востоку от г. Читы, близ с. Юмурчен, в долине одноименного притока р. Витима.

Сланценосный пласт приурочен к средней части разреза байсинской свиты. В подошве его — алевролитовые песчаники с небольшими прослойками алевролитов, в кровле — мелкозернистые песчаники, мощность пласта 2,5—10 м, средняя — около 5 м. Пласт залегают в виде синклинали складки с наклоном слоев в крыльях от 5 до 25°; теплота сгорания сланцев на сухую массу 3050 ккал/кг.

Романовское месторождение занимает правый берег р. Витима, в 2 км ниже пос. Романовки, представляет собой впадину,

выполненную континентальными мезозойскими, в том числе и сланцевыми, отложениями.

Сланценосная толща мощностью 14—16 м состоит из двух пластов горючего сланца:

пласт Нижний мощностью 1 м имеет простое строение и составляет однородный слой;

пласт Верхний изменяется по мощности от 1,5 до 13,5 м; имеет сложное строение и включает породные прослойки общей толщиной от 0,6 до 1,4 м.

Джидотойское месторождение расположено в 19 км юго-восточнее с. Романовки и приурочено к той же впадине бассейна р. Витима, что и Романовское месторождение.

Сланценосная толща имеет мощность от 8 до 20 м; площадь распространения сланценосных отложений равна примерно 70 км<sup>2</sup>.

Тургинское месторождение расположено в северной части Хараноро-Тургинской депрессии близ ж.-д. ст. Бырки.

Сланценосная толща образует пологую синклиналичную складку мощностью около 20 м, имеет сложное строение.

Харанорское месторождение находится в 20 км южнее ж.-д. ст. Харанор, в южной части Хараноро-Тургинской депрессии.

Сланценосная толща, как и на Тургинском месторождении, состоит из двух пластов горючего сланца мощностью от 5 до 10 м;

Таблица 26

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Забайкалья

Вид горючего сланца	Месторождение										
	Гусино-озерское	Юмурченское	Романовское	Харанорское	Гусино-озерское	Юмурченское	Романовское	Харанорское			
	На абсолютно сухую массу				теплота сгорания, ккал/кг				содержание органического вещества, %		
„Бумажные“	3186	3050	3144	3010	40,0	38,5	39,5	36,5			

Вид горючего сланца	Месторождение			
	Гусиноозерское	Юмурченское	Романовское	Харанорское
	На абсолютно сухую массу			
	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %			
„Бумажные“	26,0	25,0	25,7	23,7

строение пластов сложное; породные прослойки представлены углистыми сланцами.

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Забайкалья дана по В. И. Конивцу в табл. 26 [55].

### Горючие сланцы доманиковой фации

Залежи горючих сланцев доманиковой фации франского яруса верхнего девона широко распространены в районах Русской платформы на Южном Тимане и по западному склону Урала.

Доманик по сравнению с отложениями предшествующих эпох представляет собой относительно глубоководную фацию. Пашийские слои представлены песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами и глинами, а кыновские и сарагаевские — песчаниками, глинистыми известняками, мергелями и глинистыми сланцами. Доманиковая фация сложена битуминозными известково-глинистыми сланцами и битуминозными известняками.

Доманиковые горючие сланцы представлены двумя разновидностями: черными неслоистыми с раковистым изломом сапропелево-гумусовой природы и темно-серыми сапропелитовыми с явной сланцеватостью [98, 99]. При высыхании этот вид сланца распадается на тончайшие листочки с идеально параллельными поверхностями. В сланце первого вида отсутствуют кальцит и минеральные новообразования, а также остатки фауны, но присутствуют обломочный материал, карбонатный материал, аутигенные минералы и остатки фауны.

Органическое вещество встречается как в виде однородной красновато-бурой массы, цементирующей терригенный материал, так и в виде сгущений, размещающихся в различных частях породы; теплота сгорания колеблется в пределах 7800—8600 ккал/кг.

Минеральная часть горючих сланцев представлена зернами кварца размером около 0,01 мм и менее, мелкими агрегатами перекристаллизованного кальцита и доломита, конкрециями лимонита, прожилками и микроскопическими линзочками кварца.

Мощность сланценосной толщи доманиковой фации 15—75 м. На Южном Тимане выходы горючих сланцев наблюдаются только в нижней части обрывистых берегов р. Ухты, в сводовой части Ухтинской антиклинали. На крыльях антиклинали глубина залегания сланцевых накоплений достигает 500—700 м.

Породы доманиковой фации очень трещиноваты и сильноводоносны. Подземные воды главным образом карстово-трещинные, напорные; дебит вод достигает 100 м<sup>3</sup>/сут. С увеличением глубины залегания по падению дебит подземных вод увеличивается.

Отложения доманиковой фации, расположенные в Ухтинской антиклинали выше уровня рек, хорошо дренированы. По горно-техническим условиям этот район может разрабатываться открытым способом.

На западном склоне Урала выходы горючих сланцев прослеживаются на многих месторождениях. Они имеют вид узких полос, вытянутых по простиранию на тысячи метров.

Детально изучена только незначительная часть доманиковой толщи в районе Ухтинской складки мощностью 48 м. Характеристика толщи приведена в табл. 27.

Таблица 27

Характеристика доманиковой толщи

Показатели	Слагающая порода				
	горючий сланец	известняк	кремень	глина	Всего
Число пластов горючего сланца и прослоек породы . . . . .	163	74	106	5	348
Суммарная мощность, м . . . . .	27,2	8,0	10,1	2,4	47,7
Соотношение пород по мощности, % . . . . .	57,1	16,7	21,2	5,0	100

Как видно из данных табл. 27, доманиковая толща имеет довольно высокий коэффициент сланценоности, достигающий 57,1%.

Площадь распространения доманиковой фации исчисляется сотнями тысяч квадратных километров. Запасы сланца не учтены. Но если принять минимальной площадь их распространения 30—100 тыс. км<sup>2</sup> и суммарную мощность сланцевых пластов минимум 10 м, то запасы должны исчисляться по крайней мере не менее 500—800 млрд. т. Это — одна из крупнейших формаций горючих сланцев мира.

Месторождения доманиковых горючих сланцев, расположенные в бассейнах рек Печоры, Сулы, Ижмы и Ухты в Коми АССР, исследованы крайне мало. Несколько более изучены месторождения Южного Урала: Лемезинское, Ашинское и Зилимское.

Лемезинское месторождение расположено на правом берегу р. Лемезы, в 3 км восточнее д. Верхние Лемезы.

Сланценосная толща доманиковой свиты франского яруса имеет мощность до 20 м; строение сложное; выделяются три пласта горючих сланцев, имеющие промышленное значение: нижний мощностью 1,35 м, средний — 2,25 м, верхний — 1,75 м. Толщина породных прослоек между пластами 2—3 м. Все пласты характеризуются сложным строением и состоят из серии сланцевых слоев мощностью 0,1—0,4 м каждый, разделенных породными прослойками толщиной 0,05—0,1 м.

Условия разработки месторождения относительно благоприятные: отработку залежей целесообразно вести подземным способом.

Ашинское месторождение находится в 25 км южнее г. Аши.

Показатели	Месторождение								
	Лемезинское	Ашинское	Зилимское	Лемезинское	Ашинское	Зилимское	Лемезинское	Ашинское	Зилимское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
№ пробы									
1 . . . . .	2302	—	—	27,4	—	—	17,8	—	—
2 . . . . .	2008	—	—	23,9	—	—	15,5	—	—
3 . . . . .	1725	—	—	20,6	—	—	13,4	—	—
4 . . . . .	1531	—	—	18,2	—	—	11,8	—	—
5 . . . . .	1581	—	—	18,8	—	—	12,2	—	—
6 . . . . .	1488	—	—	17,7	—	—	11,5	—	—
7 . . . . .	1729	—	—	20,6	—	—	13,4	—	—
8 . . . . .	1536	—	—	18,3	—	—	11,9	—	—
9 . . . . .	1503	—	—	17,8	—	—	11,6	—	—
10 . . . . .	3023	—	—	35,9	—	—	23,3	—	—
Участки:									
Покосный . . . .	—	1388	—	—	16,6	—	—	10,8	—
Усть-Катавский	—	1177	—	—	14,0	—	—	9,1	—
Ивановский . . .	—	1098	—	—	13,1	—	—	8,5	—
Вид сланца:									
плотный . . . . .	—	—	1587	—	—	18,9	—	—	12,3
глинистый . . . .	—	—	922	—	—	10,9	—	—	7,1

Сланценосная толща мощностью 22—25 м состоит из 11 пластов горючих сланцев. Выходы их на поверхность имеют вид узких полос, вытянутых в северо-восточном направлении и приуроченных к восточному крылу крупной синклинальной складки. Западнее сланцевые пласты погружаются на глубину 320—400 м.

Зилимское месторождение расположено на правом берегу р. Зилима (правый приток р. Белой).

Сланценосная толща имеет спокойное залегание. Из всех сланцевых пластов здесь известен только один пласт сложного строения — в нем слои горючих сланцев переслаиваются битуминозными известняками; мощность сланцевых слоев 0,1—0,9 м, общая мощность 3,15 м. Выходы горючих сланцев прослежены по простиранию на 400 м.

Качественная характеристика горючих сланцев доманиковой фации приведена по Н. М. Страхову в табл. 28 [98].

### Горючие сланцы Белорусской ССР

Месторождения горючих сланцев Белорусской ССР расположены на территории Минской и Гомельской областей.

Сланценосные отложения распространены на значительной части западной половины Шатилковской депрессии и в прибортовой зоне Туровской депрессии [57]. Обе депрессии являются западным окончанием Припятского прогиба. Размеры площади распространения горючих сланцев определяются примерно до 3 тыс. км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща Туровской депрессии приурочена к верхнедевонским отложениям и залегает на глубине до 300 м; мощность ее довольно постоянна — 3—4 м; толща представляет собой монолитный пласт с незначительными прослойками известняков и плотных мергелей толщиной от 1—3 до 20—30 мм.

Сланценосная толща в Шатилковской депрессии состоит из двух-трех пластов горючих сланцев, разделенных породой толщиной от 5 до 20 м; мощность пластов горючих сланцев изменяется от 0,9—1,1 м (Старобинский участок) до 1,5—2,0 м (Оресский, Любанский, Глусский участки).

Потенциальные запасы горючих сланцев Припятского прогиба составляют примерно 4 млрд. т. При расчете принята минимальная мощность сланцевых пластов 1,5 м, плотность — 1,7 г/см<sup>3</sup>.

Горючие сланцы представляют собой плотную коричневатую породу с неровным или полураковистым изломом.

Органическое вещество бесструктурное. В нем редко встречаются обрывки витренизированных и фюзенизированных тканей высших растений и микроспоры. По окраске основной массы можно предполагать, что органическое вещество имеет сапропелевую природу; теплота сгорания органического вещества 8873—9441 ккал/кг (на абсолютно сухую массу).

Минеральная доля горючих сланцев представлена глинисто-карбонатной массой, очень тонкодисперсной. Присутствуют также мельчайшие зерна пирита.

В гидрогеологическом отношении верхняя толща данково-лебедянского горизонта, вмещающая горючие сланцы, имеет благоприятные условия для ведения горных работ. Водообильность пород изменяется в зависимости от их состава. Например, по двум разрезам толщи на Ельской структуре удельный дебит весьма незначительный и изменяется от 0,04 до 0,46 м<sup>3</sup>/сут. В прибортовой части Припятского прогиба, в зоне активного водообмена, где сланцевый пласт залегает на глубине 150—250 м, удельный дебит воды должен быть несколько больше. Здесь глинисто-мергельная толща не имеет в кровле водоупорного глинистого горизонта визейского яруса, и воды ее свободно сообщаются с водами других толщ.

Естественная влажность горючих сланцев изменяется от 1,33 до 2,19%.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по В. А. Котлукову в табл. 29 [57].

Таблица 29

Качественная характеристика горючего сланца Припятского прогиба  
Белорусской ССР

№ скважины	На абсолютно сухую массу		
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %
1	1987	21,1	13,7
2	2282	25,7	16,7
26	1925	21,8	14,2
27	2194	23,4	15,2

### Горючие сланцы Украинской ССР

На территории Украинской ССР залежи горючих сланцев расположены на площади Днепровского бурогоугольного бассейна, в юго-восточной части Украинского кристаллического массива и на Карпатах.

Болтышское месторождение находится в 10 км юго-восточнее г. Каменка, на правом берегу р. Днепра.

Горючие сланцы залегают горизонтально среди толщи сланцеватых глин бучакской и каневской свит Болтышской депрессии. В нижней части толщи пород на глубине 270—460 м залегают мощные пласты горючих сланцев; теплота сгорания до 1700 ккал/кг. Среди глин бучакской свиты на глубине 220—274 м расположена толща горючих сланцев, состоящая из шести сланцевых пластов [27]:

пласт I (нижний) имеет мощность 0,5—0,95 м, средняя — 0,72 м; подстилается толщей бучакских глин;

пласт II обладает средней мощностью 0,8 м;  
пласт III имеет мощность 1,9—2,2 м, средняя — 2,03 м;  
пласт IV имеет мощность 1,6—3,2 м, средняя — 2,3 м.

Средняя мощность пласта V 0,55 м, пласт VI имеет мощность, равную 0,7 м; кровлей пласта VI служит толща бучакских глин. Расстояние между сланцевыми пластами колеблется от 3 до 15 м.

Промышленное значение имеют только пласты III и IV, однако и они разделены породой толщиной от 9 до 13 м. Суммарная мощность сланцевых пластов 7,1 м.

Площадь Болтышской депрессии составляет 400 км<sup>2</sup>.

Потенциальные запасы горючих сланцев на этой площади исчисляются примерно в 4,5 млрд. т при плотности горючих сланцев 1,37—1,98 г/см<sup>3</sup>.

Поскольку промышленную ценность, обусловленную характером залегания, имеют только пласты III и IV, распространяющиеся на площади 341 км<sup>2</sup> (III пласт) и 361 км<sup>2</sup> (IV пласт), то с учетом средней мощности этих пластов возможные запасы горючих сланцев составляют 2,3 млрд. т.

Горючие сланцы темно-серого цвета имеют сапропелево-гумусовую природу. Образовались они в условиях мелкого моря (скорее залива) в спокойном бассейне. Для них характерна очень правильная слоистость.

Органическое вещество сланцев состоит главным образом из сине-зеленых водорослей и остатков наземного растительного материала, принесенного с суши, и представляет собой однородную буровато-желтую массу; теплота сгорания органического вещества на сухую массу 6577—7999 ккал/кг, средняя — 7365 ккал/кг.

Минеральная часть горючих сланцев глинистая с терригенной примесью в виде зерен кварца, пирита и чешуек слюды.

Гидрогеологические условия сложные. В разрезе Болтышской депрессии выделены три водоносных горизонта: первый из них расположен в четвертичных отложениях, в речных долинах на глубине от 1 до 6 м; дебит воды не превышает 1 л/с; второй залегает на глубине от 8 до 58 м в песках киевской и полтавской свит; дебит воды небольшой — 0,5—0,7 л/с; третий, бучакский горизонт является наиболее водообильным, глубина залегания его 103—124 м; мощность горизонта 15—86 м, дебит воды 2—2,8 л/с; пласты горючих сланцев и вмещающая их толща глин не обводнены. Естественная влажность горючих сланцев колеблется от 0,9 до 4,7%.

Качественная характеристика горючих сланцев Болтышского месторождения по А. И. Галаке и В. А. Котлукову приведена в табл. 30 [27].

Месторождения менилитовых битуминозных сланцев широко развиты в зоне Карпатских горных сооружений, на всем протяжении от польской до румынской границы. Накопления менилитовых сланцев расположены в нижнем олигоцене. Они обнажаются полосами протяженностью иногда до сотен километров и шириной от десятков метров до нескольких километров. Эти

Качественная характеристика горючих сланцев Болтышского месторождения Украинской ССР

№ пласта	На абсолютно сухую массу		
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %
I	2335	35,4	23,0
II	2578	38,5	25,0
III	3087	40,7	26,5
IV	3548	44,3	28,8
V	2245	32,6	21,2
I—VI	3012	40,7	26,5

полосы расположены главным образом в зоне Береговых Карпат и Ужок-Дуклянской подзоне, а также в зоне Центральных Карпат, Бориславской и Трускавецкой подзонах Внутренней зоны Предкарпатского прогиба.

Мощность менилитовой серии достигает 1700 м. На долю собственно битуминозных менилитовых сланцев приходится до 90% толщи. Учитывая огромную площадь распространения залежей менилитовых сланцев и большую мощность сланцевых толщ, можно предполагать, что потенциальные запасы полезного ископаемого колоссальны. Это — уникальная формация, подобная формации Грин-Ривер в США.

Менилитовые сланцы в основной массе имеют темно-бурый цвет. Слоистость их обусловлена чередованием более темно- и светлоокрашенных прослоек самих сланцев и тонких прослоек кремня, пирита, углистого органического вещества, чешуек рыб и растительного дёртита.

Таблица 31

Качественная характеристика менилитовых сланцев центральной части Верхне-Синевидного месторождения Украинской ССР

№ пробы	На абсолютно сухую массу		
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %
282	1480	21,3	13,9
284	1600	22,5	14,6
290	1200	18,4	12,0
293	1830	24,9	16,2
541	1330	21,8	14,2
542	1417	23,5	15,3
543	1358	22,6	14,7

Характерной особенностью менилитовых сланцев является необычайно тонкая диспергированность органического вещества в минеральной части породы и прочная химическая связанность последней.

Качественная характеристика менилитовых сланцев приведена в табл. 31.

### Горючие сланцы Грузинской ССР

В пределах Грузинской ССР сланценозные отложения встречаются в южной предгорной части Главного Кавказского хребта и приурочены к юрскому периоду. Площадь распространения залежей горючих сланцев по месторождениям Грузинской ССР составляет 30 км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы горючих сланцев на этой площади равны примерно 1,3 млрд. т. Данные о запасах горючих сланцев приведены в табл. 32.

Таблица 32

Расчет потенциальных запасов горючих сланцев по месторождениям Грузинской ССР

Месторождение	Площадь, км <sup>2</sup>	Средняя мощность, м	Средняя плотность, т/м <sup>3</sup>	Потенциальные запасы, млн. т
Джварское . . .	10	19,5	1,8	351,0
Рионское . . . .	20	26,0	1,8	936,0
Итого . . . .				1287,0

Горючие сланцы почти черного цвета, имеют значительную плотность и тонкую слоистость. От пламени спички большая часть горючих сланцев зажигается с трудом и горит коптящим пламенем, издавая запах жженой резины.

Органическое вещество под микроскопом выглядит коричневатобурой массой; теплота сгорания 6800—7400 ккал/кг.

Минеральная часть горючих сланцев глинистая с примесью мелких чешуек мусковита, биотита, мелких обломков кварца, полевого шпата, вторичных образований кальцита.

Наиболее разведанными и изученными являются месторождения Джварское и Рионское [55].

Джварское месторождение находится в бассейне р. Риони, в 15 км севернее ст. Орпири, на площади примерно 10 км<sup>2</sup>.

Сланценозные отложения залегают в антиклинальной складке северо-восточного простирания, величина углов наклона пластов — от 5—15 до 35°.

Толща сланцевых накоплений имеет сложное строение: пласты горючих сланцев перемежаются туфами и песчаниками, мощность

толщи достигает 130 м. Горючие сланцы расположены в толще тремя горизонтами, включающими по несколько сланцевых пластов:

нижний горизонт средней мощностью 14,9 м имеет девять пластов горючего сланца мощностью от 0,3 до 1,15 м каждый; суммарная мощность сланцевых пластов 6,4 м; прослойки представлены туфами и алевролитами;

средний горизонт лежит на 30 м выше нижнего, имеет мощность 8,8 м; в составе горизонта восемь сланцевых пластов мощностью от 0,4 до 1,1 м каждый; суммарная мощность пластов горючих сланцев 5,55 м; в качестве прослоек служат туфы и песчаники;

верхний горизонт залегает на 17,4 м выше среднего, мощность его 10,2 м; включает пять пластов горючих сланцев мощностью от 0,7 до 2,45 м каждый; суммарная мощность сланцевых пластов 7,55 м.

Средняя мощность сланцевых пластов в толще 19,5 м.

Рионское месторождение расположено в предгорной части Рионской низменности на площади 20 км<sup>2</sup> при впадении в р. Риони притока Гелеонис-Геле.

Сланценосная толща сложена горючими сланцами и песчаниками с включением тонколистоватых обогащенных органическим веществом пород, близких к горючим сланцам; мощность толщи достигает 130 м. Стратиграфически выше размещены отложения угленосной свиты.

Строение сланценосной толщи такое же, как и на Джварском месторождении:

нижний горизонт мощностью 12,1 м включает три пласта горючих сланцев, мощность которых 1,6—2,7 м; суммарная мощность пластов горючего сланца 7 м;

средний горизонт размещен на 55 м выше нижнего горизонта, его мощность 9,45 м; объединяет четыре сланцевых пласта мощ-

Таблица 33

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Грузинской ССР

Величина показателя	Месторождение					
	Джварское	Рионское	Джварское	Рионское	Джварское	Рионское
	На абсолютно сухую массу					
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %		лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
Максимальная	1500	1600	20,3	24,3	13,2	15,8
Минимальная	530	610	7,2	8,9	4,7	5,8

ностью от 0,5 до 2,05 м каждый. Суммарная мощность пластов горючего сланца 4,75 м;

верхний горизонт мощностью 17,5 м залегает на 23 м выше среднего горизонта; в его составе насчитывается семь сланцевых пластов, мощность которых изменяется от 0,5 до 3,85 м; суммарная мощность пластов горючих сланцев 14,25 м.

Общая мощность пластов горючего сланца всех горизонтов 26 м.

Качественная характеристика горючих сланцев дана по В. И. Конивецу в табл. 33 [55].

### Горючие сланцы Армянской ССР

На территории Армянской ССР сланценозные накопления развиты в небольших впадинах в области прогибания, обрамляющего мезозойское поднятие, выраженное в современном рельефе горным массивом Малою Кавказа, и приурочены к песчано-глинистым отложениям палеогена—неогена.

Площадь распространения залежей горючего сланца составляет примерно 30—36 км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы горючих сланцев исчисляются в 1,3—1,5 млрд. т.

Данные о запасах горючих сланцев приведены в табл. 34.

Таблица 34

Расчет потенциальных запасов горючих сланцев по месторождениям Армянской ССР

Месторождение	Примерная площадь, км <sup>2</sup>	Мощность, м		Средняя плотность, т/м <sup>3</sup>	Потенциальные запасы, млн. т	
		максимальная	минимальная		максимальные	минимальные
Нор-Аревикское	10	7,29	1,97	1,4	102,1	27,6
Дилижанское	20	40,00	40,00	1,4	1120,0	1120,0
Котайское . . .	16	7,90	6,50	1,8	327,5	187,0
Итого					1549,6	1334,6

Горючие сланцы представляют собой плотную с неравномерным, иногда с раковистым изломом породу от темно-серого до черного цвета. Для них характерна тонкослоистая текстура вблизи поверхности и плитчатая — в более глубоких по залеганию частях пластов.

Под микроскопом горючее вещество сланцев имеет цвет от светло-бурого до желтоватого. Состав его гуминовый или сапропелево-гумусовый; теплота сгорания органического вещества на сухую массу 7400—7650 ккал/кг.

Минеральная доля горючих сланцев представлена значительным количеством дисперсной глины, а также мелкими обломками

кварца и полевого шпата. От пламени спички сланцы не загораются.

Месторождения горючих сланцев расположены на северо-западе в Ахурянском и Гукасянском районах, близ оз. Севан в Дилижанском районе, а на юго-востоке — в пределах Мегринского района [55].

Нор-Аревикское месторождение находится в 1 км от одноименного села и в 25 км от ж.-д. ст. Мегры.

Сланценосная толща имеет мощность 25 м; сложена глинисто-известковисто-песчанистыми породами, включающими пять пластов горючих сланцев:

пласт I простого строения имеет мощность 0,2—0,5 м;

пласт II имеет сложное строение, мощность 0,45—3,25 м; в составе пласта несколько сланцевых слоев, перемежающихся породными прослойками;

пласт III монолитный, его мощность 0,14—0,3 м;

пласт IV простого строения, мощность 0,65—2,35 м;

пласт V состоит из двух-трех слоев, а на севере число слоев горючих сланцев увеличивается до 10—12; мощность изменяется от 0,68 до 1,58 м, на долю горючего сланца приходится от 0,53 до 0,89 м.

Дилижанское месторождение находится близ г. Дилижана, в правобережной части долины р. Акстафы.

Сланценосные отложения приурочены к северной части Севанского синклиниория палеогенового возраста. В свите пород горючие сланцы залегают тремя горизонтами:

I (нижний) горизонт мощностью 53 м насчитывает восемь сланцевых пластов мощностью от 0,5 до 4,0 м, из них три пласта мощностью 0,5—1,0 м и два пласта мощностью 3—4 м;

II (средний) горизонт мощностью 10 м имеет только один пласт горючего сланца сложного строения мощностью 7,5 м;

III (верхний) горизонт мощностью 35 м включает два пласта горючих сланцев мощностью 8 м (верхний) и 13 м (нижний); суммарная мощность пластов горючих сланцев в толще достигает 40 м.

Котайское месторождение расположено в 7—8 км севернее г. Еревана.

Сланценосные породы принадлежат здесь к отложениям среднего миоцена и раннего сармата. Горючие сланцы расположены двумя горизонтами в песчано-глинистых толщах:

нижний горизонт представлен одним-двумя сланцевыми пластами мощностью 0,8—2,0 м; глубина залегания горизонта 283—351 м;

верхний горизонт включает пять сланцевых пластов: пласт I (нижний) имеет мощность 0,2 м, пласт II — 0,3 м, пласт III — 3,0—3,2 м, пласт IV — 1,5 м, пласт V — 0,7 м; суммарная мощность сланцевых пластов верхнего горизонта равна 5,7—5,9 м.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по В. И. Конивцу в табл. 35 [55].

## Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Армянской ССР

Горизонт, пласт	Месторождение					
	Дилижан- ское	Котайское	Дилижан- ское	Котайское	Дилижанское	Котайское
	На абсолютно сухую массу					
	теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %		лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от орга- нического вещества), %		
Верхний						
I	—	536	—	7,0	—	4,6
II В	1529	—	20,4	—	13,3	—
II С	1837	—	24,5	—	15,9	—
II Н	1272	—	16,9	—	11,0	—
II	1653	—	22,0	—	14,3	—
III	1547	2035	20,6	26,6	13,4	17,3
IV В	1254	—	16,7	—	10,9	—
IV С	1235	—	16,5	—	10,7	—
IV Н	1270	—	16,9	—	11,0	—
IV	1953	1506	26,0	19,8	16,9	12,9
V	1065	934	14,6	12,1	9,5	7,9
I—V	1560	—	20,8	—	13,5	—
Нижний	—	213—979	—	2,8—12,8	—	1,8—8,3

Примечание. В — верхний, С — средний, Н — нижний слои.

Как показывают данные табл. 35, горючие сланцы Армянской ССР являются малокалорийными и многозольными, последнее обусловило довольно высокую плотность сланцев: от 1,9 до 2,4 г/см<sup>3</sup>.

## Горючие сланцы Азербайджанской ССР

Месторождения горючих сланцев Азербайджанской ССР расположены главным образом в восточной части республики, на северном и южном склонах Главного Кавказского хребта и его юго-восточного погружения.

Сланценовые отложения впервые были сформированы в верхнем альбе, о чем свидетельствует наличие пласта горючих сланцев мощностью 3,5—3,6 м в кюллюлинской свите. Однако здесь горючие сланцы имеют узколокальное распространение. Гораздо шире распространены сланценакопления в нижнем туроне северо-западной части Шемахино-Кобыстанского синклиория. В зоратском горизонте залегает пласт битуминозных мергелей мощностью 3 м и пласт черных горючих сланцев — 1,5 м.

Отложения горючих сланцев наблюдаются в породах среднего коуна, эоцена в Джейран-Кечмесской депрессии и в разрезах

верхнего отдела майкопской серии Шемахино-Кобыстанского полуострова, а также на Апшеронском полуострове в Западно-Апшеронском антиклинории. Сланценосная фация верхнего майкопа, подобно области среднего коуна, имеет протяжение в виде широтной полосы от р. Гирдыманчай на западе до северо-западной части Апшеронского полуострова на востоке.

Сланценозные накопления встречаются и в следующих по возрасту отложениях. В верхнем сармате они залегают в виде узкой полосы в пределах Кусары-Дивичинского синклиория.

Площадь распространения отложений горючих сланцев по трем наиболее разведанным месторождениям достигает 22—25 км<sup>2</sup>. Потенциальные запасы горючих сланцев исчисляются примерно в 0,5 млрд. т. При расчете приняты средние мощности сланцевых пластов по месторождениям и плотность сланца 2,29 г/см<sup>3</sup>.

Горючие сланцы представляют собой тонкодисперсную пелитовую массу с органическим веществом, имеющую темно-бурый (вплоть до черного) цвет. В свежем виде горючие сланцы крепкие, а при высыхании и выветривании — тонколистоватые (книжные); горят коптящим пламенем средней длины.

Минеральная часть горючих сланцев состоит из глинисто-слюдистых минералов с примесью зерен пирита, лимонита и кварца.

В Азербайджанской ССР известно около 30 месторождений и проявлений горючих сланцев, из которых только три месторождения — Кубинское, Диаллинское и Дженгичайское — в некоторой мере изучены [7, 101].

Кубинское месторождение расположено южнее г. Кубы, протягивается в виде узкой полосы шириной 0,5 км в субширотном направлении на 28 км от левого истока р. Верховчая на востоке до р. Кудиалчая на западе. С юга и севера месторождение ограничено хребтами.

Сланценосная толща имеет наибольшую мощность 255 м в верховьях р. Кешбад, восточнее и западнее от этого участка мощность толщи постепенно уменьшается. Пласты горючих сланцев в толще сближены и образуют горизонты, разобщенные пачками слоистых глин толщиной до 50 м. Максимальное число пластов горючих сланцев в толще достигает 15; суммарная мощность их составляет 12—15 м.

Глубина залегания пластов горючих сланцев достигает 200 м и более. Грунтовые воды отсутствуют.

Месторождение на многих участках может разрабатываться открытым способом.

Диаллинское месторождение находится в 2—3 км северо-восточнее с. Диаллы Исмаиллинского района.

Сланценосная толща размещается в породах верхнего сармата; мощность достигает 70 м; представлена она слоистыми глинами и пластами горючих сланцев. Породы толщи наклонены на север под углом 20—65° и севернее скрыты под надвигом известняков верхнего мела, распространены они в длину на 1,5 км и ширину —

0,5 км. Площадь толщи из-за сильного наклона фактически гораздо больше. В верхней части разреза толщи насчитывается 12 пластов горючих сланцев мощностью от 0,1 до 1,4 м. Преобладают мощные пласты сложного строения. Из всех пластов лучшими являются три простого строения: верхний (0,64 м), состоящий из двух слоев горючих сланцев мощностью 0,15 и 0,39 м; средний (0,4 м), отделенный от верхнего пласта на 11,5 м, и нижний (0,95 м), отделенный от среднего пласта на 8,5 м.

Дженгичайское месторождение расположено в 2 км восточнее пос. Дженги и в 60 км западнее г. Баку на площади 8 км<sup>2</sup>.

Сланценосная толща залегает в низах коуна и содержит пласты горючих сланцев мощностью до 5 м, суммарная мощность пластов горючих сланцев 11,05 м. Пласты круто наклонены под углом 55—85° с падением на ЮЗ 185°.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по А. Д. Султанову и Р. Г. Султанову в табл. 36 [7, 101].

Таблица 36

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Азербайджанской ССР

Величина показателя	Месторождение								
	Кубинское	Диаллинское	Дженгичайское	Кубинское	Диаллинское	Дженгичайское	Кубинское	Диаллинское	Дженгичайское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
Максимальная	1001	—	933	13,0	—	12,0	8,5	—	7,8
Минимальная	103	—	470	1,3	—	6,0	0,8	—	3,9
Средняя	510	738	—	6,6	9,5	—	4,3	6,2	—

### Горючие сланцы Казахской ССР

Горючие сланцы Казахской ССР приурочены к отложениям палеозоя, мезозоя и палеогена. Наиболее крупным месторождением горючих сланцев является Кендерлыкское в Зайсанской впадине. Практическое значение имеют горючие сланцы Байхожинского месторождения в Кызыл-Ординской области. На других месторождениях горючие сланцы либо залегают очень тонкими слоями и экономически непригодны для разработки, либо имеют незначительное содержание органического вещества.

Потенциальные запасы горючих сланцев Казахской ССР установить из-за отсутствия данных о распространении залежей

полезного ископаемого невозможно. Геологические запасы по четырем месторождениям исчисляются примерно в 6,02 млрд. т [20].

Горючие сланцы в зависимости от места и глубины залегания имеют различную характеристику.

Сланцы пласта Калын-Кара Кендерлыкского месторождения микроскопически представляют собой черную тонкослоистую породу с многочисленными трещинами кливажа и слагаются тонко перемешанными агрегатами каолинита светло-желтого цвета с включениями желтых и оранжевых микроспор. Агрегаты каолинита окружены сапропелевым веществом. В породе часто прослеживаются включения витрена и пиритизированные обрывки фюзена, скопления которого приурочены к поверхностным наслоениям. Основная масса сланца представлена желтовато-бурым сапропелево-гумусовым веществом с примесью глинистого материала.

Сланцы пласта Лучший темно-серого цвета, плотные с раковистым изломом и жирным блеском. В шлифах сланец обнаруживает очень тонкую слоистость, что обусловлено послойным распределением удлинённых спор, тонких обрывков растительных тканей в виде ксило-фюзена, ксилена и реже витрена. Основная масса сланца представлена светло-желтым сапропелевым материалом с примесью глинистых минералов; минеральная часть — агрегатами глинистых минералов, иногда кристаллического строения, а также отдельными кристаллами каолинита.

Химическая характеристика горючих сланцев пластов Калын-Кара и Лучший различна: теплота сгорания органического вещества на сухую массу для сланцев пласта Калын-Кара 6500—7380 ккал/кг и для сланца пласта Лучший — 9697 ккал/кг.

Сланцы караунгурской свиты имеют темно-коричневый цвет, матовую поверхность и раковистый излом. Основная масса его представлена смесью гумусово-сапропелевых веществ с минеральной составной частью. В этой массе разбросаны обрывки растений в виде ксило-фюзена и витрена, споры, кутикулы. Минеральная примесь в сланце — песчаные материалы, а глинистые имеют второстепенное значение. По своим химическим свойствам горючие сланцы караунгурской свиты превосходят сланцы пласта Калын-Кара и примерно схожи со сланцем пласта Лучший; теплота сгорания органического вещества сланца караунгурской свиты колеблется от 7000 до 9170 ккал/кг, средняя — 8370 ккал/кг.

Гидрогеологические условия изучены главным образом на Кендерлыкском месторождении. Все сланценозные отложения этого месторождения содержат водоносные горизонты, выходящие на поверхность в виде родников и источников. Дебит родников и источников обычно не превышает 1 л/с. Грунтовые воды в четвертичных отложениях обладают весьма непостоянным режимом и имеют небольшой дебит от 0,1 до 1,0 л/с.

Кендерлыкское месторождение находится в Восточно-Казахстанской области, в 40 км от г. Зайсана.

В стратиграфическом строении месторождения сланценовые отложения размещены в кендерлыкской, караунгурской и сайканской свитах. В первой из них залегают два пласта горючих сланцев сложного строения, получившие наименование Калын-Кара и Лучший. Оба пласта имеют промышленное значение.

Пласт Калын-Кара отделен от угольного пласта, приуроченного к кровле акансайской свиты, слоем известкового песчаника толщиной от 0,3 до 0,5 м; кровлей пласта служит слой песчаника толщиной 0,3—0,4 м. В составе пласта две сланценовые пачки: верхняя мощностью 0,8—1,0 м содержит много прослоек пустой породы и практического интереса не имеет; нижняя мощностью до 1 м свободна от прослоек породы, но включает довольно большие линзы битуминозного известняка. Средняя мощность пласта Калын-Кара 2,15 м. В его составе прослеживается семь породных прослоек общей толщиной 0,37 м, полезная мощность пласта по горючему сланцу равна 1,78 м.

Пласт Лучший суммарной мощностью 1,87 м содержит пять породных прослоек толщиной 1—3 см каждый, полезная мощность пласта по горючему сланцу 0,78 м. По направлению на север полезная мощность пласта увеличивается. Так, на II поле месторождения она достигает 0,95 м.

Выше пласта Лучший, в 80 м по разрезу, отмечается несколько слоев горючих сланцев мощностью от 0,1 до 0,4 м. По своему составу сланцы этих слоев скорее можно отнести к слабобитуминозным породам, содержащим от 4,6 до 6,5% смолы.

В толще караунгурской свиты сланценовый горизонт залегает в 100—220 м от нижней границы свиты, или примерно в 200—220 м от пласта Калын-Кара.

Наибольшая общая мощность горизонта в районе Айской антиклинали 120—135 м. В районе р. Майчат она уменьшается до 95 м, а по р. Аба — до 70 м. Севернее р. Аккола мощность горизонта резко уменьшается и теряет практическое значение. Слои горючих сланцев горизонта имеют мощность 3 м и обладают сложным строением.

Всего горизонт включает девять пластов горючих сланцев: пласт I (снизу) состоит из трех слоев горючих сланцев, разделенных прослойками слабобитуминозного алевролита; мощность пласта 1,7 м; мощность слоев горючего сланца 0,7 м;

пласт II размещается на 12 м выше пласта I, мощность его 0,16 м;

пласт III залегает на 4,2 м выше пласта II, представляет собой переслаивание битуминозного алевролита и аргиллита общей мощностью 1,21 м;

пласт IV имеет мощность 8,64 м; содержит две пачки горючих сланцев суммарной мощностью 6,4 м. В пачках сланцевые слои разделяются тонкими прослойками битуминозных аргиллитов и алевролитов. Таким образом, на долю горючего сланца в обеих пачках приходится примерно 4 м;

пласт V представлен двумя слоями горючего сланца мощностью 0,61—0,16 м;

пласт VI находится на 5 м выше пласта V, мощность его 0,45 м;

пласт VII мощностью 0,49 м залегает на 1,66 м выше пласта VI;

пласт VIII представлен двумя пачками битуминозного алевролита мощностью 0,21—0,43 м, разделенных прослойками песчаника и слабобитуминозного алевролита толщиной 0,23—0,3 м;

пласт IX находится на 10 м выше пласта VIII; представлен двумя прослойками битуминозного аргиллита толщиной 0,66—0,75 м, разделенных прослойками песчаника и алевролита толщиной примерно 0,8 м.

Сайканская свита имеет в своем составе четыре продуктивных горизонта:

первый из них расположен в 60—65 м от основания свиты и представлен тонким переслаиванием горючих сланцев, битуминозных пород, алевролитов, аргиллитов и доломитизированных известняков; мощность горизонта 23,5 м (скв. 11). В составе горизонта три пласта горючих сланцев мощностью 6,73; 8,81 и 2,48 м, полезная мощность пластов по горючему сланцу 4,56; 7,42 и 1,61 м соответственно;

второй горизонт размещается на 70 м над первым, представлен переслаиванием алевролитов, аргиллитов, мелкозернистых песчаников и доломитизированных известняков; мощность достигает 65 м. В разрезе его выделяются две части, из которых только верхняя часть содержит шесть пластов горючих сланцев мощностью от 0,62 до 6,96 м, суммарная мощность 15,81 м;

третий горизонт мощностью около 20 м представлен преимущественно битуминозными породами. Маломощные слои горючего сланца размещаются среди тонкого переслаивания битуминозных аргиллитов, алевролитов и песчаников;

четвертый горизонт находится на 135 м выше третьего, мощность его достигает 19 м. В составе горизонта имеются тонкие слои горючих сланцев мощностью 0,05—0,1 м.

Байхожинское месторождение расположено в Казалинском районе Кызыл-Ординской области.

Месторождение представляет собой синклиналичную складку шириной 5—8 км с пологим падением слоев на ее крыльях.

Пласт горючего сланца простого строения залегает здесь на глубине 7—12 м, мощность пласта 0,7—0,8 м.

Сагандыкское месторождение находится в Тарбагатайском районе Восточно-Казахстанской области, в 48 км от пристани Тополев Мыс на оз. Зайсан.

Сланценосный горизонт мощностью до 55 м содержит в себе два пласта горючих сланцев: нижний мощностью 3 м и верхний — 2,35 м. Оба пласта имеют сложное строение, суммарная мощность слоев горючего сланца: в нижнем пласте — 0,33 м, в верхнем — 1,55 м. В верхнем пласте горючий сланец двух слоев мощностью

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений  
Казахской ССР

Пласт	Месторождение								
	Кендерлык- ское	Байхожин- ское	Тологой- ское	Кендерлык- ское	Байхожин- ское	Тологой- ское	Кендерлык- ское	Байхожинское	Тологойское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
Калын-Кара:									
нижняя пачка по р. Аба . . . . .	2380	—	—	32,2	—	—	20,9	—	—
по р. Акколка . . .	3065	—	—	41,5	—	—	27,0	—	—
верхняя пачка по р. Акколка . . . .	1689	—	—	26,0	—	—	16,9	—	—
Лучший по р. Аба:									
максимальная . . .	4500	—	—	49,0	—	—	31,9	—	—
минимальная . . . .	2500	—	—	35,7	—	—	23,2	—	—
средняя . . . . .	3187	—	—	38,2	—	—	24,8	—	—

Пласт	Месторождение								
	Кендерлык- ское	Байхожин- ское	Тологой- ское	Кендерлык- ское	Байхожин- ское	Тологой- ское	Кендерлык- ское	Байхожинское	Тологойское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
Обнажения:									
по р. Караунгур:									
максимальная	2659	—	—	30,2	—	—	19,6	—	—
минимальная . .	1981	—	—	28,3	—	—	18,4	—	—
средняя . . . . .	2363	—	—	28,2	—	—	18,3	—	—
по р. Майчат:									
максимальная	3700	—	—	40,0	—	—	26,0	—	—
минимальная . .	700	—	—	10,0	—	—	6,5	—	—
средняя . . . . .	2031	—	—	24,2	—	—	15,7	—	—
к югу от р. Акколка:									
максимальная	2930	—	—	32,0	—	—	20,8	—	—
минимальная . .	430	—	—	6,1	—	—	4,0	—	—
средняя . . . . .	1545	—	—	18,5	—	—	12,0	—	—
По месторождению:									
максимальная . . .	—	5820	—	—	63,4	—	—	41,2	—
минимальная . . . .	—	2240	—	—	32,0	—	—	20,8	—
средняя . . . . .	—	—	2000	—	—	—	23,9	—	15,5

0,16 и 0,32 м имеет самое высокое качество по сравнению с сланцами других слоев данного месторождения.

Тологойское (Кара-Адырское) месторождение расположено в 4 км восточнее Тологойского месторождения каменного угля.

Продуктивный горизонт мощностью до 45 м залегает в средней части свиты; включает до 16 пластов и отдельных слоев горючего сланца общей мощностью 8,41 м, мощность отдельных сланцевых слоев колеблется от 0,3 до 4,6 м.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по Л. Ф. Белянкину в табл. 37 [20].

### Горючие сланцы Узбекской ССР

В Узбекской ССР горючие сланцы залегают в Байсунском районе Сурхан-Дарьинской области, образуя Байсунское месторождение. Оно расположено в предгорной полосе юго-западных отрогов Гиссарского хребта. В стратиграфическом разрезе месторождения наблюдается один пласт горючих сланцев.

На северо-западном крыле Байсунской синклинали этот пласт прослежен на протяжении 54 км от р. Ширабад близ сел. Дербент на западе до сая Аман-Хана на востоке [80], мощность пласта 0,4—0,72 м. Сланцевый пласт хорошо выдержан по простиранию, составу пород почвы и кровли, характеризуется постоянством стратиграфического положения. Подстиляется он глиной темно-серого цвета с включением желваков пирита. Кровлей пласта служит плотная глина светло-серого цвета с голубоватым оттенком. Строение пласта простое. Лишь у восточного окончания сланцевой полосы в пласте появляется породный прослоек толщиной 0,06—0,1 м.

Таблица 38

Качественная характеристика горючих сланцев Байсунского месторождения Казахской ССР

№ пробы	Глубина, с которой взята проба, м	На абсолютно сухую массу		
		теплота сгорания, ккал/кг	содержание органического вещества, %	лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %
44/1	2,5	2482	31,4	20,4
45/5	14,5	2371	27,1	17,6
46/9	26,5	1948	26,6	17,3
47/13	38,5	2385	27,3	17,8
52/41	51,0	2534	27,1	17,6
53/44	60,0	2630	27,6	17,9
60/54	30—60	2837	29,7	16,3
59/53	—	2638	28,8	18,7
58/52	—	2590	27,9	18,1
Среднее значение		2490	28,2	18,3

Площадь возможного распространения пласта горючего сланца до глубины 600 м достигает 1125 км<sup>2</sup>; средняя мощность 0,57 м, плотность сланца 2,2 г/см<sup>3</sup>. Потенциальные запасы горючих сланцев при этом исчисляются примерно в 1,4 млрд. т.

Горючие сланцы Байсунского месторождения относятся к битуминозному виду, представляют собой очень плотную породу с сильным битуминозным запахом. При длительном пребывании сланца на воздухе он теряет этот запах.

По содержанию органического вещества байсунские горючие сланцы похожи на волжские (Кашпир); теплота сгорания органического вещества колеблется от 7500 до 9500 ккал/кг, средняя — 8800 ккал/кг.

Качественная характеристика горючих сланцев приведена по Н. Л. Николаеву в табл. 38 [80].

### Горючие сланцы Таджикской ССР

На территории Таджикской ССР открыто шесть месторождений горючих сланцев: Каратау, Кабуньенское, Раватское, Гарауты, Кыз-Имчек и Тереклитау. Они расположены в Южно-Таджикском синклинии, оформленном альпийским тектогенезом.

Все месторождения горючих сланцев приурочены к отложениям палеогена и находятся в сузакском ярусе, сложенном главным образом зеленовато-серыми и серыми известковыми глинами; мощность сузакского яруса 55—160 м. В нем отмечены два пласта горючих сланцев мощностью 1,0 и 1,2 м, усредненная полезная мощность 0,7 м. Распространение их прослеживается на площади, простирающейся от юго-западных отрогов Гиссарского хребта до Оби-Гарма.

Площадь залегания горючих сланцев выявлена в настоящее время только по трем месторождениям: Каратау, Кабуньенскому, Раватскому и составляет около 1000 км<sup>2</sup>.

Потенциальные запасы горючих сланцев на этой площади до глубины 600 м исчисляются примерно в 1,1 млрд. т; плотность сланца 1,5 г/см<sup>3</sup>. На остальных месторождениях и площадях Южно-Таджикской депрессии потенциальные запасы сланца составляют, по всей вероятности, не менее 1,8 млрд. т; суммарные потенциальные запасы равны около 2,9 млрд. т [78].

Горючие сланцы представляют собой твердую породу, цвет которой изменяется от темно-коричневого и темно-серого до черного с тусклым блеском. Сланцы имеют тонко- и толстослоистую структуру, отличаются однородным сложением, вязкостью и способностью давать при выламывании плиты толщиной 2—5 см. В тонких пластинах сланец легко загорается; при горении имеет запах жженой резины.

Под микроскопом основная масса сланца состоит из смеси желтого и коричневого коллоидного вещества. Первое из них сходно с сапропелевой массой, а второе — с гуминовой.

По своей природе горючие сланцы относятся к лагунно-морской фации.

Месторождения Гарауты и Кыз-Имчек расположены на территории Микоянабадского и Джиликульского районов, на западных склонах Актау и гряды Кыз-Имчек, служащих водоразделом рек Вахша и Кафирнигана.

Пласт горючих сланцев залегают в сузакском ярусе и обнажаются главным образом на западных склонах Актау и гряды Кыз-Имчек, где прослеживается по простираению на расстояние от 7,5 до 22,5 км; мощность пласта горючих сланцев колеблется от 0,2 до 1,6 м, средняя мощность пласта на месторождении Гарауты составляет примерно 1,08 м, а на Кыз-Имчек — 0,7 м.

Месторождение Тереклитау находится на юго-западном склоне хр. Тереклитау, на территории Кировабадского района.

Пласт горючих сланцев приурочен здесь также к сузакскому ярусу; мощность пласта 0,5—0,7 м, что свидетельствует об исключительной выдержанности его.

Качественная характеристика горючего сланца приведена по Н. А. Никитиной в табл. 39 [78].

Таблица 39

Качественная характеристика горючих сланцев месторождений Таджикской ССР

Величина показателя	Месторождение								
	Гарауты	Тереклитау	Кабульенское	Гарауты	Тереклитау	Кабульенское	Гарауты	Тереклитау	Кабульенское
	На абсолютно сухую массу								
	теплота сгорания, ккал/кг			содержание органического вещества, %			лабораторный выход смолы по Фишеру (65% от органического вещества), %		
Максимальная	—	—	3201	—	—	37,6	—	—	24,4
Минимальная	—	—	1880	—	—	22,1	—	—	14,4
Средняя	1579	1525	—	18,6	18,0	—	12,1	11,7	—

На территории СССР залежи горючих сланцев отмечены, но не изучены на черноморском побережье Краснодарского края, в Туркменской ССР, Северо-Осетинской АССР и в других районах страны.

### ЗАПАДНАЯ ЕВРОПА

Месторождения горючих сланцев широко распространены и в странах Западной Европы. Однако многие из них бедные и имеют местное значение. Наибольший интерес представляет морской лейас — приблизительное расположение районов выхода

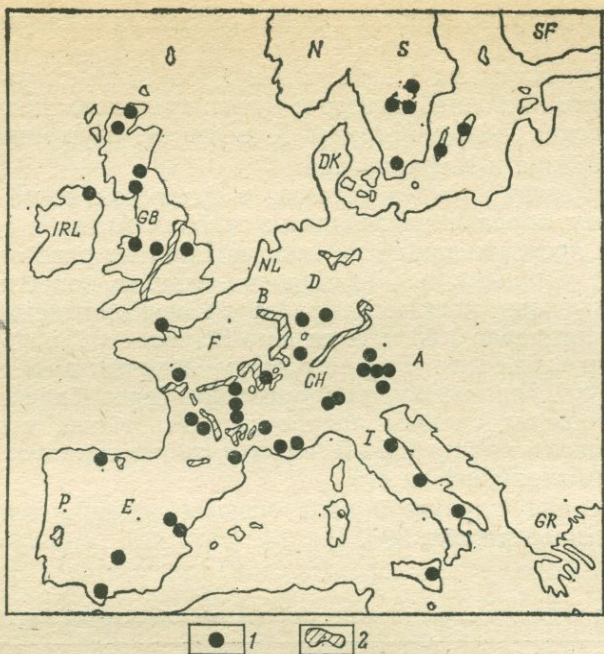


Рис. 9. Залежи горючих сланцев в Западной Европе (по Л. Е. Шлаттеру):

SF — Финляндия; S — Швеция; N — Норвегия; DK — Дания; D — Федеративная Республика Германии; NL — Нидерланды; B — Бельгия; GB — Великобритания; IRL — Ирландия; A — Австрия; CH — Швейцария; F — Франция; I — Италия; GR — Турция; E — Испания; P — Португалия; 1 — местные залежи; 2 — лейас (приблизительная площадь выхода пластов горючих сланцев)

пластов горючего сланца, — который имеет громадную протяженность вдоль края мезозойско-третичных бассейнов, возникших внутри мегатектонической структуры Западной Европы (рис. 9). Лейас включает несколько сланцевых пластов различной мощности и качества полезного ископаемого.

Многие месторождения, расположенные в горной системе Альп, в значительной мере тектонически разрушены, вследствие чего разработка их может оказаться весьма затруднительной. В табл. 40 приведены данные, позволяющие получить представление о месторождениях, размерах и возрасте залежей горючих сланцев Западной Европы [126].

### Австрия

В Австрии известны такие крупные месторождения горючих сланцев, как Зеефельд, Бехентал и Херинг, расположенные в районах Тироля и Каринтии. Кроме того, имеется еще не менее 12 за-

Сравнительная характеристика месторождений горючих сланцев Западной Европы [126]

Месторождение горючих сланцев и его местонахождение	Возраст	Мощность, м	Объемная доля вы- хода смо- лы, %	Размеры	Фация
<b>Австрия</b>					
Зефельд (Тироль)	Триасовый	40	15—30	Незначительные	Переходная
Бехентал — Сахранг (Тироль)	Юрский	1—35	15	„	Морская
Херинг (Тироль)	Третичный	1—20	15	„	Озерная
<b>Бельгия и Люксембург</b>					
Лейас (провинция и герцогство Люксембург)	Юрский	10—20	19	Небольшие	Морская
<b>Швейцария</b>					
Мерид (Тицино)	Триасовый	1	27	Незначительные	Морская (береговая)
Лейас (Северо-Западная Швейцария)	Юрский	15	20	Неразведанные	То же
<b>Федеративная Республика Германии</b>					
Саар — Нахе (Саар)	Пермский	0,5	—	Неразведанные	—
Карвендел (Бавария)	Триасовый	2	30	Незначительные	Морская
Лейас (Северо-Западная и Юго-Западная ФРГ)	Юрский	5—8	12—16	Крупные	„
Мессел (Гессен)	Третичный	2—300	—	Незначительные	Озерная
<b>Испания</b>					
Пуэртольяно (Горный Реал)	Каменноугольный	3—5	25—30	Небольшие	—
Лейас (Контабрия)	Юрский	30—50	—	Неразведанные	Морская
Ронда (Малага)	„	—	—	„	—
Овьедо (Овьедо)	Меловой	3	30	Незначительные	Материковая
Рибесалбес (Кастельон)	Третичный	Небольшая	26	„	Озерная
Рубиело-де-Моро (Теруел)	„	„	—	Неразведанные	То же

Месторождение горючих сланцев и его местонахождение	Возраст	Мощность, м	Объемная доля выхода смолы, %	Размеры	Фация
<b>Франция</b>					
Естерел (Вар)	Каменноугольный	Неизвестна	36	Незначительные	Переходная
Файморе (Вендес)	"	1	30	Неразведанные	"
Литри (Манше)	Каменноугольный	12	—	Неразведанные	Переходная
Аутун (Алиер)	Пермский	1—4	19—25	"	—
Аумансе (Алиер)	"	1—2	18—23	"	—
Лейас	Юрский	10—15	10—14	"	Морская
Ст. Помпон (Дордон)	"	—	10—15	Незначительные	"
Вагниас (Ардеке)	Меловой	Небольшая	25—30	Неразведанные	Переходная
Маноске (Альпы)	Третичный	3—5	20—30	"	"
Фройдефонтейн (Ринь)	"	6—30	—	"	Морская
Лэвесере (Дордон)	"	—	—	Незначительные	"
Малвезе (Ауде)	"	—	17—25	"	Озерная
Менат (Доме)	"	70—100	—	"	"
Ля Бутаресс (Доме)	"	—	—	"	"
<b>Великобритания</b>					
Шотландские плоскогорья	Девонский	2	—	Неразведанные	Морская
Лотианы	Каменноугольный	1—4	23	Небольшие	Переходная
Южный Шотландский каменноугольный бассейн	То же	1	30	Неразведанные	"
Флинтшайр	Каменноугольный	1	—	Неразведанные	Переходная
Северный Стаффордшайр	То же	1	—	"	"
Энтрим (Северная Ирландия)	"	6	20	"	"
Бора (Шотландия)	Юрский	—	22	Незначительные	"
Лейас (Соммерсет)	"	1—6	10	Неразведанные	Морская
Кимеридж	"	1	25	"	"
<b>Италия</b>					
Безаро (Ломбардия)	Третичный	1	24	Незначительные	"

Месторождение горючих сланцев и его местонахождение	Возраст	Мощность, м	Объемная доля выхода смолы, %	Размеры	Фация
Молларо (Трентино)	Меловой	2	20	Небольшие	„
Метауро (Марке)	„	1	18	Неразведанные	„
Киети (Абруци)	Третичный	20	13	„	„
Таранто (Базиликата)	„	—	—	„	—
Сицилия (Сицилия)	„	5	20	„	Переходная
<b>Норвегия</b>					
Свалбард (Шпицберген)	Триасовый	25	—	„	Морская
<b>Португалия</b>					
Лейас (Коимбра)	Юрский	Небольшая	Низкая	Неразведанные	Морская
<b>Швеция</b>					
Нерке (Оребро)	Кембрийско-силурийский	10—15	15—19	Малоразведанные	„
Вастерготланд (Скараборг)	То же	11	15	„	„
Омберг (Остерготланд)	„	18	12	„	„
Оланд (Оланд)	„	—	—	Неразведанные	„
Готланд (Готланд)	„	—	—	„	„
Сандакра (Кристианштадт)	Третичный	24	15—25	„	—

лежей горючих сланцев, находящихся в местах, неудобных для промышленной разработки — главным образом в тектонически сильно разрушенных районах Альпийских гор.

В многочисленных работах опубликованы результаты петрографических микропалеонтологических и геохимических исследований большого количества образцов горючих сланцев, полученных на различных месторождениях Австрии [135, 147].

В зависимости от характера месторождений различают четыре вида горючих сланцев: известковый и частично песчано-мергелистый, залегающий ритмично (месторождение Зеефельд); линзообразные образования битуминозного мергеля внутри чистых пластов доломита (месторождение Ахензее). Этот вид сланца сходен со сланцем первого вида; мергель с высоким содержанием глины, залегающий между бедными или вовсе не содержащими органического вещества мергелями (месторождение Бехентал); однородный либо тонкослоистый битуминозный мергель (месторождение Херинг). Этот вид сланца тектонически менее деформированный, нежели горючий сланец залежей Зеефельд.

Все виды горючего сланца Австрии приурочены к триасовому, юрскому и третичному периодам и могут разрабатываться в промышленных масштабах.

К триасовому периоду относятся горючие сланцы Зеефельда. На этом месторождении ритмично чередующиеся доломиты и известняки содержат тонкослоистые, частично доломитизированные битуминозные мергели. Вследствие неоднократных тектонических передвижений в период орогенеза залежи приобрели сложную складчатую структуру. Пласты с содержанием битуминозных образований имеют мощность примерно 700 м [30]. Экономическую ценность представляют шесть горизонтов общей мощностью 120 м. Среднее содержание органического вещества в сланцах составляет около 4%, а в богатых слоях — 10—45%.

Месторождение Зеефельд. Горючие сланцы относятся к переходному виду между битуминозными и пиробитуминозными сланцами. Они содержат значительное количество экстрагируемой смолы, что обусловлено наличием в трещинах, контактах и плоскостях напластования свободного битума.

Органическое вещество горючего сланца представляет неопределенный материнский углеродистый обломочный материал плохо сохранившихся растительных и животных организмов.

Месторождение Бехентал, расположенное к северо-западу от Ахензее, в Тироле, относится к юрскому периоду, мощность пласта горючих сланцев доходит до 35 м. Верхние слои состоят из многоцветного конгломератового известняка, а нижние — из силекситовых пластинчатых известняков верхнеюрского периода. Содержание органического вещества в горючих сланцах этого месторождения колеблется от 5 до 10% [145].

Месторождение Херинг. Горючие сланцы представляют собой третичные образования долины р. Нижнего Инна, заполняю-

щие котловину между мезозойскими осадочными породами тиро́льских известняковых Альп и палеозойскими напластованиями к югу от р. Инн, состоящими из разнородных лимнических приобонских горных пород. Выше подстилающего конгломерата находится угольный пласт, толщина которого колеблется от 1 до 10 м. Пласт горючего сланца мощностью 6 м располагается непосредственно на угольном пласте, а ниже встречается нуммулит-брекчия. Над ним лежит 50-метровый слой, состоящий частично из битуминозного мергеля и известняка со свободными от битума прослойками. За этой толщей следует слой морского мергеля латторфского яруса. Толщина этого слоя составляет несколько сот метров. Содержание органического вещества в горючем сланце колеблется от 5 до 20%.

Плотность горючих сланцев австрийских месторождений зависит от содержания в них битума. С увеличением содержания битума уменьшается их плотность. Горючие сланцы с выходом смолы от 5 до 50% имеют плотность от 2,3 до 1,3 г/см<sup>3</sup>. Содержание серы колеблется от 4 до 15% (от сырой смолы).

### Федеративная Республика Германии

Среди залежей полезных ископаемых Федеративной Республики Германии горючие сланцы занимают незначительное место. Они находятся в Вюртемберге, Месселе, Брауншвейге и в других районах страны. Самым богатым месторождением горючих сланцев является Мессел (близ г. Дармштадта), относящееся к озерной фации. Однако к настоящему времени оно в значительной степени истощено. Пласты месторождения Карвендел в Баварии имеют местное значение. В большинстве своем они тектонически разрушены. Пермские отложения бассейна Саар—Нахе еще недостаточно изучены, и поэтому о потенциальных запасах горючих сланцев этого бассейна мало известно.

Наиболее распространен и сравнительно хорошо изучен лейас. Он простирается на северо-западе и юго-западе страны близ швейцарской границы, у Базеля. Его образование относится к юрскому периоду. Горючие сланцы лейаса — посидонские сланцы — имеют коричневый цвет. Качество их обусловлено различным характером происхождения, но в основном постоянно [61]. Органическое вещество очень тонко распределено внутри минералов. Иногда можно наблюдать прораствание кварца с керогеном. Состав органической массы: С — 81,8%, Н — 8,8%, О — 7,8%, N — 1,5% [88]. Горючие сланцы месторождений ФРГ, как и австрийские, являются переходным видом. Их органическое вещество не может быть полностью экстрагировано с помощью различных растворителей. В эфире, метаноле, бензоле и четыреххлористом углероде растворяется примерно 8% органической массы сланца, что составляет 1,3% общей его массы. В пластах, выходящих

на поверхность, горючие сланцы имеют в своем составе 6% органического вещества.

Все экстракты содержат незначительное количество (примерно 0,1%) массы органического вещества, минерального масла, смеси насыщенных, частично разветвленных, частично нафтеновых углеводородов (С — 85—86%; Н — 11,0—11,5%). В связи с этим использование горючих сланцев путем экстракции растворителями оказывается невозможным. Теплота сгорания сланца составляет примерно 1800—2000 ккал/кг, выход смолы — 6,5%.

Основная часть неорганического вещества горючих сланцев состоит из различных видов минералов: иллита, каолинита, монтмориллонита, а также кварца и карбонатов (преимущественно карбоната кальция). Кроме того, найдено большое количество фосфатов, пирита, марказита.

Технические свойства горючих сланцев зависят во многом от глубины их залегания. Горючие сланцы, расположенные на большой глубине, представляют собой твердую породу, дробящуюся на остроугольные куски; содержание в них воды небольшое, примерно 1,5—3,0%, даже когда дробление производится в обводненном забое. Горючие сланцы, добытые с небольшой глубины, оказываются менее твердыми и расщепляются на пластины. При дальнейшем дроблении они расслаиваются на тонкие листы. Под воздействием длительного выветривания горючие сланцы этого вида разбухают до образования мягкой пены. Однако точной зависимости между глубиной залегания и свойствами горючих сланцев установить невозможно [141].

Так, например, горючие сланцы, выходящие на поверхность в районе г. Брауншвейга, и горючие сланцы, добытые в 40 км от него с глубины 1600 м, обладают совершенно одинаковыми свойствами. Другие же образцы горючих сланцев, взятые с глубины 900 м на шахте, расположенной южнее г. Брауншвейга, имеют совершенно иные свойства.

Механические свойства горючих сланцев также не всегда обусловлены глубиной залегания. Горючие сланцы, добытые с большой глубины, спонтанно расщепляются на овальные диски толщиной 3—4 см. Горючие сланцы, добытые открытым способом, наоборот, в течение нескольких лет сохраняют свою первоначальную твердость.

Сланцевая зола, получаемая в результате сухой перегонки горючих сланцев, плавится при температуре 900—1000°С, независимо от окружающей среды. Расплавленная зола может быть использована при изготовлении искусственной пемзы или силикатных соединений цемента.

Теплота сгорания горючих сланцев колеблется от 1200 до 2000 ккал/кг. При полукоксовании 50% потенциального тепла горючих сланцев переходит в сланцевую смолу, 7,5% — в газ и 42,5% — в зольный остаток.

## Испания

Горючие сланцы встречаются в различных районах страны и их образование относится к юрскому и каменноугольному периодам. Экономически целесообразными для промышленной разработки являются залежи горючих сланцев в угольном бассейне Пуэртольяно. Они имеют протяженность 22 км с востока на запад и в ширину от 1,5 до 4 км. В бассейне Пуэртольяно залежи каменного угля расположены почти горизонтально на силурийской синклинали. Среди разрабатываемых угольных пластов находятся три пласта горючего сланца [90]:

пласт *A* не представляет экономического интереса для эксплуатации ввиду незначительных выходов смолы при сухой перегонке горючего сланца;

пласт *B* размещен между четвертым и пятым пластами каменного угля, мощность его превышает 4 м; пересечен тремя прослойками песчаников соответственно 8, 7 и 3 см в высоту. Начиная снизу, четыре слоя горючего сланца, из которых состоит данный пласт, имеют соответственно толщину 2,43; 0,72; 0,57; 0,48 м. Нижний слой наибольшей мощности является самым богатым по выходу смолы. Разработку начинают с нижнего слоя, переходя затем к верхним;

пласт *C* имеет мощность около 1 м. Содержание горючего вещества в этом сланце гораздо больше, чем в сланце пластов *A* и *B*, что и определяет больший выход смолы.

Запасы пригодных для эксплуатации горючих сланцев составляют 104 млн. т. Выход смолы составляет в среднем по бассейну Пуэртольяно 11% массы горючего сланца.

Горючие сланцы других месторождений Испании недостаточно изучены, чтобы сделать какие-либо определенные выводы относительно их качества и размеров потенциальных запасов.

## Франция

На территории Франции расположены многочисленные месторождения горючих сланцев. Наиболее крупными из них являются Аумансе и Аутун, относящиеся к пермскому периоду. Остальные месторождения мало разведаны, и геологические запасы определены весьма ориентировочно.

Горючий сланец месторождения Аумансе имеет незначительное содержание органического вещества, что обуславливает выход смолы примерно 5—7% по массе.

Сланцевый бассейн Аутун расположен в департаменте Сены и Луары. Горючие сланцы залегают на площади 20 тыс. га. Максимальная глубина залегания сланцевых пластов достигает 1000 м. Сланценосная толща пород пермского возраста разделена на три свиты:

нижняя свита Игорнс-Лалли включает три сланцевых слоя мощностью 1,8; 2,5 и 3,0 м; они разделены прослойками породы толщиной 2—3 м; выход смолы с 1 т сланца колеблется от 3,75 до 4,5%;

средняя свита горючих сланцев Комай-Шамбуа мощностью 300—350 м содержит один пласт горючего сланца 2,5—3,0 м; выход смолы составляет 3,75—4,5%;

верхняя свита Миллери мощностью около 400 м включает несколько сланцевых пластов, разделенных прослойками породы. Средняя мощность 1,5 м; выход смолы с 1 т сланца 4,5%. Нижний и верхний пласты горючих сланцев покрывают пласты каменного угля. Кроме того, на территории Франции находится большая часть лейаса, который периодически разрабатывался в экспериментальных целях, но не приобрел еще экономического значения.

Многие другие известные месторождения горючих сланцев либо мало исследованы, либо имеют сугубо местное значение.

В табл. 41 приведены потенциальные запасы горючих сланцев Франции.

Таблица 41

Потенциальные запасы горючих сланцев Франции и выход смолы из них

Месторождение	Запасы горючих сланцев, млн. т	Выход смолы	
		массовая доля, %	млн. т
Аумансе . . . . .	334	5—7	20
Аутун . . . . .	200	3,75—9,0	10
Лейас . . . . .	890	4,5	40
Вагнас, Маноске, Лэвесере, Менат и др. . . . .	2700	4,5—5,7	135
Итого . . . . .	4124		205

**Великобритания**

Горючие сланцы широко представлены в осадочных породах. Самое большое месторождение их находится в угленосных свитах Центральной Шотландии в графствах Лотиан (средняя и западная части) и Ланкашир (к западу от г. Эдинбурга) (рис. 10).

Эдинбургский сланцевый бассейн имеет относительно большое количество осадочных пород, входящих в группу горючих сланцев [31]. Общая толщина залежей горючих сланцев составляет 1000 м [100]. В Западном Лотиане группа горючих сланцев достигает максимальной мощности 1800 м (рис. 11). К северу, югу и юго-западу наблюдается уменьшение мощности пластов горючего сланца. На крайнем западе найдены пласты горючих сланцев на глубине от нескольких метров до 366 м от земной поверхности. Существуют многочисленные выходы сланцевых пластов на поверхность; объясняется это тем, что большая часть их находится в синклиналиных складках шириной в несколько километров. Все месторождение пересечено четырьмя главными складками и множеством второстепенных.

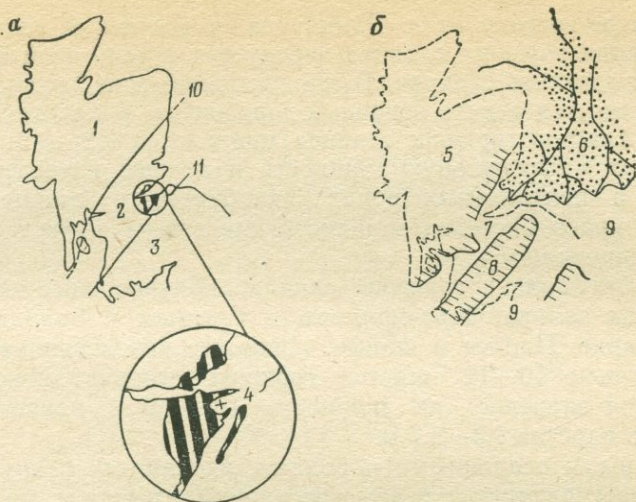


Рис. 10. Группа горячих сланцев Великобритании (по Д. Т. Гринсмицу):

*a* — существующие обнажения группы горячих сланцев; *b* — обобщенная палеогеография периода группы горячих сланцев; 1 — Шотландская возвышенность; 2 — Мидлэндская долина; 3 — Южная возвышенность; 4 — Эдинбург; 5 — Североатлантический горный массив; 6 — дельта; 7 — озеро; 8 — горный массив Южной возвышенности; 9 — море; 10 — ограничивающий сброс возвышенности; 11 — сброс Южной возвышенности

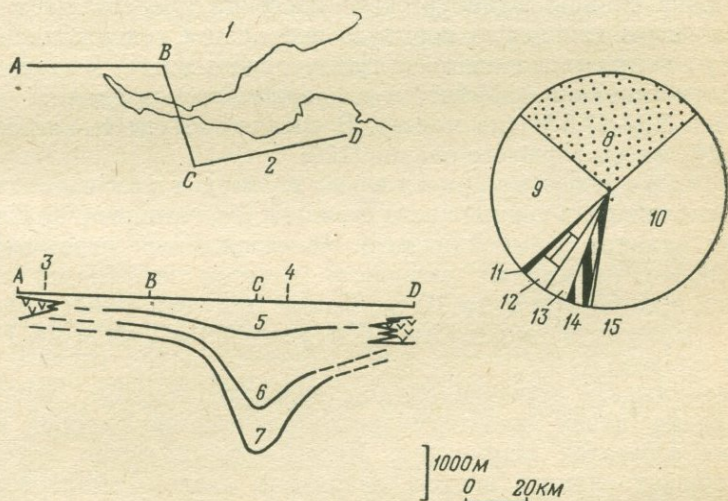


Рис. 11. Разрез (ABCD) по Эдинбургскому сланцевому бассейну и соотношения осадочных пород в группе горячих сланцев (по Д. Стюарту):

1 — Файф; 2 — Лотнаны; 3 — Стерлин; 4 — Эдинбург; 5 — верхняя группа горячих сланцев; 6 — нижняя группа горячих сланцев; 7 — группа глинистого известняка; 8 — песчаник; 9 — алевроит; 10 — сланец; 11 — уголь; 12 — известняк неморского происхождения; 13 — мергель и зола; 14 — горячий сланец; 15 — морские отложения

К северо-востоку от г. Эдинбурга, в восточной части Файфшира, фация горючих сланцев чередуется с дельтовой фацией, не имеющей горючих сланцев. В продуктивной зоне группы горючих сланцев имеется девять основных горизонтов. В каждом из них — до пяти пластов горючих сланцев мощностью 0,2—6 м. Все пласты имеют максимальную мощность и лучшее качество горючих сланцев в центральных зонах Эдинбургского сланцевого бассейна; у краев бассейна мощность пластов и качество горючих сланцев понижаются.

Разрабатывались горючие сланцы, приуроченные к карбону на берегах залива Ферт-оф-Форт, в Среднем и Западном Лотиане, Ленарке, Пиблсе и Файфе. Наиболее интенсивно разрабатывались только 10—12 пластов горючих сланцев, имеющих промышленное значение; их мощность 1,2—4,3 м, причем средняя мощность пластов 1,8—2,7 м.

Основными осадочными породами, входящими в группу горючих сланцев, являются: речные песчаники, алевроиты, маломощные пласты высокозольных углей. Для этой группы горючих сланцев характерно тонкое и равномерное расслоение. Следы пересеченных и смятых пластов и струйчатости встречаются в изобилии в линзовидных песчаниках, а алевроиты поперечно расслоены, имеют следы волнистости и часто биотурбитны. Внутри и у основания этих песчаников и алевроитов встречаются размытые пу-стоты, борозды и крупные выемки.

Горючие сланцы Эдинбургского бассейна представляют собой тонкослоистую глинистую породу с небольшим содержанием карбоната от темно-коричневого до густо-черного цвета. Выход смолы при полукоксовании колеблется в зависимости от слоя и может достигать 5,9—17,5% (по массе). В среднем выход смолы составляет 8,2% массы горючего сланца [100].

Месторождение кимериджских горючих сланцев расположено в южной части страны в Дорсетшире [73]. Пласты горючих сланцев Кимериджского месторождения перемежаются прослойками известняка, мощность пластов колеблется от нескольких миллиметров до 10 м. Самый богатый пласт горючего сланца (Блэкстоун) мощность 0,6 м дает 300 л смолы на 1 т горючего сланца.

Кимериджские горючие сланцы залегают тонкими пластами, легкоплавки, ввиду чего термическое разложение сланцев в статических агрегатах затруднено. Кроме того, качество смолы из этих горючих сланцев низкое: сланцевое масло — смолистое, обладает очень высокой плотностью и содержит до 6% серы. Значительные месторождения горючих сланцев имеются в Норфольке. Выход смолы из горючих сланцев от 180 до 400 л/т.

В табл. 42 приведены данные, характеризующие потенциальные ресурсы горючих сланцев Великобритании.

## Потенциальные запасы горючих сланцев Великобритании и выход смолы из них

Месторождение	Запасы горючих сланцев, млн. т	Выход смолы	
		массовая доля, %	млн. т
Западный Лотиан . . . . .	1098	8,2	90
Энтрим, Лейас, Кимеридж и др. . . . .	3340	4,5	150
Всего . . . . .	4438		240

## Болгария

В геологическом строении недр Болгарии принимают участие горные породы различных возрастов. Горючие сланцы относятся к третичному периоду и залегают на глубине до 300—350 м [128]. По содержанию органического вещества болгарские сапропелевые горючие сланцы лишь немного уступают шотландским.

Запасы горючих сланцев на относительно разведанных и изученных месторождениях составляют примерно 60 млн. т. Потенциальные запасы превышают несколько сот миллионов тонн.

Важнейшими месторождениями горючих сланцев Болгарии являются: Боровдольское, Николаевское, Пиринское и Брезникское.

Боровдольское месторождение горючих сланцев расположено в восточной части Балканского хребта на расстоянии 7 км от ж.-д. ст. Чумерна. Недалеко от Боровдольского находится Николаевское месторождение горючих сланцев.

Сланценосная толща на этих месторождениях залегают под угольными пластами на небольшой глубине; состоит из трех пак, разделенных породными прослойками.

Запасы горючих сланцев в исследованных частях Боровдольского и Николаевского месторождений определены в 20 млн. т. Добыча горючего сланца может быть осуществлена на этих месторождениях как подземным, так и открытым способами.

Средняя теплота сгорания горючего сланца 1750 ккал/кг, содержание золы 69%. Органическое вещество сланца имеет в своем составе: С — 74,2%, Н — 9,2%, О и N — 15,2% и S — 1,4%; средний выход смолы достигает 7—8% (по массе).

Пиринское месторождение горючих сланцев находится в 5 км от ст. Крупник. Сланценосные пласты размещаются над угольными.

Наиболее богатыми органическим веществом являются нижние сланцевые пласты, расположенные непосредственно над углем.

Изученные запасы горючих сланцев на глубине до 150—200 м составляют 28 млн. т; вероятные запасы полезного ископаемого на глубину до 300—350 м исчисляются по этому месторождению примерно в 50 млн. т; средняя теплота сгорания горючих сланцев равна 1810 ккал/кг, зольность — 73,6%; выход смолы достигает 16%.

Брезникское месторождение битуминозных сланцев расположено в 5 км севернее от Брезника и простирается на 5 км в северо-западном направлении.

Изученные запасы сланцев составляют 19 млн. т; потенциальные запасы определяются по меньшей мере в 50 млн. т; зольность сланцев достигает 78,2%, а средний выход смолы — 7—8%.

### Польша

Польская Народная Республика располагает значительными запасами горючих сланцев. Многие месторождения этого полезного ископаемого представляют экономический интерес. С целью их использования изучаются физико-химические свойства горючих сланцев и продуктов термического разложения [148], производится сопоставление сланцевой смолы с нефтями и сланцевыми смолами других зарубежных месторождений.

На месторождении близ Сидры (на северо-западе страны) горючие сланцы расположены на глубине от 1,5 до 3 м [134]; влажность горючего сланца довольно значительная и достигает 14%; выход смолы с 1 т горючего сланца этого месторождения составляет 13,4%.

Горючие сланцы четвертичного периода из Голкова, близ Варшавы, имеют выход смолы, равный 22% от массы полезного ископаемого.

### Югославия

Наиболее изученными и исследованными в Югославии являются горючие сланцы крупнейшего месторождения страны, расположенного в окрестностях небольшого городка Алексинац в Сербии. Запасы горючих сланцев составляют 750 млн. т, из которых 311 млн. т пригодны для промышленной разработки [75, 83].

Пласты горючего сланца на месторождении в Алексинаце расположены двумя ярусами: один из них служит кровлей, а другой — подошвой пластов каменного угля. Пласт верхнего яруса состоит из двух слоев горючего сланца мощностью 12—15 и 20—26 м; выход смолы из горючих сланцев первого слоя составляет 9—14%, второго — 13,3—14,8% на сухое вещество. Горючие сланцы нижнего яруса имеют мощность до 30 м и изучены меньше, чем сланцы верхнего яруса; выход смолы с 1 т горючего сланца достигает 11,2%. Среднее содержание органического вещества в горючих сланцах, как показывают пробы, составляет 21%; влажность — 3%; теплота сгорания сланца — около

1800 ккал/кг [23]. Минеральный остаток термического полукоксования горючего сланца имеет следующий состав:  $\text{SiO}_2$  — 41,56%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 13,25%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 11,18%;  $\text{CaO}$  — 22,62%;  $\text{MgO}$  — 3,57%;  $\text{SO}_3$  — 5,72%;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  — 1,64%.

В Югославии известны и другие небольшие месторождения горючих сланцев, как, например, у р. Малой Руды. Запасы горючих сланцев этого месторождения составляют 10—15 млн. т; сланцы содержат примерно 13—31% органического вещества; выход смолы в среднем 16,5%.

### Швеция

В Швеции наиболее разведанными являются месторождения Нерке и Вастерготланд. Известны также залежи горючего сланца в Омбер, Оланд, Готланд, Сандакра, которые недостаточно изучены.

Образование горючих сланцев в Швеции относится в основном к кембрийскому и силурийскому периодам. Самое крупное месторождение провинции Нерке расположено в 180 км к западу от г. Стокгольма в Кванторпе. Горючий сланец залегает двумя пластами мощностью 7—8 м каждый:

верхний пласт перекрыт слоем известняка незначительной толщины, содержит линзообразные конкреции известняка; выход смолы составляет 5% от массы сланца;

нижний пласт дает выход смолы 6—7% от массы сланца [121].

В северной части месторождения пласты горючего сланца выходят на поверхность.

Горючие сланцы месторождения Нерке залегают на небольшой глубине и разрабатываются открытым способом.

Запасы горючих сланцев Швеции представлены данными табл. 43.

В Европе горючие сланцы встречаются также в Норвегии, Чехословакии, Швейцарии, Бельгии, Люксембурге и Италии. Однако месторождения горючих сланцев этих стран еще слабо изучены и мало известны.

Таблица 43

Запасы горючих сланцев Швеции и выход смолы из них

Месторождение	Запасы горючих сланцев, млн. т	Выход смолы	
		массовая доля, %	млн. т
Нерке . . . . .	1 700	5,0	85
Остерготланд . . . . .	5 000	3,8	190
Вестерготланд . . . . .	3 000	1,7	51
Оланд и др. . . . .	7 200	3,8	274
Всего . . . . .	16 900		600

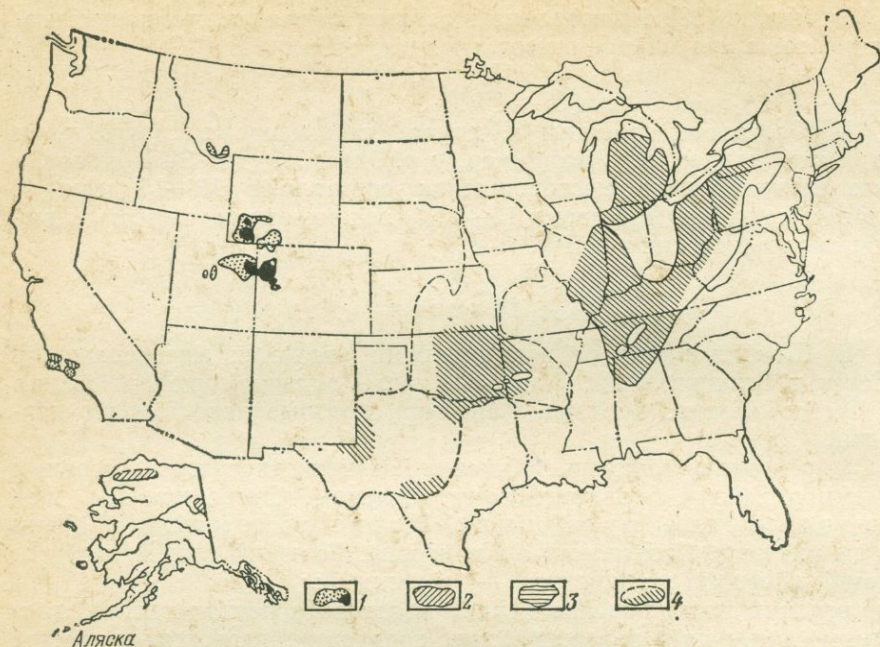


Рис. 12. Расположение основных разведанных месторождений горючих сланцев в США (по Д. К. Дункану и В. Е. Свонсону):

1 — залежи, относящиеся к третичному периоду: зоны, помеченные черным, содержат высококачественные сланцы: формация Грин-Ривер (эоцен), штаты Колорадо, Юта, Вайоминг; формации Монтерей и Сискуок (миоцен и плиоцен), штат Калифорния; озерные залежи, относящиеся к середине третичного периода, штат Монтана; 2 — залежи, относящиеся к мезозойской эре: морской сланец триасового и юрского периодов, штат Аляска; 3 — залежи пермского периода: черный морской сланец, формация Фосфория, штат Монтана; 4 — девонский и нижний каменноугольный черный сланец. Оценка ресурсов проведена только в районах, заштрихованных на карте (границы даны пунктиром в тех местах, где залежи скрыты или точно не установлены)

## АМЕРИКА

Америка наиболее богата залежами горючих сланцев. Общая площадь сланцевых месторождений составляет не менее 14 млн. км<sup>2</sup>. Наибольший промышленный и экономический интерес представляют горючие сланцы формации Грин-Ривер (США) и Ирати (Бразилия).

### СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

США располагают колоссальными запасами горючих сланцев. Месторождения их имеются, по меньшей мере, в 30 из 50 штатов страны (рис. 12).

### Месторождение Грин-Ривер

Залежи горючих сланцев формации Грин-Ривер представляют уникальное месторождение, образовавшееся в эоценовую эпоху

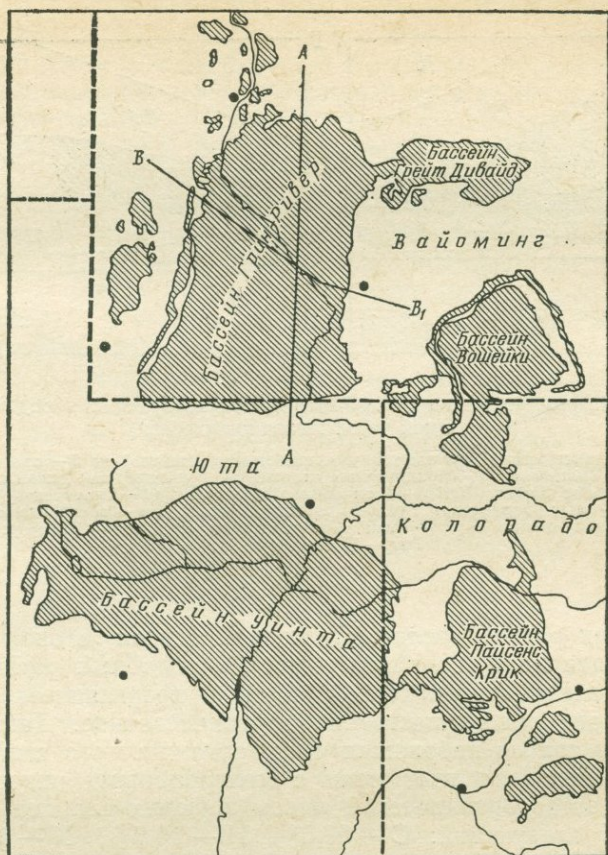


Рис. 13. Размещение залежей горючих сланцев формации Грин-Ривер, США (по У. Ч. Кальбертсону)

из донных отложений трех древнейших пресноводных озер. Месторождение Грин-Ривер занимает площадь около 65 тыс. км<sup>2</sup>; расположено на территории трех штатов: Вайоминг, Юта и Колорадо, в центре района Скалистых гор. Большая часть отложений горючих сланцев сконцентрирована в четырех бассейнах: Грин-Ривер и Вошейки (штат Вайоминг), Пайсенс-Крик (штат Колорадо) и Уинта (штат Юта) [39] (рис. 13).

Наиболее перспективным по географическому расположению, мощности пластов, качеству и запасам горючих сланцев является бассейн Грин-Ривер площадью около 40 тыс. км<sup>2</sup> [35]. Горючие сланцы этого бассейна являются переходным видом и представляют собой доломитовый мергель, богатый органическими веществами и битумом. Органическая масса сланцев содержит около 10% битума — вещества, растворимого в обычных

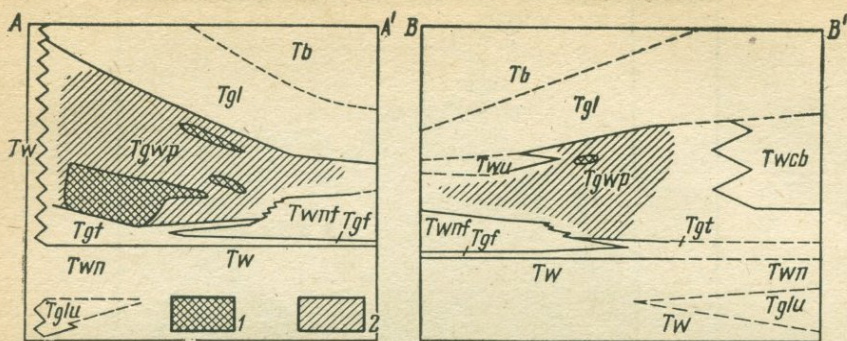


Рис. 14. Разрез формации Грин-Ривер и сопутствующих пород в юго-западной части штата Вайоминг:

1 — породы, вмещающие пласты троны мощностью не менее 1 м; 2 — соленые фации блока пика Уилкинса; Tb — бриджерские отложения; гринриверские отложения; Tgl — сланцевый блок Лейни; Tgwp — блок пика Уилкинса; Tgt — Типтонский сланцевый блок; Tgf — язык Фонтенеля; TgLu — Люменский язык; Tw — васачские отложения; Twu — Верхний язык; Twcb — язык Катедрал Блуфс; Twnf — Ньюфорский язык; Twn — Нилэндский язык

органических растворителей, таких, как бензол, и около 90% керогена — материала, не растворимого в подобных растворителях.

Распределение органической массы в неорганической материнной породе преимущественно внутрочастичное. Данные показывают, что только небольшая часть органического вещества связана физически или химически с минеральными ингредиентами. Основной состав органической массы горючих сланцев формации Грин-Ривер следующий: С — 80,5%, Н — 10,3%, N — 2,4%; S — 0,1%, O — 5,8%.

Содержание органического вещества в горючих сланцах колеблется от 8 до 50%; средний выход смолы составляет 5,7% от массы сланца; около 75—80% потенциальной энергии сланца может быть превращено в продукты, полученные при его термическом разложении.

Промышленная мощность слоя горючих сланцев бассейна изменяется от 1 до 600 м. Отдельные тонкие пласты дают выход смолы до 35% от массы полезного ископаемого. Пласты горючих сланцев перемежаются с пластами очень бедного сланца и песчаников.

По мощности отложения бассейна Грин-Ривер колеблются от нескольких метров до 1000 м. Они сложены главным образом из осадков озерного происхождения, которые представлены горючими сланцами, перепластованными глинистыми известняками, глинистыми сланцами, аргиллитами, известняками, песчаником, туфом. Мощность пластов горючих сланцев в районе Фоссиль составляет 120—150 м. В разрезе от подошвы к поверхности тол-

щина залежей, как показано на рис. 14, делится на четыре части [45]:

Люменский язык мощностью от 0 до 125 м; сложен горючими сланцами, песчаниками и глинистыми сланцами; выход смолы от 2 до 6% от массы сланца; подстиляет площадь примерно 5000—6000 км<sup>2</sup> в Грейт-Дивайд, Вошейки и южной части бассейна Грин-Ривер;

Типтонский сланцевый блок и язык Фонтенеля. Типтонский блок представляет собой широко расстилающееся напластование мощностью до 100 м, которое подстиляет площадь около 24 тыс. км<sup>2</sup>; сложен из горючих сланцев с небольшими пропластками туфа и известняка, и только в южной части бассейна Грин-Ривер имеется разрез горючего сланца мощностью более 4,6 м, который дает около 5,7% смолы от массы сланца. Местами верхний разрез типтонских горючих сланцев мощностью до 14 м дает выход смолы в среднем до 11%. При среднем выходе смолы 5,7% потенциальные запасы ее определены в 19 500 млн. т, что соответствует примерно 342 млрд. т горючих сланцев [45]. В средней части бассейна Грин-Ривер в Типтонском сланцевом блоке, примерно на широте 41° 30', появляется язык песчаника, мощность которого увеличивается в северном направлении. К северу в верхней части типтонских отложений горючий сланец выклинивается;

язык Фонтенеля представлен чередующимися напластованиями известняка, мергеля, песчаника и аргиллита. Это название применяют для отдельных локальных пластов, которые эквивалентны пластам нижней части Типтонского сланцевого блока;

блок пика Уилкинса имеет мощность от нескольких метров до 400 м; в южной части бассейна Грин-Ривер этот блок достигает самой большой мощности, а в бассейнах Вошейки и Грейт-Дивайд встречается только нижняя часть блока. Среди отложений блока — горючие сланцы, мергель, известняк, аргиллит, песчаник, туф. Горючие сланцы залегают в более чем 70 пластах, имеющих различную мощность: от нескольких сантиметров до 2,5 м. В южной части бассейна Грин-Ривер эти пласты дают от 4 до 19% смолы от массы сланца, однако нет ни одного разреза мощностью 4,6 м, который бы в среднем не давал 5,7% смолы. Нижние пласты, расположенные выше, становятся богаче и сближаются; поскольку промежуточные слои выклиниваются [136, 137].

В северной части площади анализ горючего сланца показывает, что толща горючих сланцев мощностью до 48 м может дать до 9,5% смолы, а толща мощностью 100 м — в среднем до 5,7% смолы от массы сланца. Потенциальные запасы в блоке пика Уилкинса составляют 19 400 млн. т сланцевой смолы; при среднем выходе смолы 5,7% это эквивалентно примерно 340 млрд. т горючих сланцев. В толще пород пика Уилкинса имеется более 35 пластов троны мощностью от нескольких сантиметров до 12 м, которые залегают на глубине от 120 до 1100 м и распространены на площади около 3600 км<sup>2</sup>. В настоящее время два слоя троны

разрабатываются с целью извлечения ценного промышленного продукта — соды (натрита);

сланцевый блок Лейни — самая верхняя часть формации Грин-Ривер и наиболее обширное напластование; состоит из нижней части мощностью 100 м, сложенной преимущественно из горючих сланцев, и верхней части мощностью до 500 м, включающей главным образом песчаники и аргиллиты с небольшими пропластками мергеля и горючих сланцев; выход смолы из горючих сланцев в юго-восточной части бассейна Грин-Ривер колеблется в пределах от 4 до 10%, хотя некоторые пласты небольшой мощности дают до 15% смолы. Из толщи, которая дает в среднем 5,7% смолы, по всей вероятности, можно получить 1600 млн. т смолы. Потенциальные запасы горючего сланца при этом выходе смолы составляют примерно 28 млрд. т.

Характер отложений в бассейне Вошейки мало отличается от характера отложений бассейна Грин-Ривер.

Бассейн Пайсенс-Крик, расположенный в округах Рио-Бланко и Гарфилд штата Колорадо, простирается на площади 4100 км<sup>2</sup>. Северной границей его является р. Белая, восточной — горный хребет Гранд Хогбэк, южной — р. Колорадо, а с запада границу бассейна составляет подъем Дуглас-Крик, который отделяет его от бассейна Уинта, северо-восточной части штата Юта.

Формация Пайсенс-Крик состоит из озерных отложений, залегающих в крупном по площади, но мелком озере. Бассейн можно разделить на четыре зоны: Дуглас-Крик, Гарден-Галч, Парашют-Крик, Эвакьюэйшн-Крик. В географическом отношении Колорадское месторождение представляет собой пустынную засушливую местность с сильно изрезанным рельефом. Расстояние до ближайших крупных промышленных центров (Лос-Анжелос, Чикаго, Хьюстон) составляет 1000—2000 км. Зона Парашют-Крик содержит самые богатые горючие сланцы и имеют толщину слоя от 260 м по границе зоны до 550 м в центре зоны. Свита горючих сланцев мощностью 232 м в среднем дает выход смолы 11,8%.

Бассейн Уинта находится в северо-восточной части штата Юта. Большая часть его залежей расположена в бассейне рек Грин и Уайт, которые являются основными притоками р. Колорадо. К югу и юго-западу от бассейна Уинта расположено сильно изрезанное ущельями плато Колорадо. Максимальная мощность слоя горючих сланцев в бассейне Пайсенс-Крик составляет 600 м, в бассейне Уинта — 300 м. Самые богатые и обширные пласты горючего сланца получили название Махогани, мощность их превышает 61 м; средний выход смолы составляет 11,4%. Пласты Махогани находятся близ центральной части бассейна, к северу от бассейна Пайсенс-Крик. Пласты горючих сланцев мощностью свыше 4,6 м, дающие в среднем выход смолы 5,7% по массе, обладают потенциальной возможностью получения из них 220 млрд. т

смолы [67]. Ориентировочные запасы горючих сланцев в этих пластах, занимающих территорию 12 000 км<sup>2</sup>, — 3900 млрд. т.

### Месторождения Монтерей и Сискуок

Формация, включающая месторождения Монтерей и Сискуок, представлена диатомовым сланцем морского происхождения, относящимся к миоценовому и плиоценовому периодам. Месторождения расположены в южной части штата Калифорния, под складочной породой позднего третичного периода; площадь залежей горючих сланцев составляет 7800 км<sup>2</sup>; распространяются от поверхности до глубины более 2000 м. Наиболее качественным является горючий сланец, залегающий вблизи поверхности; выход смолы колеблется от 10 до 15%. Диатомовый горючий сланец также переходного вида: он содержит большое количество органической массы как в виде керогена, так и в виде битума. Чем ближе пласты горючего сланца находятся к поверхности земли, тем большее содержание в сланце битума. Считается, что битум в них сконцентрировался из других сланценосных слоев.

Залежи были исследованы несколькими промышленными организациями. Из горючего сланца с выходом смолы 10—15% от массы можно получить около 140 млн. т смолы [39]. Запасы этих горючих сланцев ориентировочно составляют 1 млрд. т. Менее качественный горючий сланец, содержащий преимущественно кероген и меньше битума, дает 4—8% смолы и потенциально содержит около 7 млрд. т смолы. Примерные запасы этого горючего сланца составляют около 123 млрд. т.

Хотя высококачественный диатомовый горючий сланец добывался в опытных масштабах и показал неплохой выход смолы, залежи его в промышленных масштабах еще не разрабатывались. Это обусловлено тем, что в настоящее время западное побережье США в достаточной мере обеспечивается более дешевым топливом — нефтью.

### Месторождение Фосфория

Месторождение горючих сланцев Фосфория относится к пермскому периоду; содержит участки черного горючего сланца морского происхождения. Месторождение расположено в юго-западной части штата Монтана на площади 1500 км<sup>2</sup>. Толща формации состоит из многочисленных слоев горючих сланцев, расположенных в последовательности осадения, общая мощность сланцевых пластов достигает 300 м. Отдельные пласты горючих сланцев толщиной от 1 до 2 м дают выход смолы от 4 до 15%. Ориентировочные потенциальные ресурсы смолы в горючих сланцах 0,7—1,4 млрд. т [39]; примерные запасы горючих сланцев месторождения составляют 12—24 млрд. т.

## Месторождения Аляски

В северном и восточном районах Аляски находятся месторождения горючих сланцев морского происхождения, относящиеся к триасовому и юрскому периодам. В северных отрогах хребта Брункс Рейндж залежи горючего сланца местами выходят на поверхность вдоль структурно нарушенного пояса длиной 500 км и шириной 25 км.

Горючие сланцы в пластах мощностью от 1 м и более дают выход смолы от 10 до 15% от массы сланца. В этих пластах содержится около 7 млрд. т смолы; ориентировочные потенциальные запасы горючих сланцев Аляски можно оценить в 58 млрд. т.

## Месторождения центральной и восточной частей США

Обширные месторождения горючих сланцев площадью более 650 000 км<sup>2</sup> расположены в равнинах восточной и центральной частей страны. Они относятся к девонскому и нижнему каменноугольному периодам, находятся главным образом в местностях, прилегающих к осадочным бассейнам, часть которых достигает глубины 3000 м; мощность залежей горючих сланцев колеблется от нескольких метров до 250 м. Горючие сланцы содержат от 5 до 25% органического вещества; теплота сгорания сланца составляет 1950 ккал/кг.

Горючие сланцы в пластах мощностью от 2 до 10 м дают выход смолы примерно 4—8%. Возможные ресурсы сланцевой смолы определяются в 30 млрд. т. Потенциальные запасы горючих сланцев можно определить примерно в 526 млрд. т; из них около 140—150 млрд. т залегают в пластах, расположенных близ поверхности и пригодных к разработке открытым способом.

Неисследованная часть залежей горючих сланцев месторождений восточной и центральной частей США, возможно, содержит эквивалент порядка 110 млрд. т смолы, или, очень приблизительно, около 1929 млрд. т горючих сланцев с выходом смолы 5,7%.

## Месторождения кеннельских горючих сланцев

Залежи кеннельских горючих сланцев размещаются совместно с угленосными породами, относящимися к верхнему каменноугольному периоду, в восточной и центральной частях США.

Месторождения горючих сланцев невелики и имеют горючие сланцы, различные по качеству.

На отдельных месторождениях горючий сланец содержит довольно большое количество органических веществ; выход смолы превышает 10%. Из таких горючих сланцев возможно получить

более 4 млн. т смолы, что эквивалентно примерно 40 млн. т сланца.

Горючие сланцы морского происхождения беднее; содержат меньше органического вещества и дают выход смолы от 4 до 10%. Сланцы подобного вида приурочены к каменноугольному периоду и широко распространены в угленосных породах внутренних угольных районов.

Несколько небольших месторождений кеннельских горючих сланцев обнаружены в относящихся к меловому и третичному периодам угольных бассейнах Запада США.

Всего в США горючие сланцы, залегающие совместно с угленосными породами, с выходом смолы от 10 до 20% по ориентировочным подсчетам содержат около 9 млрд. т смолы, что эквивалентно 90—180 млрд. т сланца. Месторождения менее качественного сланца, с выходом смолы от 4 до 10%, эквивалентны около 35 млрд. т смолы; потенциальные запасы таких горючих сланцев составляют примерно 350—900 млрд. т.

На территории США встречаются также небольшие месторождения горючих сланцев, относящиеся к различным периодам. Они в достаточной мере не изучены и потенциальные запасы их не установлены.

Общие потенциальные запасы горючих сланцев и ресурсы сланцевой смолы в США представлены данными табл. 44.

Таблица 44

**Запасы горючих сланцев США и выход смолы из них**

Месторождение	Запасы горючих сланцев, млн. т	Выход смолы	
		массовая доля, %	млн. т
Формация Грин-Ривер . . . . .	21 000 000	5,7	1 200 000
В том числе:			
Бассейн Грин-Ривер:	7 100 000	5,7	405 000
Типтонский сланцевый блок . . . . .	342 000	5,7	19 500
Пик Уилкинса . . . . .	340 000	5,7	19 400
Блок Лейни . . . . .	28 000	5,7	1 600
Бассейн Пайсенс-Крик . . . . .	3 900 000	5,7	220 000
Монтерей и Сискуок . . . . .	124 000	4—15	7 200
Фосфория . . . . .	24 000	4—15	1 400
Центральная и восточная части США, Аляска и др. . . . .	410 000 000	4—8	23 391 400
Всего . . . . .	431 148 000		24 600 000



Рис. 15. Обзорная карта расположения месторождений горючих сланцев Бразилии (по В. Т. Падула):

1 — девонские горючие сланцы штатов Пара и Амазонка; 2 — меловые горючие сланцы штата Мараньян; 3 — меловые горючие сланцы штата Сеара; 4 — меловые горючие сланцы штата Алагоас; 5 — меловые горючие сланцы штата Баия; 6 — третичные горючие сланцы штата Сан-Пауло; 7 — горючие сланцы штата Амапа; 8 — горючие сланцы штата Гояс; 9 — горючие сланцы пермской формации Ирати

#### БРАЗИЛИЯ

В геологическом строении территории Бразилии принимают участие отложения очень широкого стратиграфического диапазона [82]. В штатах Амазонка и Пара горючие сланцы включают залежи девонского периода, в штатах Мараньян, Сеара, Алагоас и Баия — мелового периода, в штатах Парана, Санта-Катарина и Рио-Гранде-ду-Сул — пермского периода, в штате Сан-Пауло — третичного периода. Месторождения горючих сланцев встречаются также в штате Гояс и на территории до Амапа (рис. 15).

Наиболее обширными, относительно изученными и рентабельными для промышленной эксплуатации являются залежи горю-

чего сланца пермского периода формации Ирати. Другие месторождения горючих сланцев изучены мало, и потенциальные запасы полезного ископаемого не установлены.

### Формация Ирати

Формация Ирати относится к группе Эстрада Нова из серии Пасо-Дайс. Обнажение пород формации имеет форму буквы «S», начинающейся в штате Сан-Пауло и тянущейся беспрерывно на 1700 км до границы Бразилии и Уругвая.

Ниже формации Ирати залегает формация Палермо, а выше — формация Сьерра-Алта. Формация Палермо образует верхнюю часть серии Гударан каменноугольного периода; состоит из серого, слабо напластованного алевроита, глинистого сланца и мелкозернистого песчаника. Формация Сьерра-Алта представлена сплошными глинистыми сланцами от светло- до темно-серого цвета, имеющими раковистый излом, и пропластками бледно-желтого известняка. Специфической особенностью формации Сьерра-Алта штата Рио-Гранде-ду-Сул является широкое распространение известково-кремнеземистых жил.

Отложения формации Ирати относятся в основном к двум различным фациям: к аргиллитовой, состоящей из темно-серых, коричневых и черных горючих и небитуминозных сланцев, и к известковой, включающей известняки, от кремового до темно-серого цвета, и доломит.

В южной части штатов Парана и Рио-Гранде-ду-Сул расположены два пласта горючих сланцев, разделенных небитуминозными сланцами и известняком.

В северной части штата Парана, в штатах Санта-Катарина и Сан-Пауло, тонкие пласты горючих сланцев пропластованы в разрезе небитуминозными сланцами и доломитом.

В различных районах формация Ирати имеет другие отличительные литологические признаки: тонкие пласты монтмориллонита толщиной от 1 до 15 см (штаты Рио-Гранде-ду-Сул и Парана), конкреции и жилы кремнистого сланца (штат Сан-Пауло).

В формации Ирати широко представлены также интрузии базальта и диабазы. Последний обычно имеет офитовую текстуру с клинопироксенами, лабрадоритом, магнитным ильменитом, апатитом, кварцем или оливином; значительно варьирует зернистость, порода обычно темного и серо-зеленого цвета.

Горючие сланцы формации Ирати относятся к пиробитуминозному виду; имеют серый, коричневый и черный цвет; хорошо напластованы, легко расщепляются на пластины. Органический материал горючих сланцев имеет цвет от светло-коричневого до черного и сильно смешан со слюдистой микрокристаллической глиной, что указывает на одновременное отложение. Содержание органической массы в сланце достигает 20—30%. При термиче-

ском разложении горючие сланцы выделяют зловонный запах, характерный для битуминозных и сернистых паров; выход смолы 3,92—11,8% от массы полезного ископаемого. Обычно сланцы темно-коричневого цвета содержат гораздо больше смолы, чем черные.

В составе горючих сланцев 70—80% минеральной массы (от веса сухого вещества), в том числе на долю слюды и аргиллитовых минералов приходится 60—70%, а на долю кальцита и доломита — до 10%. Минеральная часть сланцев содержит также зерна кварца и полевого шпата, обычно имеющие величину конкреций. Встречаются опал, халцедон, пирит, лимонит, хлорит, цирконий, титанит и рутил.

Горючие сланцы слабо противостоят выветриванию и редко образуют хороший выход породы на поверхность. Под воздействием влаги и ветра они часто распадаются на реголит с красновато- или желтовато-коричневой аргиллитовой породой мощностью до 10 м.

Хотя залегания формации Ирати имеют большую протяженность, пласты горючих сланцев от штата Рио-Гранде-ду-Сул до штата Сан-Пауло не остаются в одной стратиграфической позиции. В штатах Санта-Катарина и Сан-Пауло их стратиграфическая позиция бывает неодинаковой даже в одном районе.

В штате Рио-Гранде-ду-Сул горючие сланцы формации Ирати образуют два бассейна Сан-Габриэль и Дом-Педрито и в штате Парана — бассейн Сан-Матеус-ду-Сул.

Сланцевый бассейн Сан-Габриэль расположен в юго-западной части штата Рио-Гранде-ду-Сул. В этом бассейне формация Ирати выходит на поверхность от Пасо-де-С. Борджа, на р. Санта-Мария, до Пасо-Калисан, на р. Вакакаи, на расстоянии 115 км и на площади 460 км<sup>2</sup>. В бассейне Сан-Габриэль формация Ирати имеет уклон (по простиранию) около 15—20 м на километр к западу (рис. 16). Местами залежи горючих сланцев примяты и нарушены сбросами, однако в них нет диабазовых интрузий.

Горючие сланцы в бассейне залегают двумя пластами I и II: верхний пласт I имеет мощность 82 м и уменьшается к югу и востоку; выход смолы 3%; нижний пласт II имеет толщину 4,5 м, к югу он становится заметно тоньше; выход смолы 7%.

Пласты горючего сланца разделяются пластом непроницаемых сланцев и прослойками известняка, мощность среднего пласта 12 м. Влажность горючего сланца не превышает 3%.

Бассейн Дом-Педрито находится в южной части штата Рио-Гранде-ду-Сул. Здесь формация Ирати простирается от Пасо-де-С. Борджа, границы округа между Сан-Габриэль и Рос-сарио-ду-Сул, до Кохилья-ду-Хаэдо, границы округа Дом-Педрито-Баге, на расстоянии около 135 км. В этом районе горючие сланцы залегают также двумя пластами, разделенными средним пластом и известняками (рис. 17):

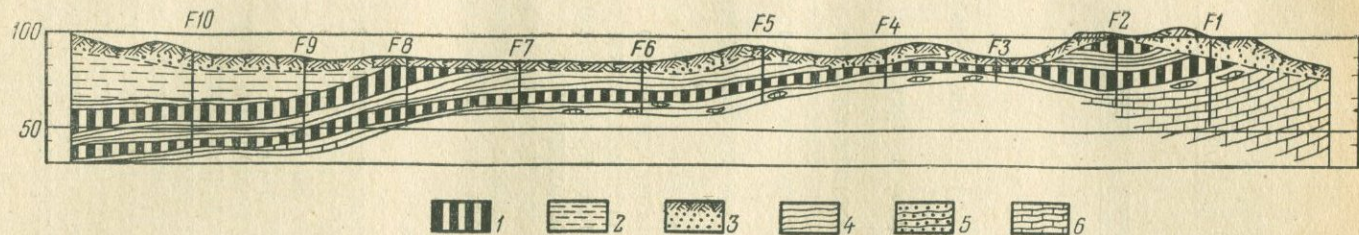


Рис. 16. Геологический разрез сланцевого бассейна Сан-Габриэль (по В. Т. Падула):

1 — горючий сланец; 2 — серо-голубой сланец; 3 — почва; 4 — небитуминозный сланец; 5 — алевроит и алевроитовый сланец; 6 — известняк

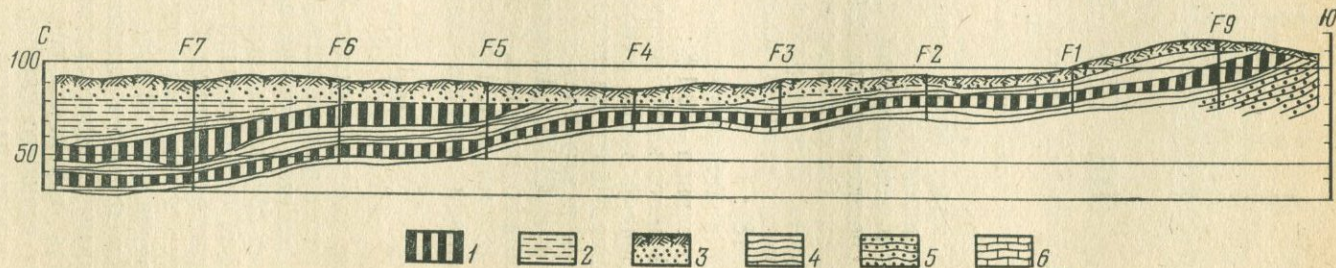


Рис. 17. Геологический разрез сланцевого бассейна Дом-Педрито (по В. Т. Падула)

Условные обозначения те же, что на рис. 16

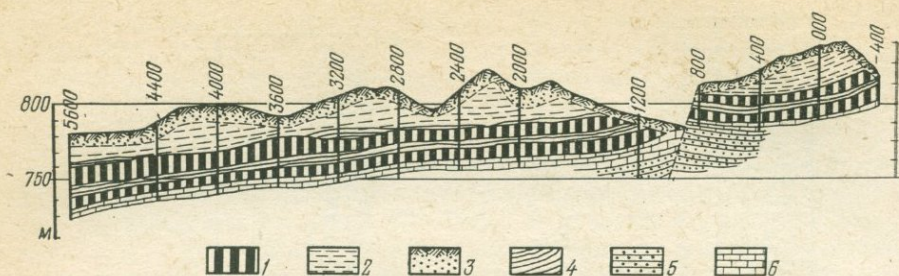


Рис. 18. Геологический разрез сланцевого бассейна Сан-Матеус-ду-Сул (по В. Т. Падула)

Условные обозначения те же, что на рис. 16

верхний пласт имеет мощность 5,8 м, выход смолы примерно 3% массы сланца;

нижний пласт толщиной 3,4 м; выход смолы в среднем 7,4%; мощность среднего пласта 12,9 м.

Бассейн Сан-Матеус-ду-Сул занимает южную часть штата Парана. В этом районе формация Ирати имеет также два пласта горючих сланцев, разделенных средним пластом толщиной 3,6 м (рис. 18):

верхний пласт горючего сланца имеет мощность 6,5 м; выход смолы с 1 т сланца — 9,1%;

нижний пласт имеет мощность 3,2 м; выход смолы 6,4% массы сланца; средний выход смолы по бассейну равен примерно 7,4%.

Формация Ирати является богатейшим месторождением горючих сланцев и занимает второе место в мире после формации Грин-Ривер в США. Потенциальные ресурсы сланцевой смолы, которую можно получить сухой перегонкой горючего сланца, составляют 188 млрд. т. При среднем выходе смолы 7,4% ориентировочно запасы горючих сланцев можно определить в 2540 млрд. т.

### Месторождение Парайба

Богатые залежи горючих сланцев третичного периода озерного происхождения расположены в долине Парайба штата Сан-Пауло, мощность пластов горючих сланцев достигает 35 м; выход смолы с 1 т сланца 13% массы полезного ископаемого [46].

В 1950 г. была создана официальная комиссия по изучению горючих сланцев долины Парайба. Потенциальные запасы горючих сланцев этого месторождения составляют примерно 24 млрд. т; они эквивалентны 138 млн. т смолы при среднем выходе смолы 5,8% массы горючего сланца. Вместе с тем этот бассейн отличается сложными гидрогеологическими условиями. Значительная обводненность коренных пород обуславливает высокую степень влажности горючего сланца, что делает месторождение малопродуктивным для эксплуатации.

Месторождения горючих сланцев имеются еще в Аргентине, Никарагуа, Эквадоре, Панаме, Перу, Чили, Коста-Рика, Уругвае, Колумбии, Мексике, Сальвадоре, Тринидаде и Тобаго. Недостаток сведений не позволяет нам охарактеризовать месторождения этих стран.

## АЗИЯ

В строении недр Азии широко участвуют сланценозные отложения различного геологического возраста. Месторождения горючих сланцев известны в КНР, Турции, Сирии, Ливане, Бирме, Пакистане, Таиланде, Израиле, Иордании и некоторых других странах.

### КИТАЙСКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА

В геологическом строении территории КНР участвуют отложения всех возрастов: от докембрийского до третичного периода. В КНР известно более 180 месторождений горючих сланцев [79, 129]. Они расположены почти во всех провинциях, за исключением провинций Цзянсу, Фуцзянь и Хубей.

Наиболее богатые залежи горючих сланцев, дающих выход смолы от 4 до 13%, находятся на северо-востоке страны, в Фушуне и Хуадене, на юге — в провинциях Гуандун, Гиринь, на месторождении Яоцзе и др.

### Месторождение Фушунь

Месторождение горючих сланцев Фушунь расположено в центральной части провинции Ляонин, на южном берегу р. Хуанхе. Пласты горючих сланцев этого месторождения залегают выше угольных пластов (рис. 19).

Горизонт горючих сланцев приурочен к верхней фушуньской свите третичного возраста, которая разделяется на три подсвиты: верхнюю угленосную подсвиту, представленную мощным (до 140 м) пластом угля сложного строения; среднюю — подгоризонт горючих сланцев, его мощность 70—180 м; нижнюю — горизонт зеленых сланцев и мергелей мощностью 150—900 м.

Покрывающими породами фушуньской свиты служат четвертичные отложения (лёсс, суглинки, глины и галька) мощностью 10—30 м, подстилающими — серовато-белые песчаники, сланцы и главным образом конгломераты и брекчии мелового возраста мощностью 0—70 м.

Меловые и третичные отложения слагают соответственно Южную и Северную синклинали. Южная синклиналь более детально разведана и подробнее изучена. Связано это с тем, что к ней приурочена угленосная толща. Простирается она широтное; замкнута на западе и открыта на востоке, погружаясь в этом направлении; угол падения южного крыла синклинали от 20° на западе до 50°

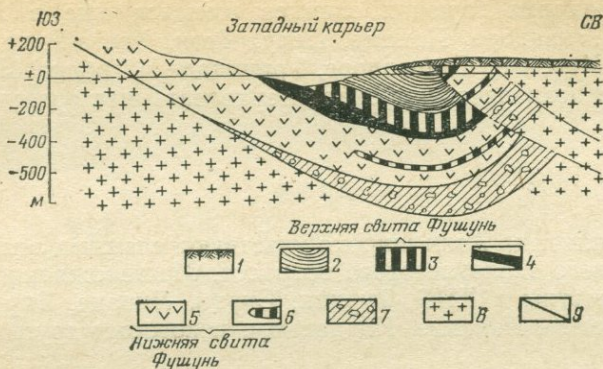


Рис. 19. Геологический разрез по Западному карьеру месторождения Фушунь (КНР) [8]:

верхняя свита Фушунь: 1 — наносы; 2 — горизонт зеленых сланцев и мергелей; 3 — подгоризонт горючих сланцев; 4 — верхняя угленосная подсвита; нижняя свита Фушунь: 5 — базальты, туф; 6 — нижняя угленосная подсвита; 7 — меловые отложения; 8 — гранитогнейсы; 9 — нарушения

на востоке. Под Южной синклиналию и понимается месторождение Фушунь.

Сланценосный пласт месторождения Фушунь представлен коричневыми и темно-коричневыми горючими сланцами; выход смолы от 2—10 до 12% массы полезного ископаемого. В верхней части подгоризонта расположены пласты горючих сланцев с большим содержанием органического вещества, чем в сланцах других пластов; выход смолы при полукоксовании более 4%. В нижней части подгоризонта залегают более бедные горючие сланцы.

По простиранию с востока на запад качество горючего сланца постепенно ухудшается. В районах Западного карьера и шахты «Шэнли» мощность пластов горючих сланцев достигает 70—130 м, в районе шахты «Лунфын» — до 90—160 м и в районе шахты «Лаохутай» — до 100—180 м. Около 70% общей мощности сланцевой толщи Фушуня составляют богатые горючие сланцы с выходом смолы более 4%. Общие запасы горючих сланцев месторождения Фушунь определены в 5,4 млрд. т [8].

На месторождении хорошо изучены гидрогеологический разрез и режим подземных вод. Здесь имеется в основном три водоносных горизонта:

алювийский водоносный горизонт имеет широкое распространение в пределах всей синклиналиной впадины, перекрывает коренные породы, мощность 6—13 м; максимальный дебит воды 4,8 л/с, средний — 3 л/с. Этот водоносный горизонт имеет существенное значение при ведении открытых горных работ;

мергелистый водоносный горизонт залегают выше горючих сланцев и состоит из перемежающихся мергелей, сланцев и изве-

стняков общей мощностью 300—500 м; максимальный дебит воды 0,95 л/с;

туфовый водоносный горизонт представлен главным образом вулканическими пеплами и щебнями. Увлажненные туфы вспучиваются, при значительном увлажнении из алювия становятся пластичными и при открытой разработке дают оползни; дебит воды составляет 0,02—1,7 л/с.

На месторождении Фушунь кроме крупной р. Хуанхе имеются еще и другие водотоки. Среднечасовое количество откачиваемой воды по Западному карьере составляет 1000 м<sup>3</sup>/ч, по шахте «Шэнли» — 850 м<sup>3</sup>/ч, по шахте «Лунфын» — 600 м<sup>3</sup>/ч и по шахте «Лаохутай» — 500 м<sup>3</sup>/ч. Как правило, в июле и августе, в период ливней, приток воды резко увеличивается.

### Маоминское и другие месторождения

На юге страны, в провинции Гуандун, находится второе по величине месторождение горючих сланцев — Маоминское. Оно имеет пласты довольно богатых горючих сланцев, мощность их достигает 20—30 м; угол падения пластов 4—6°; средний выход смолы составляет 6—7% от массы сланца, а максимальный — 13,6%; теплота сгорания органического вещества 6200—6500 ккал/кг. Помимо этих богатых месторождений горючих сланцев имеется в провинции Гири — Хуаденское месторождение. Потенциальные запасы горючих сланцев составляют здесь примерно 50 млн. т.

На северо-западе страны, в провинции Ганьсу, расположено месторождение горючих сланцев Яоцзе. Подобно месторождению Фушунь оно в своей свите имеет пласты каменного угля. Четыре пласта горючих сланцев этой свиты размещены над угольными: пласт 1 имеет общую мощность 43 м, но пачка пласта с более богатым горючим сланцем, дающим выход смолы более 3%, составляет 10—12 м; пласт 4 имеет мощность 7 м; средний выход смолы с 1 т сланца превышает 6%; пласты 2 и 3 представлены бедными по содержанию органического вещества сланцами; выход смолы из них незначительный, и они не имеют промышленного значения.

Горнотехнические условия месторождения Яоцзе позволяют вести разработку залежей горючих сланцев открытым способом. Поскольку пласты горючих сланцев залегают в породах кровли каменного угля, то добыча сланца будет производиться, как и на месторождении Фушунь, попутно с производством вскрышных работ, что создает благоприятные экономические предпосылки для промышленного использования горючих сланцев данного месторождения.

По данным 1958 г. разведанные запасы горючих сланцев в КНР превышают 21 млрд. т. Их краткая характеристика дана в табл. 45.

Сравнительная характеристика горючих сланцев КНР

Показатели	Месторождения		
	Фушунь	Хуаденское	Маоминское
Влажность, % . . . . .	5,0	10,0	12,0
Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup> . . . . .	1,1	0,95	0,95
Теплота сгорания, ккал/кг . . . . .	1390	1570	1745
Зольность, % . . . . .	78,51	73,70	72,10
Выход смолы в лабораторной реторте по Фишеру (массовая доля, %)	6,55	9,50	8,28

Горючие сланцы Хуаденского и Маоминского месторождений заметно отличаются от горючих сланцев месторождения Фушунь. В них больше содержится органического вещества и больше выход смолы. Однако горючие сланцы Хуаденского и Маоминского месторождений обладают повышенной влажностью и меньшей термической прочностью. Влажность рабочего сланца Маоминского месторождения достигает 25%.

### Турция

Обширные месторождения горючих сланцев расположены на территории Турции. Крупнейшим из них является месторождение в Сейтомер-Кютахья [16].

Пласт горючего сланца залегает здесь над пластом бурых углей. Добыча угля осуществляется открытым способом. Горючие сланцы в карьерах поэтому являются в настоящее время вскрышной породой, которая сыпается в отвалы. В результате этого с каждым килограммом сланца выбрасывается безвозвратно до 2800 ккал/кг тепла.

Сланценосный пласт месторождения Сейтомер-Кютахья содержит несколько слоев горючего сланца, примерно однородного по качественной характеристике. Запасов горючих сланцев, как показали предварительные подсчеты, гораздо больше, чем бурого угля. Ориентировочные потенциальные запасы горючих сланцев оцениваются примерно в 560 млн. т. Энергетическое использование горючего сланца может оказаться весьма экономически эффективным.

### Ливан

На территории Ливана имеется несколько месторождений горючих сланцев.

В горах Кенисе горючие сланцы залегают на небольших площадях, мощность сланцевых пластов значительная и некоторые слои сланца достигают 1 м.

Горючие сланцы имеются в Квади-Джеззин и на равнине Махада. Сланценосные пласты здесь размещаются в верхней толще песчаников, мощность отдельных слоев горючих сланцев в пластах 0,5—1,0 м.

Горючие сланцы могут сыграть значительную роль в развитии экономики Ливана. Их энергетическое использование позволит создать отечественную топливную базу для тепловых электростанций. При ограниченности энергетических ресурсов экономическая целесообразность создания энергетики на основе сжигания горючих сланцев не вызывает сомнений.

## Израиль

Перспективным месторождением битуминозных горючих сланцев Израиля является Умм-Барек. Оно расположено на берегу Мертвого моря, около 15 км севернее Содома.

Образцы сланца, взятые из скважин этого месторождения, имеют несколько более высокое содержание органического вещества. Это явление обусловлено выветриванием поверхностных слоев [9].

Отличительной особенностью горючих сланцев месторождения Умм-Барек является высокое содержание карбонатов кальция и магния по сравнению с горючими сланцами месторождений других стран [35, 100].

Другим важным свойством горючего сланца является относительно низкий выход смолы при сухой перегонке. Поэтому сланцы Умм-Барека не могут считаться удовлетворительным сырьем для производства жидкого топлива.

Считается экономически целесообразным энергетическое использование горючего сланца.

Стоимость топлива в районе Мертвого моря исключительно высока из-за необходимости транспортировать его через всю страну из порта Хайфа, расположенного примерно в 270 км к северо-западу.

Предварительная оценка свидетельствует об экономической и технической возможности получения энергии на базе горючих сланцев месторождения Умм-Барек.

На Азиатском континенте горючие сланцы встречаются также в Иране, близ Тебриза, и в других районах страны. Открыты залежи горючих сланцев в Афганистане, Пакистане, Сирии, Вьетнаме, Йемене и Индии.

## АФРИКА

В Африке месторождения горючих сланцев встречаются в различных районах континента. В настоящее время изученными считаются залежи горючих сланцев Марокко, Республики Заир, Малагасийской республики, ЮАР.

## Марокко

Из государств Африки наиболее распространены горючие сланцы на территории Марокко. Залежи горючих сланцев образуют три группы месторождений: Риф, Среднего и Верхнего Атласа [119].

Из группы Риф известны месторождения Танжера. Горючие сланцы залегают несколькими жилами, простирающимися к востоку и западу от дороги из Танжера в Тетуан на площади 400 км<sup>2</sup>. Наиболее мощные залежи горючего сланца прослежены в 7 км к юго-востоку от Танжера в аллохтонных формациях мелового периода. Сланцы размещены в двух синклиналиях и постепенно исчезают на севере под мергелями лютетского яруса, мощность сланценосных пластов достигает 23 м; запасы горючих сланцев составляют 50 млн. т; средний выход смолы по Фишеру — 8—13%.

В группе Среднего Атласа находится месторождение битуминозных мергелей Тимахди, расположенное в 80 км к юго-востоку от Рабата. Залежи битуминозных мергелей относятся к верхнему меловому периоду. Черный горизонт битуминозных мергелей имеет мощность 20 м и является наиболее богатым по содержанию органических веществ; потенциальные запасы определены примерно в 4 млрд. т.

В группе Верхнего Атласа в 200 км к юго-востоку от Рабата находится месторождение битуминозного известняка Архбала.

Битуминозный слой представлен мергельно-глинистым известняком с прослойками с белой патиной, черный на изломе, мощность слоя 3 м; возможные запасы горючих сланцев исчисляются примерно в 20 млн. т.

## Сомали

В северной части Сомали, в 16 км от Бербера, расположено обширное месторождение горючих сланцев [16].

Пласт горючего сланца залегают вблизи пластов гипса и ангидрита. Мощность сланценосного пласта довольно значительная и добыча сланца представляет промышленный интерес для народного хозяйства Сомали.

Совместное залегание сланца с другими полезными ископаемыми позволяет комплексно использовать залежи месторождения.

Горючие сланцы являются энергетической базой для комплексного использования залежей гипса и ангидрита. Сланценосный пласт залегают на небольшой глубине и может разрабатываться наиболее дешевым открытым способом.

## Мали

В Республике Мали месторождение горючих сланцев расположено в районе Агамора. Сланцевый пласт на этом месторожде-

нии залегают на небольшой глубине и представляет практический интерес для развивающегося народного хозяйства Мали.

В районе месторождения горючих сланцев размещены богатые залежи фосфоритов, что в известной мере повышает значение и обуславливает экономическую целесообразность промышленного использования сланцев.

Залежи фосфоритов находятся от побережья в 1500 км. Доставка энергии в этот район экономически не оправдана [16]. Единственной экономически приемлемой энергетической базой в районе Агамора является месторождение горючих сланцев.

### З а и р

Большие залежи горючих сланцев имеются в Республике Заир. Крупнейшее из них открыто в районе Кисангани (б. Стенливиль).

Горючие сланцы этого месторождения имеют относительно высокую качественную характеристику. Теплота сгорания сланца достигает 2000—2300 ккал/кг; выход смолы при термическом разложении горючего сланца колеблется от 18,5 до 20,5%.

Сланцевый пласт прослеживается на обширной площади района Кисангани и может иметь большое промышленное значение. В развитии экономики республики горючие сланцы призваны сыграть значительную роль.

На Африканском континенте залежи горючих сланцев имеются в АРЕ.

Горючие сланцы встречаются еще в Австралии и Новой Зеландии.

## РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

---

### Глава I

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ И СИСТЕМ ДОБЫЧИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Зарождение сланцедобывающей промышленности относится к первой половине XIX века. Поводом к развитию добычи сланцев явился острый дефицит топлива — главным образом нефти и продуктов ее переработки.

Первые разработки залежей горючих сланцев были организованы в 1835 г. в местечке Аутун, во Франции. В 1851 г. в небольшом г. Батгейте, расположенном на расстоянии 27,4 км к западу от Эдинбурга, зародилась шотландская сланцевая промышленность [100]. Огромная толщина сланценосного пласта и легкость добычи позволили получать горючие сланцы с низкими издержками.

В 1857 г. началась добыча горючих сланцев в США. В штате Огайо была сдана в эксплуатацию сланцевая шахта.

В середине прошлого столетия горючий сланец стали добывать в Германии [86] на шахтах в Швабии и Вюртемберге. В 1857 г. были сданы в эксплуатацию сланцевые шахты в районе Ройтлингена (Омхаузенское месторождение). Примерно в тот же период велась разработка Дисодильского месторождения в Ротте, близ Зигбурга.

В 1865 г. добыча горючего сланца началась в Австралии [41].

Дешевизна горючего сланца как топлива и сырья для получения искусственного жидкого топлива побудила многих предпринимателей заняться сланцевым делом. К 1864 г. в Великобритании насчитывалось более 10 сланцевых шахт. Однако положение сланцевых продуктов на мировом рынке оказалось неустойчивым. В 1864 г. цены на нефтяное топливо понизились, и многие сланцевые шахты были закрыты.

Новый подъем в развитии добычи горючих сланцев начинается с первого десятилетия XX века, когда спрос на продукты их переработки вновь повысился. В 1910 г. в Великобритании было

добыто более 3 млн. т горючих сланцев и в 1913 г. — 3,3 млн. т.

В Швеции практически добыча горючих сланцев началась в 1940 г., в то время, когда страна оказалась отрезанной от мирового топливного рынка [38, 121].

В 1944 г. в США была заложена шахта в Райлфе, штат Колорадо, которая вскоре была законсервирована [97].

В 50-е годы производилась добыча горючих сланцев на двух месторождениях в Болгарии [128].

В Южно-Африканской Республике из нескольких месторождений горючих сланцев разрабатывалось только одно, близ Эрмело, в 240 км к западу от Йоганнесбурга. Несмотря на незначительную мощность пласта (0,25—0,9 м при глубине залегания до 60 м), разработка месторождения оказалась экономически выгодной благодаря высокому качеству горючего сланца: выход смолы с 1 т переработанного полезного ископаемого составил 100—600 л. Добыча горючего сланца производилась попутно с добычей каменного угля, пласты которого располагались непосредственно над горючими сланцами.

Значительный опыт добычи горючих сланцев с 50-х годов накоплен в Китайской Народной Республике [8, 129]. Данные о добыче горючих сланцев в КНР приведены в табл. 46.

Таблица 46

Добыча горючих сланцев в Китайской Народной Республике [8, 129]

Год	Добыча, млн. т	По данным авторов
1949	1,09	С. Л. Эпштейна
1952	7,74	И. И. Баженова, И. А. Леоненко, А. К. Харченко
1954	6,5	С. Л. Эпштейна
1957	15,69	И. И. Баженова, И. А. Леоненко, А. К. Харченко
1958	16,69	И. И. Баженова, И. А. Леоненко, А. К. Харченко
1959	19,5	С. Л. Эпштейна

В зависимости от геологических условий залегания пластов добыча горючего сланца осуществляется в зарубежных странах подземным и открытым способами.

Наиболее широкое распространение подземный способ добычи горючего сланца получил в Великобритании.

Мощность одной шахты, как правило, колеблется в пределах от 30 до 1200 т/сут при работе в две смены [100]. Ширина наклонных стволов шахт обычно составляла 3,6 м, а высота — 2,4 м. Там, где стволы проходили в верхних слоях, боковые стенки выполнялись из кирпича, а кровля опиралась на стальные балки. В подземных условиях, хотя и было сделано несколько попыток применить выработку с выемкой сланца лавами, обычным методом выемки стал метод, известный в Шотландии как система

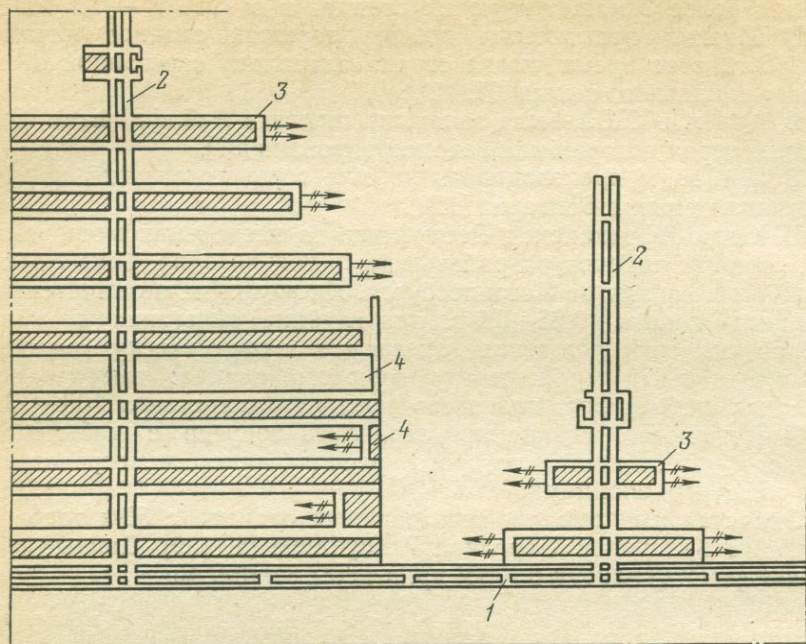


Рис. 20. Общий вид камерно-столбовой системы разработки горючих сланцев:

1 — главные штреки; 2 — панельные штреки; 3 — камеры; 4 — междукамерные столбы

разработки короткими столбами, а в других местах — как столбовая система разработки.

Шахтное поле, как показано на рис. 20, в соответствии с его конфигурацией и гипсометрией подошвы промышленного пласта нарезается главным и секционным штреками. При этой системе главные выработки или камеры шириной около 3,5 м проводятся в направлении наклонного залегания, а затем по обеим сторонам, вдоль горизонта или простираения пластов, вскрываются секции или панели. В выработках основного горизонта транспортирование горной массы осуществляется поездами, составленными из небольших вагонеток с дизельным локомотивом. Поездами горная масса подвозится к наклонному стволу, оборудованному канатным подъемом, и подается вверх по стволу на поверхность.

Для поддержания кровли оставляются целики или столбы. Размер этих целиков изменяется в зависимости от глубины разработки. Ширина и длина их находятся в пределах 18,5 и 60 м. Промежуточные столбы, временно оставляемые между камерами, вынимаются, когда разработка достигнет границы месторождения или сброса. Камеры в зависимости от гипсометрии подошвы

и прочих местных условий располагаются либо по одну, либо по обе стороны от секционного штрека.

Выемку горючего сланца из забоев очистных выработок или камер, а позднее и из столбов при отработке целиков производят с помощью буровзрывных работ. В забое портативными электросверлами пробуривают шпурь диаметром 5 см на глубину до 1,5 м. До применения высокочастотных электрических буров шпурь бурили вручную. В качестве взрывчатого вещества использовали прессованный порох. Величина заряда рассчитывается такой, чтобы взорванная горная масса не обтрасывалась взрывом, а лишь раздроблялась и обрушалась вдоль забоя неширокой полосой. Взрывание зарядов — огневое.

Взорванную горную массу рабочие разбирали вручную и лопатами грузили на конвейер. При такой организации работ производительность труда характеризовалась следующими цифрами.

При отработке камер выдавалось 5 т горючего сланца на одного шахтера в смену и при выемке целиков — 6 т в смену [100].

На местах разработки встречалось очень мало рудничного газа (метана), и, как правило, на шахтах разрешалось использовать лампы с открытым пламенем, но позднее они были заменены головными светильниками. В выработанных пространствах и близ сбросов иногда обнаруживался рудничный газ, и лампы с открытым пламенем служили детекторами этого газа. Особое внимание в этих местах уделялось вентиляции.

Срок службы шахт составляет всего лишь 5 лет. Шахтные поля на многих участках сланцевого месторождения в Шотландии небольшие. В период наибольшей активности поэтому действовало до 40 шахт. Две шахты с более обширными шахтными полями имели более продолжительный срок службы. Например, на шахте в Вествуде, к западу от месторождения, при разработке трех пластов более 40 лет выдавали 800—1000 т горючего сланца в сутки.

Известный интерес представляет подземная добыча горючих сланцев в США на опытной шахте в Райлфе (штат Колорадо). Особенности строения пласта колорадских горючих сланцев: большая мощность, достигающая нескольких сотен метров, и значительная прочность пород, образующих кровлю, — позволяют вести разработку методом подземного карьера. На шахте в Райлфе отработка выемочных полей производилась камерно-столбовой системой [97]. Разрабатываемая мощность пласта равнялась 18,6 м. Очистные работы производились двумя уступами высотой соответственно: верхний — 10 м и нижний — 8,6 м. Залегание горючего сланца пологое, с углом падения 2° на север и 10° на запад. Длина панели составляла 577 м и ширина — 316 м. Кровля поддерживалась на квадратах (18,1×18,1 м) — столбчатых целиках, расположенных друг от друга на расстоянии 18,1 м. Вынимаемая площадь составляет 68,7% от площади панели. Выемка горючего сланца производилась с помощью буровзрывных работ.

Образующаяся при взрывании горная масса транспортировалась из забоев на самосвалах грузоподъемностью 56,2 т на разгрузочные пункты. На очистных работах в забое использовались мощные экскаваторы, бульдозеры и другие крупные механизмы.

Шахта работала круглосуточно в три смены по 8 ч. Суточная добыча горючего сланца составляла 54,7 тыс. т. Производительность труда была довольно высокой. На одного шахтера очистных забоев приходилось 105,2 т сланца в смену. Себестоимость добычи 1 т горючего сланца равнялась 33,2 цента (табл. 47) [139].

Таблица 47

Себестоимость добычи горючего сланца на опытной шахте в Райлфе, штат Колорадо, США [139]

Состав затрат	Сумма в центах	% к итогу
Бурение . . . . .	5,2	15,7
Взрывные работы . . . . .	9,2	27,7
Погрузка сланца . . . . .	4,1	12,4
Транспортные расходы . . . . .	5,6	16,8
Учет . . . . .	2,0	6,0
Оплата труда инженерно-технических работников	1,4	4,2
Прочие расходы . . . . .	5,7	17,2
Итого . . . . .	33,2	100,0

Подземный способ добычи горючего сланца применяется также в Австралии, ФРГ (как, например, шахта «Георг» в Зальцгиттере, шахта «Этцель 24») и в некоторых других странах.

Большой опыт добычи горючих сланцев открытым способом накоплен в Китайской Народной Республике, Швеции, Испании, ФРГ (Мессель) и в некоторых других зарубежных странах, располагающих благоприятными залежами горючего сланца.

В КНР Западный карьер месторождения Фушунь выдавал около 16,9 млн. т горючего сланца, мощность Восточного карьера этого же месторождения — 17 млн. т сланца в год [8, 79].

В Западном карьере добывается горючий сланец попутно с добычей каменного угля (рис. 21). По своим горно-геологическим условиям и масштабам добычи он может быть отнесен к уникальным горным предприятиям мира. Падение пород происходит с юга на север. В этом же направлении перемещается и общий фронт вскрышных работ. Схема вскрышных работ комбинированная. В северо-западном секторе карьера проведена внешняя капитальная траншея с поверхности на карьерную станцию первого уступа (отметка +65 м). Далее вскрытие продолжается по рабочему борту внутренними траншеями со скользящими съездами. От станции первого уступа грузопоток разделяется на два направления: на западные отвалы и на сланцеперегонные заводы.

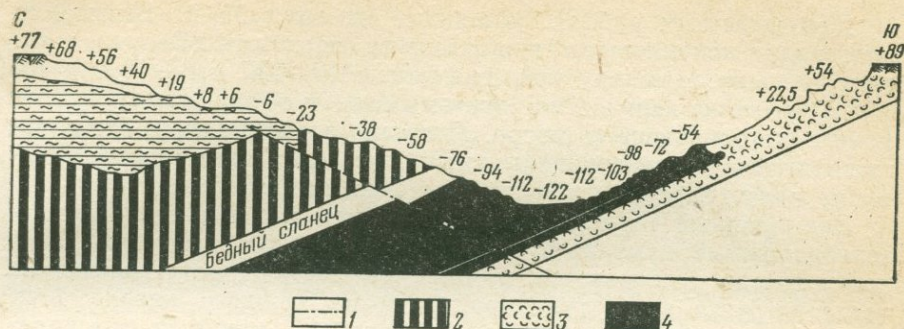


Рис. 21. Поперечный разрез Фушуньского Западного карьера [8]:

1 — линии нарушений; 2 — богатый сланец; 3 — туф; 4 — уголь

Средний коэффициент вскрыши с учетом богатых горючих сланцев равен примерно  $6,45 \text{ м}^3/\text{т}$ .

На Западном и Восточном карьерах транспортирование горной массы и породы производится на внешние отвалы средствами железнодорожного транспорта. Элементы системы разработок на вскрышных работах (в том числе выемка горючего сланца) имеют следующую характеристику [8, 79]:

Высота уступа, м:	
в наносах . . . . .	10
по породе . . . . .	10—16
Ширина заходки, м . . . . .	8—10
Угол откоса уступа, градус . . . . .	70
Ширина развала после взрыва, м . . . . .	13—21

Добыча горючего сланца в карьере производится одноковшовыми экскаваторами. Перед экскавацией вскрышные породы и горючий сланец подвергаются рыхлению с помощью буровзрывных работ. Бурение скважин по богатым сланцам производится станками вращательного бурения. Бурение ведется с продуванием скважин сжатым воздухом. Техническая характеристика станка вращательного бурения фушуньского типа приведена ниже:

Глубина бурения, м . . . . .	14
Диаметр скважины, мм . . . . .	120
Скорость вращения, об/мин . . . . .	240
Мощность двигателя, кВт . . . . .	11,1
Напряжение, Вт . . . . .	220
Масса станка, кг . . . . .	7000
Размер станка в рабочем положении, м:	
длина . . . . .	4,6
ширина . . . . .	2,1
высота . . . . .	8,6
Производительность, м:	
сменная (за 8 ч) . . . . .	70
суточная . . . . .	210

Для взрывных работ применяют аммонит № 2. Взрывание производят колонковыми и котловыми зарядами. Величина заряда на одну скважину при диаметре 110—120 мм — 10,2 кг на 1 м. Взрывание зарядов по богатому сланцу осуществляется с помощью детонирующего шнура. Патроны взрывчатых веществ изготавливаются влагонепроницаемыми, так как заряженные скважины иногда пересекают водоносные горизонты.

Взрыхленный горючий сланец грузится экскаваторами в железнодорожные думпкары методом секционной погрузки. Сущность метода заключается в том, что состав протягивается не после погрузки всего думпкара, а после каждого навала; этот метод позволяет максимально использовать мощность экскаватора. Западный карьер имеет огромное путевое хозяйство. Протяженность железнодорожных путей нормальной колеи равна 300 км, из них около 130 км передвижных.

Карьер Маомин в провинции Гуандун проектировался советским институтом «Гипрошахт». Его проектная мощность более 30 млн. т сланца в год при коэффициенте вскрыши 3,0. Проектом предусмотрена транспортная система разработки с применением на вскрыше и добыче сланца экскаваторов ЭКГ-4 и ЭКГ-8. Транспортные операции осуществляются электровозами со сцепным весом 150 т и думпкарами грузоподъемностью 90 т.

О размерах карьера Маомин можно судить по следующим данным: суммарный грузооборот его определен в 221 млн. т в год; число поездов с горной массой — 650 пар в сутки; протяженность внутренних, отвальных и других путей — 500 км.

Открытый способ добычи горючих сланцев высокоэкономичен. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши (а следовательно, и выемки горючего сланца) на Западном карьере, например, составлял 1—1,2 юаня, в том числе: стоимость экскавации — 41%, транспорта — 52%, отвалообразования — 7%. Открытые горные работы обеспечивают рост производительности труда шахтеров и значительное снижение себестоимости добычи 1 т горючего сланца.

## Глава II

### РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛАНЦЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СССР

Промышленная разработка месторождений горючих сланцев на территории СССР началась в 60-х годах прошлого столетия в Кашпире, в районе г. Сызрани, на правом берегу р. Волги. Добыча горючего сланца была в то время весьма ограниченной и вскоре прекратилась.

В 1919 г. горные работы на Кашпирском месторождении были вновь возобновлены и расширены в связи с постройкой Осташковского завода, использовавшего сланец в качестве топлива. В 1932 г. была сдана в эксплуатацию шахта № 1 проектной мощностью 550 тыс. т горючего сланца в год, работавшая до 1968 г.

Характеристика сланцевых шахт, расположенных на Кашпирском месторождении, приведена в табл. 48.

Таблица 48

Краткая характеристика действующих шахт Кашпирского шахтоуправления [12]

Показатели	Шахта	
	№ 5/6	№ 3
Год ввода в эксплуатацию . . . . .	1950	1959
Способ вскрытия (тип ствола) . . . . .	Наклонный	Вертикальный
Глубина залежи, м . . . . .	30	240
Мощность пласта, м . . . . .	2,00—2,05	
Полезная мощность пласта, м . . . . .	1,05—1,10	
Производительность пласта, т/м <sup>2</sup> . . . . .	1,7—1,8	
Проектная мощность, тыс. т/год . . . . .	300	600

Добыча горючего сланца в Прибалтийском бассейне началась в 1916 г. Разработка Эстонского месторождения обуславливалась трудностями снабжения Петрограда топливом.

Основным способом добычи горючих сланцев в Эстонии в то время был открытый. До весны 1917 г. в карьере, расположенном в районе Кохтла-Ярве, было добыто более 800 т сланца. В том же году в этом районе закладывается первая небольшая шахта. С 1916 по 1921 г. в Эстонии было добыто 156 тыс. т горючего сланца. К 1940 г. добыча горючих сланцев достигла 1,9 млн. т [63]. Начиная с 1946 г., в Эстонской ССР широко развернулось строительство новых шахт. В 1948 г. была введена в эксплуатацию шахта № 10 («Ахтме»), а вслед за ней — шахты № 2, 4, 6 («Сомпа»), № 8 («Таммику») и № 7 («Виру»).

Характеристика действующих сланцевых шахт Эстонского месторождения приведена в табл. 49.

На Эстонском месторождении действуют также три разреза: «Вивиконд», «Сиргала» и «Нарвский». Горнотехническая характеристика их приведена в табл. 50.

Производственная мощность разрезов определялась на основе размеров промышленных запасов горючих сланцев в пределах принятых границ карьерного поля, оптимального срока службы, типа и количества вскрышного оборудования.

В 1919 г. в связи с топливным голодом, поднимается вопрос о добыче горючего сланца на Гдовском месторождении.

Краткая характеристика действующих шахт треста Эстонсланец  
(по состоянию на 1 января 1973 г.)

Показатели	Шахта								
	„Кява-2*“	„Кивиыли*“	„Кохтла*“	№ 2	№ 4	„Сомпа*“	„Виру*“	„Таммику*“	„Ахтме*“
Год ввода в эксплуатацию после реконструкции . . . . .	1944	1922	1937	1949	1953	1948	1965	1951	1948
Год ввода в эксплуатацию . . . . .	1949	—	—	—	—	—	—	1966	—
Способ вскрытия (тип ствола) . . . . .	Наклонный	Вертикальный и наклонный			Наклонный				Вертикальный и наклонный
Глубина залежи, м . . . . .	18	24	18	26	30	42	46	45	55
Мощность пласта геологическая, м . . . . .	3,25	2,85	3,20	3,20	3,10	3,02	3,01	3,04	3,05
Мощность пласта рабочей, м . . . . .	2,35	1,90	2,20	2,25	2,20	2,14	2,91	2,80	2,80
Мощность пласта среднединамическая по добыче сланца, м . . . . .	1,60	1,23	1,52	1,78	1,60	1,53	1,98	2,37	2,25
Средняя плотность сланца, т/м <sup>3</sup> . . . . .	1,56	1,55	1,66	1,53	1,52	1,56	1,70	1,54	1,54
Проектная мощность, тыс. т/год . . . . .	750	1500	1000	1500	1300	1300	1200	1600	2000

Горнотехническая характеристика разрезов треста Эстонсланец  
(по состоянию на 1 января 1973 г.)

Разрез	Промышлен- ные запасы, млн. т	Средний коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	Производст- венная мощ- ность, тыс. т/год	Год ввода в эксплуатацию	Срок службы разреза, лет
«Вивиконд»	66,8	5,2	1200	1955	43
«Сиргала»	175,3	6,2	4290	1962	43
«Нарвский»	130,6	6,8	3100	1970	38

Закладывается первая шахта близ ст. Веймарн. Опытная добыча сланца производилась открытым способом. Сланец направляли в Петроград и использовали для проведения исследований и опытов по его сжиганию в топках и переработке на газ. На Путиловском заводе мартеновские печи работали на искусственном сланцевом газе. Однако добыча горючего сланца и исследования по его переработке вскоре были прекращены.

С 1925 по 1929 г. сланцевая промышленность в Ленинградской области находилась в состоянии консервации. Застой в местной топливной промышленности создавался искусственно: доказывалась нерациональность разработки местных видов топлива и, в частности, горючих сланцев. Промышленность Ленинграда ориентировалась на дальнепривозное топливо [63].

С 1929 г. возобновляются работы на Веймарнской шахте. В том же году здесь было добыто 7,4 тыс. т сланца, а в 1930 г.— 9,3 тыс. т. Трест «Битумсланец» и Ленинградское геологическое управление в 1930—1931 гг. производят детальную разведку Гдовского месторождения горючих сланцев. В сентябре 1934 г. Гдовская шахта, получившая имя С. М. Кирова, вступила в строй и дала промышленности 57,2 тыс. т сланца. Шахта была оснащена врубовыми машинами типа ДТК-2, буровыми молотками типа БМ-13 и утяжеленными молотками типа Р-9.

На этой шахте в 1931 г. было добыто 39,8 тыс. т сланца и в 1932 г.— 73 тыс. т. С 1933 г. добыча сланца на этой шахте прекращается, а в Гдове закладываются новые шахты № 1, 2 и 3. В 1935 г. на шахтах Гдовского месторождения было занято 3,6 тыс. чел.

Характеристика шахт Гдовского месторождения приведена в табл. 51.

Бурное развитие сланцевой промышленности СССР начинается в послевоенные годы. Среднегодовой темп прироста добычи горючих сланцев в СССР за послевоенный период составил 13,3%, в том числе горючих сланцев прибалтийских месторождений — 15,5%.

## Краткая характеристика действующих шахт шахтоуправления Ленинградсланец

Показатели	Шахта			
	№ 1	№ 2	№ 3	Им. Кирова
Год ввода в эксплуатацию . . . . .	1947	1939	1953	1934
Способ вскрытия (тип ствола) . . . . .		Вертикальный		
Глубина залежи, м . . . . .	92	82	108	70
Мощность пласта геологическая, м . . . . .	1,87	1,89	1,81	1,99
Мощность пласта рабочая, м . . . . .	1,52	1,57	1,49	1,63
Мощность пласта среднединамическая по добыче сланца, м . . . . .	1,10	1,08	1,00	1,16
Средняя плотность сланца, т/м <sup>3</sup> . . . . .	1,62	1,62	1,63	1,59
Проектная мощность, тыс. т/год . . . . .	700	1200	600	500

Таблица 52

## Развитие добычи горючих сланцев в СССР в тыс. т

Год	СССР	РСФСР			Эстонская ССР	Казахская ССР
		всего	в том числе			
			Ленинградская область	Волжские районы		
1940	1 683	734 *	403	307	947	2
1945	1 374	512	—	512	850	12
1950	4 716	1156	347	809	3 543	17
1955	10 793	3782	2068	1714	7 010	1
1960	14 148	4902	3480	1422	9 246	—
1965	21 259	5425	4145	1280	15 834	—
1970	24 319	5417	4249	1168	18 902	—
1971	26 087	5275	4155	1120	20 812	—
1972	29 258	5539	4609	930	23 719	—
1973	31 123	5805	4860	945	25 318	—

\* В 1940 г. в центральных районах РСФСР было добыто 23 тыс. т горючих сланцев и на Урале — 1,0 тыс. т.

В результате более быстрого развития добычи горючих сланцев в Прибалтийском сланцевом бассейне, удельный вес бассейна в общей добыче по СССР повысился с 62,0% в 1945 г. до 93,0% в 1950 г. и до 96,9% в 1973 г. В Прибалтийском сланцевом бассейне на долю шахт треста Эстонсланец в 1973 г. приходилось 84% добычи сланца (табл. 52)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> С 1975 г. на базе треста Эстонсланец и шахтоуправления Ленинградсланец созданы производственные объединения.

Данные табл. 52 показывают, что сланцевая промышленность СССР наибольшее развитие имеет в Прибалтийском сланцевом бассейне, в котором главную роль играет трест Эстонсланец. Прибалтийский бассейн определяет, следовательно, дальнейшее развитие сланцевой промышленности Советского Союза.

В 1973 г. на всех месторождениях страны в эксплуатации находились 14 шахт мощностью 17,95 млн. т в год и три разреза — 9,4 млн. т в год, в том числе на Эстонском месторождении — девять шахт и три разреза, на Ленинградском — три шахты и Кашпирском — две шахты. Все действующие шахты и разрезы были построены либо реконструированы в послевоенные годы.

Основным направлением развития добычи сланцев в послевоенный период явилось увеличение мощности шахт. Среднесуточная добыча горючих сланцев на одну шахту по СССР возросла с 790 т в 1950 г. до 8328 т в 1973 г., или в 10,5 раза, а по тресту Эстонсланец — соответственно с 1130 до 10 678 т, или в 9,4 раза. Среднесуточная мощность одной сланцевой шахты более чем в 2,5 раза превышает среднесуточную добычу одной угольной шахты в СССР.

Рост добычи сланца обуславливается большими изменениями в технике и технологии добычи сланцев на шахтах и разрезах.

В настоящее время на шахтах полностью механизированы зарубка и отбойка, бурение шпуров, доставка, откатка, погрузка горючего сланца в железнодорожные вагоны. Крепление в лавах осуществляется металлической крепью, завершена механизация погрузки горной массы в подготовительных забоях. Сланцевые шахты и разрезы располагают большим парком технологического оборудования. Только на предприятиях треста Эстонсланец в 1973 г. в работе находилось 127 врубовых и 175 погрузочных машин, 496 скребковых и ленточных конвейеров, 182 электровоза, 68 экскаваторов, 84 бульдозера, 59 бурильных установок и много другого высокопроизводительного горного оборудования.

Техническая перестройка сопровождалась улучшением условий труда, техники безопасности и охраны труда. На всех сланцевых шахтах осуществлено систематическое пылеподавление в очистных и подготовительных забоях, механизирована доставка шахтеров к месту работы, освещены лампами накаливания и дневного света главные и откаточные штреки. По сборным штрекам проложены магистральные оросительные трубопроводы, которые могут использоваться и в качестве противопожарных.

Новая горная техника и обусловленная ею передовая технология добычи горючих сланцев, совершенствование организации труда и условий работы шахтеров позволили значительно улучшить технико-экономические показатели предприятий сланцевой промышленности СССР.

В табл. 53 приведены данные, характеризующие изменение производительности труда и себестоимости добычи горючих сланцев.

**Среднемесячная производительность труда рабочего по добыче горючего сланца  
и производственная себестоимость 1 т сланца**

Показатели	Год			
	1946	1950	1955	1960

**Трест Эстонсланец**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	26,5	41,6	67,6	91,4
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	4—92	5—08	3—63	3—35

**Шахтоуправление Ленинградсланец**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	—	26,8	47,2	68,0
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	—	9—27	5—03	4—20

**Кашпирское шахтоуправление**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	—	—	36,5	42,3
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	—	—	5—30	4—15

Показатели	Год			
	1965	1970	1971	1972

**Трест Эстонсланец**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	133,7	177,3	193,2	217,7
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	2—72	2—57	2—51	2—49

**Шахтоуправление Ленинградсланец**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	78,1	92,9	91,2	100,4
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	3—78	4—35	4—62	4—41

**Кашпирское шахтоуправление**

Производительность труда одного рабочего, т . . . . .	56,8	80,9	81,2	78,8
Себестоимость сланца, руб.—коп. . .	4—08	4—11	4—15	4—47

Как показывают данные табл. 53, производительность труда рабочего по добыче горючего сланца за период с 1946 по 1973 г. увеличилась по тресту Эстонсланец в 8,2 раза, по шахтоуправлению Ленинградсланец с 1950 по 1973 г. в 3,7 раза и шахтам Кашпирского шахтоуправления с 1955 по 1973 г. — в 2,2 раза. Себестоимость добычи 1 т сланца за это время снизилась по тресту Эстонсланец почти в 2 раза, по шахтоуправлению Ленинградсланец в 2,1 раза и шахтам Кашпирского шахтоуправления в 1,2 раза.

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

На сланцевых шахтах СССР до 1949 г. основной системой разработки месторождений горючих сланцев являлась камерно-столбовая. Примером этой системы может служить шахта «Кохтла» треста Эстонсланец.

Шахтное поле на этой шахте, в соответствии с его конфигурацией и гипсометрией подошвы промышленного пласта, нарезается главными и панельными штреками на панели (рис. 22). В сторону от главной штольни через каждые 80—100 м проводятся однопутевые панельные штреки шириной 3,3 м. Из них нарезают односторонние камеры, которые ведутся по восстановлению пласта до верхнего панельного штрека, с оставлением предохранительных целиков шириной 5—6 м каждый. Выемка сланца производится в камерах шириной 28 м. Ширина промежуточных столбов, временно оставляемых между камерами, 22 м. Они отрабатываются обратным ходом от границы панели к панельному штреку. Против каждого очистного штрека камеры на панельном штреке проходит ниша для одной, иногда для двух порожних вагонеток.

Забои каждого панельного штрека работают строго по графику подготовительных и добычных смен. Длительность подготовительной смены 4 ч. Подготовительные работы ведутся бурильщиками и взрывниками. Ручными электросверлами бурят шпурь, располагаемые в пять рядов — по числу слоев сланца — в шахматном порядке. Расстояние между шпурами в каждом ряду 1,2—1,5 м, глубина шпуров 1,2—1,7 м. Взрывание шпуров огневое, расход взрывчатого вещества (аммонит № 7) на 1 т сланца колеблется от 450 до 500 г.

В добычной смене в камере или столбе работы ведут четыре забойщика — по два человека с каждой стороны. Они выполняют все необходимые работы: подачу порожняка от панельных штреков к забою и откатку вагонеток со сланцем на расстояние до 120—150 м; осуществляют разборку и сортировку отбитой горной массы. Погрузка сланца производится лопатой, а порода забрасывается в выработанное пространство. Крепление очистных забоев и выемочных штреков производится крепильщиками в добычную смену.

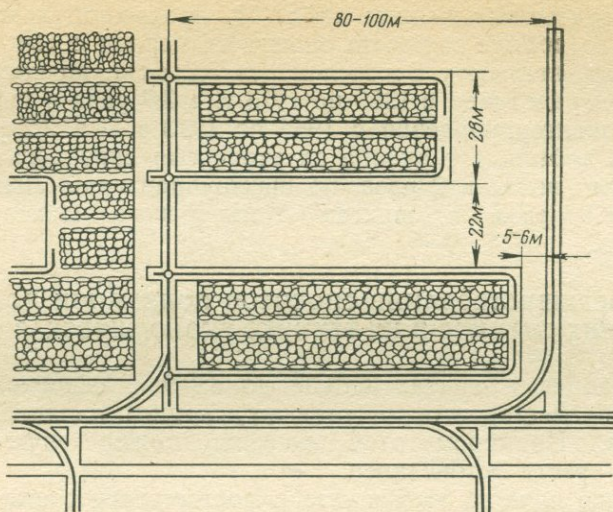


Рис. 22. Схема камерно-столбовой системы разработки на шахте «Кохтла» треста Эстонсланец

Управление кровлей как в камерах, так и в столбах производится частичной закладкой выработанного пространства с помощью выкладки из породы продольных бутовых полос, стенки которых на ширину до 1 м складываются из более крупных кусков породы. В камерах породу размещают в виде двух-трех бутовых полос шириной 3—4 м, с интервалами между ними 2,0—2,5 м, а в межкамерных столбах — четырьмя полосами шириной 3,0—3,5 м с интервалами по 3,0—4,0 м. Степень заполнения выработанного пространства породой при средних условиях определяется: при выемке камер — 65—70%, при выемке межкамерных столбов — 50—55%.

Ввиду устойчивости боковых пород применение частичной закладки выработанного пространства обеспечивает хорошее состояние кровли в призабойном пространстве и сохранность бортовых штреков даже при сравнительно медленном подвигании забоев.

Опыт показал, что камерно-столбовая система выемки сланца имеет свои достоинства: она обеспечивает достаточно надежную и безаварийную работу; потери горючего сланца по площади оказываются минимальными и не превышают 5—7%, расход лесных материалов незначительный и составляет 6—8 м<sup>3</sup> на 1000 т добычи; сланец можно выдавать довольно высокого качества — содержание породы в нем не превышает 8—10%, организация работ проста и не требует большого числа общеучасткового и обслуживающего персонала.

Однако камерно-столбовая система не лишена существенных недостатков: отсутствие достаточно широкого фронта работ

в каждом из очистных забоев, применение ручного труда для разборки, сортировки, погрузки, закладки и доставки сланца до панельного штрека, затруднения с проветриванием большого числа относительно узких забоев, разделенных междукамерными столбами или породными полосами.

Для устранения этих недостатков институтом «Гипрошахт» была разработана и внедрена на шахтах с 1950 г. камерно-столбовая система с механизированной зарубкой и доставкой, которая была внедрена на шахтах № 2, «Сомпа» и «Ахтме» треста Эстон-сланец.

На этих шахтах с целью создания необходимого фронта работ ширина камер и столбов увеличена до 30 м. Камеры закладываются с дополнительных сборных штреков, проходимых на расстоянии 6—8 м от панельных штреков.

Зарубку пласта производят по нижнему слою А врубовыми машинами ГТК-3, отбойку — взрывным способом. Отбитая горная масса разбирается вручную, доставка сланца до сборного штрека осуществляется скребовыми конвейерами вдоль забоя, а по сборному штреку — ленточными конвейерами.

Введение зарубки и механизированной доставки несколько повысило уровень механизации труда шахтеров и скорость продвижения забоя, но вместе с тем и вызвало увеличение ширины призабойного пространства, что в свою очередь увеличило трудоемкость закладочных работ, а также усложнило управление кровлей. В результате производительность труда на шахтах, применивших эту систему, осталась примерно такой же, как и на шахте «Кохтла», где выемка сланца осуществлялась по основному варианту камерно-столбовой системы.

Механизированная камерно-столбовая система не получила развития, и на большинстве сланцевых шахт в качестве основной системы разработки применяется система разработки длинными столбами с выемкой спаренными лавами (рис. 23). Средняя длина лавы достигает 80—90 м. Эта система применяется на шахте № 3 шахтоуправления Ленинградсланец.

Как и при камерно-столбовой системе, шахтное поле главными и панельными штреками разделяется на панели. Выемку производят спаренными лавами. Для подготовки каждой пары лав на всю ширину панели проходят один сборный штрек, общий для обеих лав, предназначенный для выдачи сланца и затем погашаемый по мере продвижения очистных забоев.

Отработка панелей длиной 300 м осуществляется в направлении от шахты к границам шахтного поля длинными столбами, вынимаемыми спаренными лавами длиной 80 м.

Управление кровлей осуществляется частичной закладкой выработанного пространства бутовыми полосами, выкладываемыми из породы прослоек.

Выемка горючего сланца в лавах производится с помощью взрывных работ с предварительной подрубкой забоя, как

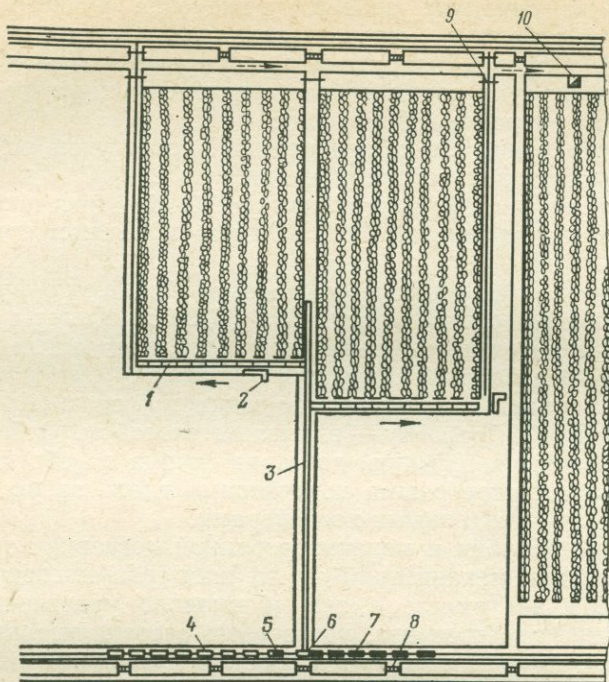


Рис. 23. Схема системы разработки длинными столбами со спаренными лавами:

1 — скребковый конвейер СТР-30; 2 — врубная машина ГТК-3; 3 — ленточный конвейер; 4 — порожние вагонетки; 5 — толкатель; 6 — перекрыватель межвагонных зазоров; 7 — груженные вагонетки; 8 — чураковая перемычка; 9 — вентиляционная дверь; 10 — вентиляционный шурф

и на других шахтах Прибалтийского бассейна, или без нее, как это имеет место на шахтах Кашпирского шахтоуправления.

Зарубка производится с помощью врубных машин типа КМП-2, бурение шпуров — ручными электросверлами типа ЭБР-19 и отбойка — взрыванием зарядов огневым способом.

Доставка сланца осуществляется скребковыми конвейерами типа СТР-30 вдоль забоя, а навалка отбитого материала на конвейеры — ручная, с рассортировкой его на сланец и породу.

Забои крепят временной крепью — деревянными стойками под распил и постоянной — деревянными крепежными рамами (две стойки под распил).

Передвижка конвейера по мере подвигания очистного забоя производится с полной разборкой решетков с последующей сборкой их.

Доставка сланца по сборным штрекам осуществляется с помощью ленточных конвейеров типа РТУ-30 с перегрузкой в шахт-

ные двухтонные вагонетки на откаточном штреке. Межвагонные пространства при протягивании состава вагонеток у погрузочного пункта с помощью маневровых лебедок типа МЭЛД-4,5 перекрываются стальными листами. С 1958 г. в очистных забоях стали применять более совершенные машины, а на проходческих работах — углепогрузочные машины. На шахтах треста Эстонсланец в 1960 г. испытывались лавы длиной 140—150 м. В качестве средств механизации в них применялись врубовые машины КМП-2 и КМП-3, скребковые конвейеры КСК-30, КСП-1 и КСП-1м. Крепление лав производилось металлическими стойками ДРКУ-3В, М-53Д и КСТ-7.

Система выемки сланца длинными столбами с отработкой их спаренными лавами с частичной закладкой выработанного пространства породой используется на шахтах «Кохтла», «Кивиыли», «Сомпа», № 2 и № 4 треста Эстонсланец. Добыча с применением данной системы по тресту Эстонсланец составила в 1972 г. 6,17 млн. т, или 48,2% общего объема подземной очистной добычи товарного сланца.

В связи с переходом на удлиненные лавы возросла нагрузка на забой и на участок в целом, улучшились технико-экономические показатели добычи сланца. Производительность труда горнорабочего очистного забоя на лучших участках достигала 8,7 т/выход, что на 19,5% больше средней выработки по шахтам треста Эстонсланец. Однако и в новых лавах не было возможности комплексно механизировать труд шахтеров.

В 1958 г. была предложена новая прогрессивная система выемки сланца — камерная [11, 18]. Начиная с 1959 г., на шахтах бассейна началось ее промышленное внедрение. Выемка сланца по этой системе осуществляется в камерах шириной 8—12 м, между которыми сохраняются целики шириной 3—4 м. Такие параметры устраняют отслаивание и обрушение кровли в выработках.

Погрузка сланца на конвейер после взрывных работ производится в камерах специальными погрузочными машинами УП-3 и ПНБ-3. Длина камер не превышает 150 м и ограничивается длиной забойных конвейеров КСК-30 и КСП-1м.

Специально для сланцевых шахт в 1959 г. были сконструированы уникальные механизмы и машины, обеспечивающие комплексную механизацию труда на всех производственных процессах по добыче сланца камерной системой. Среди них такие машины, как самоходная вагонетка СКВ-10, буровые каретки БУА-2 и др.

Камерная система разработки позволила улучшить технико-экономические показатели добычи сланца на шахтах. Среднесменная выработка горнорабочего очистного забоя на участках достигает 15,1 т/выход, вместо 7,3 т в среднем на рабочего по участку на выход при выемке спаренными лавами. Себестоимость 1 т сланца при выемке камерами оказывается примерно на 41% ниже средней себестоимости добычи 1 т сланца на шахтах Прибалтий-

ского сланцевого бассейна. Резко сократилась трудоемкость добычи сланца. Если в лавах с ручной погрузкой на 1000 т сланца затрачивается в среднем 150—200 рабочих дней, то при выемке камерами — 20 рабочих дней. В табл. 54 показан рост добычи сланца механизированным способом с применением различных систем разработки по тресту Эстонсланец.

Таблица 54

Динамика добычи сланца механизированным способом с применением различных систем разработки на шахтах треста Эстонсланец

Показатели	Год							
	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Добыча сланца, тыс. т . . . . .	33	27	108	421	862	1077	1405	1739
Удельный вес в общем объеме подземной добычи сланца, % . . .	0,4	0,3	1,3	5,0	9,1	10,9	14,4	16,5

Показатели	Год							
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Добыча сланца, тыс. т . . . . .	2695	3150	4165	4219	4970	5680	7315	8896
Удельный вес в общем объеме подземной добычи сланца, % . . .	21,9	26,0	34,7	34,8	39,4	43,2	56,2	62,5

Благоприятные горно-геологические условия и хорошие технико-экономические показатели обуславливают высокие темпы роста механизированной добычи сланца главным образом камерной системой разработок. В 1972 г. с помощью этой системы было добыто 8896 тыс. т, или 62,5% сланца общей подземной добычи на шахтах треста Эстонсланец.

На шахтах уже в годы восьмой пятилетки был взят курс на увеличение нагрузки на камерный блок с 700—800 до 1000 т/сут. и более [84]. Для достижения этой цели на горных участках стали применять новые погрузочные машины типа 1ПНБ-2, 2ПНБ-2, дизельные бульдозеры, мощные конвейеры и врубовые машины. 75% камерных блоков имеют уже нагрузку по тысяче тонн и более в сутки. Сейчас ставится задача за счет дальнейшей механизации и совершенствования технологии добычи топлива добиться нагрузки на камерный блок 1500 т/сут. Для этого должен быть полностью механизирован труд.

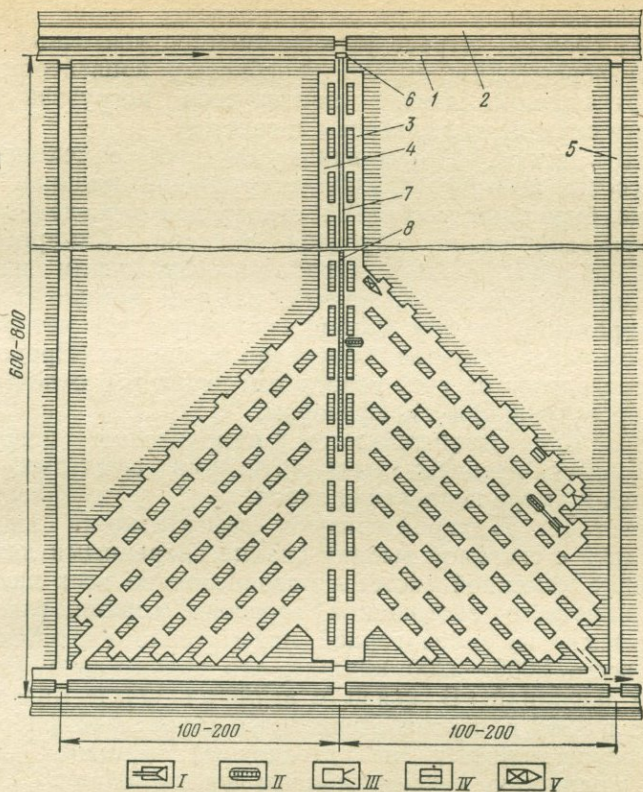


Рис. 24. Схема подготовки и отработки камерного блока при многокамерном варианте:

*I* — погрузочная машина; *II* — самоходный вагон; *III* — бурильная установка; *IV* — станок для возведения штанговой крепи; *V* — вентилятор местного проветривания с конфузуром; *1* — панельный откаточный штрек; *2* — панельный вентиляционный штрек; *3* — сборный штрек; *4* — маневровый штрек; *5* — боковой штрек; *6* — погрузочный пункт; *7* — ленточный конвейер; *8* — скребковый конвейер

До сих пор на шахтах не механизирован труд бурильщиков. Испытания самоходной бурильной установки БУА-1С на одной из шахт треста Эстонсланец показали, что она может решить эту проблему.

Институтом сланцев в г. Кохтла-Ярве исследованы новые варианты камерной системы разработки: многокамерной, с нарезными камерами, с поперечными скважинами и столбчатыми целиками.

Как показал технико-экономический анализ [105], наиболее экономичным является многокамерный вариант, получивший наибольшее распространение. При этом варианте (рис. 24) подготовка камерного блока начинается проходкой сборного штрека,

параллельно которому могут быть пройдены также маневровые штреки. На сборном штреке устанавливается ленточный конвейер с бункером-перегрузателем или скребковым конвейером. На панельном откаточном штреке монтируется погрузочный пункт с автоматическим прекрывателем вагонеток.

Основным видом оборудования является самоходный комплекс, в состав которого входят: погрузочная машина, самоходные вагоны, бурильная установка, станки для возведения и извлечения штанговой крепи, врубовая машина. Камерный блок, состоящий из двух крыльев, обрабатывается одним или двумя комплексами оборудования, причем каждый комплекс обслуживает одновременно группу камер, состоящую из четырех—семи камер, в том числе одну-две поочередно резервных. Проветривание камер производится за счет участковой депрессии и вентилятором местного проветривания с конфузуром.

Камерный блок обрабатывается в направлении к погрузочному пункту. Кровля крепится металлическими штангами, которые извлекаются по мере подвигания забоя.

Данные табл. 55 характеризуют эффективность многокамерного варианта с системой выемки сланца спаренными лавами.

Внедрение камерной системы разработок на всех шахтах требует механического обогащения горючего сланца, так как при валовой выемке из забоя горной массы теплота сгорания ее составляет всего 2000—2200 ккал/кг, что значительно ниже установленных кондиций. В связи с этим на шахте «Ахтме» была сооружена в 1960 г. первая очередь обогатительной фабрики, обогащение осуществляется на отсадочных машинах БОМС-10. В 1973 г. полностью механизированы шахты «Виру», «Таммику» и «Ахтме», на которых сланец добывается с применением камерной системы и обогащается на обогатительных фабриках. В 1972 г. системой камерной разработки со столбчатыми целиками на механизированных шахтах было добыто 45,2% товарного сланца от общей подземной очистной добычи по тресту Эстонсланец.

В целях обеспечения благоприятных условий освоения на шахтах камерной системы разработки с механическим обогащением сланца в ближайшие годы будут построены на Эстонском месторождении еще две обогатительные фабрики мощностью 5 млн. т товарного сланца в год каждая.

Для дальнейшего улучшения качества товарного сланца и внедрения камерной системы разработки намечается в ближайшей перспективе на всех шахтах и карьерах Прибалтийского бассейна построить обогатительные фабрики [85].

Новым направлением в совершенствовании добычи горючего сланца является освоение комбайновой выемки. Впервые она была применена на шахтах «Кява-2» и № 4. Сменная производительность труда рабочего поднялась до 30 т, в то время как в лавах с ручной навалкой она составила всего 10 т. На шахтах № 4, «Кохтла», «Сомпа» и «Таммику» трест Эстонсланец в 1972 г.

Сравнение технико-экономических показателей многокамерного варианта камерной выемки и комбинированной системы спаренными лавами [105]

Показатели	При отработке спаренными лавами		Достигнуто при многокамерном варианте камерной выемки		Запроектировано при многокамерном варианте камерной выемки	
	величина показателя	%	величина показателя	% по сравнению с отработкой лавами	величина показателя	% по сравнению с отработкой лавами
Себестоимость добычи 1 т сланца по участку, руб.—коп. . . . .	1—51	100	1—59	105	0—96	64
Себестоимость добычи 1 т сланца по шахте, руб.—коп. . . . .	2—98	100	3—30	111	2—65	89
Себестоимость 1 т условного топлива, руб.—коп. . . . .	7—52	100	9—27	123	6—74	90
Удельные капитальные вложения, руб.—коп/т	0—17	100	0—71	418	0—55	324
Производительность труда рабочего по участку, т/выход . . . . .	6,8	100	15,1	222	27,6	406
Производительность труда рабочего по шахте, т/выход . . . . .	4,1	100	—	—	7,4	180
Трудоёмкость работ на 1000 т по участку, чел-смен . . . . .	147	100	66,2	45	36,2	25
Уровень механизации труда, %	18	100	64	356	95	528
Теплота сгорания сланца, ккал/кг	3440	100	3200	93	3200	93

комбайновой выемкой было добыто всего 838 тыс. т, или 6,6% товарного сланца от общей добычи по тресту.

Наиболее высокие показатели могут быть достигнуты при применении комбайновой выемки с механизированной крепью в длинных лавах. Создаются предпосылки для поточного производства, значительно снижаются потери сланца в недрах.

Проблем, требующих решения для успешного внедрения комбайновой выемки, много. Свойства сланцевого пласта с породными прослойками резко отличаются от свойств угольных пластов, для которых разработаны добычные комбайны.

В конце 1969 г. на шахте «Кява-2» начались испытания наиболее подходящего угольного комбайна 2К-52. В результате испытаний удалось разработать технические требования на сланцевые комбайны.

Применение комбайна для разрушения пласта сланца меняет всю технологию работы в лаве. Испытание новой технологии было проведено на шахте № 4. В лаве длиной 120 м и высотой 1,5 м работал комбайн 2К-52. В качестве посадочной крепи применялись металлические стойки типа ОКУ. Организация работ и паспорт крепления уточнялись по ходу испытаний. Калорийность добытого сланца в среднем составляла 2730 ккал/кг. Среднесуточная нагрузка на лаву намного увеличилась.

Одновременно была достигнута и другая цель — удалось разработать часть шахтного поля, где выемка лавами с ручной погрузкой невозможна из-за слабой кровли.

На угольных шахтах была исследована новая гидравлическая посадочная крепь Спутник с механизированной передвижкой для использования ее на сланцевых шахтах.

В опытным порядке при системе комбайновой выемки в настоящее время вынимается только нижняя часть промышленного сланцевого пласта (мощность около 1,4 м, включающая сланцевые слои от А до С). При такой однослойной выемке под землей остается в виде потерь 51—55% сланца. С освоением комбайновой системы выемка промышленного пласта должна осуществляться двумя слоями на полную мощность пласта, что позволит в значительной мере уменьшить эксплуатационные потери полезного ископаемого.

Объем комбайновой добычи в 1975 г. должен превысить 1,5 млн. т сланца.

Технический прогресс на очистных участках, в свою очередь, вызвал необходимость ускорения темпов проведения подготовительных выработок, с тем чтобы постоянно обеспечивать необходимый фронт добычи сланца. Это может быть осуществлено лишь при условии завершения комплексной механизации труда на проходческих работах. С применением погрузочных машин УП-3 в 1961 г. было в основном завершено техническое перевооружение на подготовительных участках, о чем свидетельствуют данные табл. 56.

Как видно из данных табл. 56, начиная с 1962 г. все проходческие работы на шахтах треста Эстонсланец осуществляются с помощью машин. Механизированное проведение выработок позволило сократить затраты труда и материальных средств на 1 м подготовительных выработок. Каждый метр выработок, пройденный механизированным способом, позволяет сэкономить примерно 6 руб. При годовом объеме проходческих работ в 1972 г. (см. табл. 56) сумма экономии составляет более 0,6 млн. руб.

Экономическая эффективность проходческих работ с комплексным использованием механизмов и машин зависит от скорости

**Динамика роста механизированного проведения выработок на шахтах  
треста Эстонсланец**

Показатели	Год						
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Механизированное проведение выработок, м . . .	6302	10 305	17 000	40 000	70 000	71 387	71 910
Удельный вес механизированной проходки в общем объеме проходческих работ, % . . . . .	8,6	13,3	24,7	58,6	100,0	100,0	100,0

Показатели	Год							
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Механизированное проведение выработок, м . . .	80 112	72 805	63 967	62 754	82 576	81 298	84 080	85 778
Удельный вес механизированной проходки в общем объеме проходческих работ, % . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

**Динамика роста скорости проведения подготовительных выработок на шахтах  
треста Эстонсланец**

Показатели	Год						
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Средняя скорость продвижения забоя, м/мес . . .	57,1	70,7	81,8	97,3	107,6	102,3	103,1
То же, % . . . . .	100,0	124,3	143,5	171,0	188,9	180,2	181,0

Показатели	Год							
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Средняя скорость продвижения забоя, м/мес . . .	103,8	105,2	108,0	114,3	135,0	148,0	151,2	167,0
То же, % . . . . .	182,0	184,8	189,3	200,5	236,5	260,0	265,0	293,0

подвигания забоя, крепления выработок и их проветривания, организации транспортирования, буровзрывных работ и других факторов. В табл. 57 приведены данные роста скорости подвигания подготовительных забоев на шахтах треста Эстонсланец.

Опыт показывает, что применение погрузочных машин и правильная организация труда создают условия для высокой скорости проведения выработок. В последние годы на сланцевых шахтах получила распространение металлическая штанговая крепь, о чем свидетельствуют данные табл. 58.

Таблица 58

Динамика роста применения металлической штанговой крепи на шахтах треста Эстонсланец

Показатели	Год						
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Протяженность выработок, закрепленных металлической штанговой крепью, м . . . .	5807	7527	16 000	23 958	41 127	44 406	51 515
Удельный вес металлической крепи в общем объеме крепежных работ, % . . . .	8,7	10,9	24,2	34,4	48,1	60,0	68,5

Показатели	Год							
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Протяженность выработок, закрепленных металлической штанговой крепью, м . . . .	52 682	58 828	49 578	60 280	72 456	73 521	79 132	81 800
Удельный вес металлической крепи в общем объеме крепежных работ, % . . . .	71,1	76,3	70,5	80,3	91,5	93,4	97,2	99,1

В настоящее время полностью крепятся металлической штанговой крепью очистные камеры. Вместе с тем металлическая крепь весьма экономична не только при креплении камер, но и подготовительных выработок [5, 91]. Если срок службы деревянной крепи всего лишь 3—5 лет, то срок службы металлической

штанговой крепи во много раз больше, к тому же она может быть использована повторно [104]. В табл. 59 показана динамика роста применения металлических штанг и их повторного использования.

Таблица 59

Применение металлической штанговой крепи в очистных забоях и ее повторное использование на шахтах треста Эстонсланец

Показатели	Год							
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	
Число металлических штанг, применяемых на очистных участках, тыс. шт.	7,0	23,0	60,0	98,0	122,4	156,3	199	
Удельный вес металлических штанг, использованных повторно, % . . . . .	—	—	—	—	57,6	71,7	72,0	

Показатели	Год							
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
Число металлических штанг, применяемых на очистных участках, тыс. шт.	234	269	321	352	374	381	395	418
Удельный вес металлических штанг, использованных повторно, % . . . . .	72,0	75,4	79,6	81,3	85,0	86,2	87,1	88,2

На шахтах Эстонского месторождения имеются все условия для дальнейшего форсирования темпов проведения горных выработок. В ближайшей перспективе при более широком внедрении металлической крепи, улучшении транспортирования, проветривания штреков, буровзрывных работ скорость проведения выработок может быть доведена до 350—400 м/мес. на одну погрузочную машину вместо 160—200 м/мес. в настоящее время.

Для достижения более высоких экономических показателей в сланцедобывающей промышленности осуществляется процесс дальнейшего укрупнения шахт [85]. На Эстонском месторождении в 1972 г. введена в эксплуатацию шахта-гигант «Эстония». После освоения проектной мощности она станет самой крупной из всех действующих и строящихся в настоящее время угольных и сланцевых шахт СССР и одной из крупнейших в мире.

Проектные технико-экономические показатели шахты «Эстония» с обогатительной фабрикой треста Эстонсланец приведены ниже:

Годовая производственная мощность, тыс. т:	
по горной массе . . . . .	9 000
по товарному сланцу . . . . .	5 000
Суточная производительность по товарному сланцу, т . . . . .	16 667
Себестоимость 1 т товарного сланца, руб.-коп.	2—72
Себестоимость 1 т горной массы, руб.-коп. .	2—23
Среднемесячная производительность труда рабочего по добыче, т:	
по товарному сланцу . . . . .	231,9
по горной массе . . . . .	417,4
Удельные капитальные вложения на 1 т, руб.:	
товарного сланца . . . . .	8,05
горной массы . . . . .	5,10

Вскрытие шахтного поля на шахте «Эстония» площадью около 132 км<sup>2</sup> осуществляется главным наклонным и двумя вспомогательными стволами. Главный ствол оборудуется двумя ленточными конвейерами производительностью 1500 т/ч. Один из вспомогательных стволов служит для доставки оборудования, материалов, другой — для спуска и подъема людей.

Максимальная глубина разработки по вертикали составляет 66,5 м. Отработка шахтного поля производится панелями шириной 800 м и длиной 4000—5000 м. Производительность панели 5 тыс. т горной массы в сутки, или 3 тыс. т товарного сланца. Проектная мощность шахты обеспечивается при одновременной работе шести таких панелей. Система разработки — камерная; ширина камер 10 м, междукамерных целиков — 3—3,5 м; длина камер достигает 150 м.

Камеры крепятся металлическими штангами, причем до 70% штанг при отработке камер извлекается для повторного использования.

Вывемка горной массы осуществляется с помощью буровзрывных работ. Бурение шпуров производится электросверлами.

В состав забойного оборудования входят: погрузочные машины на гусеничном ходу с исполнительным органом непрерывного действия, самоходные вагонетки и буровые станки для бурения шпуров и скважин под металлические штанги.

Подготовительные выработки проводятся буровзрывным способом с применением того же комплекса забойного оборудования. Все подготовительные выработки крепятся металлическими штангами.

На шахте осуществлена полная конвейеризация транспортирования горной массы от добычных участков до поверхности.

Горная масса выдается из шахты в корпус дробления, оборудованный валковыми дробилками ДЗС-70, а затем — в бункеры обогатительной фабрики. Поток горной массы делится на три рав-

ные части, каждая из которых направляется в соответствующие секции главного корпуса обогатительной фабрики, где подвергается обогащению в тяжелых магнетитовых средах на колесных сепараторах. Сланцевый концентрат крупностью 25—125 мм обладает теплотой сгорания 3300 ккал/кг; калорийность сланцевой мелочи размером 0—25 мм составляет 2750—2850 ккал/кг на сухую массу.

Проектом предусмотрена автоматизация конвейерных линий и других основных производственных процессов шахты и обогатительной фабрики.

По проекту института «Гипрошахт» в настоящее время производится реконструкция шахт № 1, 2 и 3 Ленинградского месторождения. Шахты № 1 и 2 объединены в одну шахту «Ленинградская». В границы шахтного поля шахты «Ленинградская» войдут также примыкающие к полям шахт № 1, 2 на юге поля шахт № 4 и 5, а на северо-востоке — участок Криволукский и северо-западная часть участка Центрального. В перспективе намечается реконструкция шахты им. С. М. Кирова проектной мощностью 5 млн. т товарного сланца в год. После реконструкции шахта будет обеспечена запасами  $A+B+C_1$  на срок более 60 лет.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Разведанные запасы горючего сланца в промышленных границах Эстонского месторождения составляют 18,4 млрд. т. Их распределение по глубине залегания и мощности пласта представлено в табл. 60.

Таблица 60

Распределение запасов горючих сланцев в промышленном контуре  
Эстонского месторождения, млн. т

Глубина залегания сланцевого пласта, м	Полезная мощность промышленного пласта, м					всего
	0,7—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	более 2,5	
0—50	695	935	536	2340	1810	6316
50—100	374	1950	1610	3960	1250	9144
100—150	—	1650	1295	—	—	2945
Итого	1069	4535	3441	6300	3060	18395

Как видно из табл. 60, от общего количества разведанных запасов сланца залежи на глубине до 50 м составляют примерно 30% и в пластах мощностью более 1 м — 92%.

Самой благоприятной является глубина залегания сланцевого пласта до 40 м. Запасы горючих сланцев в пластах мощностью

более 1 м, залегающих на глубине до 40 м, равны почти 3 млрд. т. Участки залегания сланцевого пласта в верхних горизонтах Эстонского месторождения, вдоль северной его границы наиболее разведаны.

Одна часть сланцевых запасов может быть вскрыта и разработана подземным способом, другая — открытым.

При открытом способе добычи выемка сланца организационно и технически проще, чем при подземном способе. Открытый способ добычи менее капиталоемкий, чем подземный.

При открытом способе добычи достигается более полное извлечение сланцевого пласта, о чем свидетельствуют данные табл. 61.

Таблица 61

Степень извлечения сланца при открытом и подземном способах добычи сланцев (по данным треста Эстонсланец за 1972 г.)

Показатели	Способ добычи	
	подземный	открытый
Балансовые запасы сланца по замерам горных выработок, тыс. т . . . . .	307 287	66 889
Добыча сланца с учетом эксплуатационных потерь, тыс. т . . . . .	199 676	50 806
То же, % . . . . .	65,1	75,9
Потери, тыс. т . . . . .	107 611	16 083
То же, % . . . . .	34,9	24,1

Как видно из табл. 61, рост извлечения сланца при открытом способе обуславливается в первую очередь разработкой слоя *F*, значительная часть которого при добыче подземным способом остается под землей. Кроме того, при добыче в разрезах практически сокращаются до нуля потери по площади, а потери отбитого сланца приобретают совершенно иной характер: их величина зависит от числа подступов разработки. Потери отбитого сланца возрастают с увеличением их числа. При экскавации не достигается точного отделения слоя сланца от породной прослойки. В большинстве случаев в виде отбитого сланца теряется слой *D*, отделяемый вместе с верхней и нижней известняковыми прослойками.

Чтобы добыть 3 млн. т сланца, необходимо разработать балансовых запасов при шахтной добыче 2 млн. м<sup>2</sup> и при открытой — 1,3—1,45 млн. м<sup>2</sup>. Следовательно, продолжительность эксплуатации шахтного поля одной и той же площади увеличивается при карьерной добыче на 40—50%.

Сравнение проектных показателей шахты «Эстония» и разреза «Сиргала» (табл. 62) свидетельствует о значительных экономиче-

Сравнение технико-экономических показателей добычи сланца при открытом и подземном способах по проектам разреза «Сиргала» и шахты «Эстония» треста Эстонсланец

Показатели	При открытой добыче (валовая выемка) без обогащения	При подземной добыче (камерная система) без обогащения
Калорийность сланца, ккал/кг . . . . .	2240	2370
Капитальные вложения, руб/т . . . . .	4,8	5,10
Производительность труда 1 рабочего, т/мес . .	702	417,4
Себестоимость 1 т сланца, руб.-коп. . . . .	1—24	2—23
Приведенные затраты на 1 т сланца, руб.-коп. . .	1—82	2—84

ских преимуществах открытой добычи сланца в сравнении с подземной в условиях Эстонского месторождения.

Анализ добычи сланца подземным и открытым способами свидетельствует о том, что открытый способ имеет явные преимущества перед подземным: производительность труда рабочего в разрезах значительно выше, а себестоимость добычи сланца — ниже.

Перспективы открытого способа добычи обуславливаются условием равенства себестоимости добычи сланца в шахтах и разрезах, которое может быть выражено следующей формулой:

$$S_{\Pi} = S_0 + k_p S_B, \quad (2)$$

где  $S_{\Pi}$  — себестоимость 1 т горючего сланца (горная масса) при подземной добыче, руб.;

$S_0$  — себестоимость 1 т горючего сланца (горная масса) при открытой добыче без затрат на вскрышу, руб.;

$S_B$  — себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши, руб.;

$K_p$  — предельный коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т, рассчитываемый по формуле

$$k_p = \frac{S_{\Pi} - S_0}{S_B}, \text{ м}^3/\text{т}. \quad (3)$$

По проекту шахты «Эстония»  $S_{\Pi} = 2,23$  руб.

По данным проекта карьера «Сиргала»

$$S_0 = 1,06 \text{ руб. и } S_B = 0,18 \text{ руб.}$$

Отсюда

$$k_p = \frac{2,23 - 1,06}{0,18} = 6,5 \approx 7 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Таким образом, открытые работы при данном уровне техники являются экономичными в том случае, когда на 1 т добываемого сланца будет выниматься не более 7 м<sup>3</sup> вскрышных пород.

При производительности промышленной пачки сланца  $3,3 \text{ т/м}^2$  это соответствует мощности вскрыши  $23 \text{ м}$ . Предельный коэффициент вскрыши повысится при комплексном использовании полезных ископаемых месторождения с попутной добычей торфа и известняка.

На основании укрупненных показателей при добыче горючих сланцев открытым способом на Эстонском месторождении предельная мощность вскрыши также определяется в  $23\text{—}24 \text{ м}$  [10].

Перспективные технико-экономические показатели открытой добычи горючего сланца на Эстонском месторождении приведены ниже:

Среднемесячная производительность труда на одного горнорабочего очистного забоя, т . . . . .	200—250
Себестоимость добычи 1 т сланца ( $Q_0^c = 2600 \text{ ккал/кг}$ ) без затрат на вскрышные работы, руб. . . . .	0,7—0,8
Стоимость 1 м <sup>3</sup> вскрыши (в зависимости от ее мощности и характера), руб. . . .	0,25—0,35
Предельный коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т . .	7,0—7,5
Предельная мощность вскрыши, м . . . .	23—24
Наибольшая глубина залегания в разрезе подошвы промышленного пласта, м . . . .	26—27
Полная себестоимость 1 т сланца ( $Q_0^c = 2600 \text{ ккал/кг}$ ) в зависимости от фактического коэффициента вскрыши и способа выемки, руб.-коп. . . . .	1—73

На глубине до  $30 \text{ м}$  залегают около  $900 \text{ млн. т}$  разведанных запасов горючего сланца. Основная масса (примерно  $60\%$ ) этих залежей находится в восточной горнопромышленной части Эстонского месторождения.

Территория этого района в отличие от других аналогичных участков почти не занята сельскохозяйственными угодьями и не находится в зоне промышленных центров. Поверхность этого района сильно заболочена. На значительной площади имеются крупные залежи торфа.

По условиям залегания сланцевого пласта перспективы развития открытых работ имеются и в западной части данного месторождения к югу от линии Кивиыли—Кохтла [26]. Благоприятные горно-геологические условия для ведения открытых работ имеются и на Ленинградском месторождении.

Вопрос об экономической целесообразности развития открытого способа разработки месторождений должен решаться с учетом продуктивности сельского хозяйства на территории полей разрезов как в настоящее время, так и в перспективе и качества почвенного покрова с точки зрения сельскохозяйственного использования.

На основании изложенных факторов установлены границы открытой разработки, в пределах которых промышленные запасы

горючего сланца составляют примерно 1200 млн. т, в том числе по Эстонскому месторождению 1100 млн. т и по Ленинградскому — 100 млн. т.

В перспективе масштабы открытой добычи горючих сланцев характеризуются данными табл. 63.

Таблица 63

**Горнотехническая характеристика разрезов Прибалтийского сланцевого бассейна в перспективе**

Разрез	Промышленные запасы, млн. т	Средний коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	Производственная мощность по товарному сланцу, млн. т	Срок службы разреза, лет
<b>Эстонское месторождение</b>				
Действующие разрезы:				
«Сиргала» . . . . .	169	6,2	4,2	43
«Нарвский» . . . . .	111	6,8	4,0	38
№ 3 . . . . .	151	6,9	5,0	29
Итого . . . . .	431		13,2	
Проектируемые разрезы:				
«Новый Вивиконд» . . . . .	170	5,2	4,0	43
«Раквере» . . . . .	164	8,7	2,6	60
«Кунда» . . . . .	151	4,9	3,2	45
«Ульясте» . . . . .	89	5,6	2,6	34
«Кивиыли» . . . . .	75	5,8	1,7	35
Итого . . . . .	649		14,1	
Итого по Эстонскому месторождению . . . . .	1080		27,3	
<b>Ленинградское месторождение</b>				
Проектируемый разрез «Междуречье» . . . . .	90	11,8	3,6	41
Всего . . . . .	1170		30,9	

Максимальная мощность всех действующих и проектируемых разрезов составит примерно 30—35 млн. т товарного горючего сланца в год. В ближайшие годы открытым способом предполагается выдавать примерно 40—45% общей добычи горючего сланца.

Выемка сланца в разрезах может производиться по трем вариантам:

первый — частично-селективная выемка. Сущность ее заключается в том, что промышленный пласт сланца обрабатывается тремя подступами. Первым подступом вынимается пачка,

## Сравнительные технико-экономические показатели при различных способах выемки сланца по проекту разреза «Сиргала» треста Эстонсланец

Показатели	Частично-селективная выемка	Полная селективная выемка	Валовая выемка		
			без обогащения	с обогащением технологического сланца до, ккал/кг	
				2800	3500
Годовая добыча разреза, млн. т:					
по горной массе . . . . .	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
по товарному сланцу . . . . .	4,2	3,8	5,9	4,7	4,0
в том числе:					
класса 25—125 мм . . . . .	—	—	—	2,9	2,2
класса 0—25 мм . . . . .	—	—	—	1,8	1,8
Теплота сгорания, ккал/кг:					
$Q_6^c$ . . . . .	2620	2960	2240	2640	2990
$Q_p^H$ . . . . .	2130	2410	1800	2140	2400
в том числе:					
обогащенного класса 25—125 мм:					
$Q_6^c$ . . . . .	—	—	—	2800	3450
$Q_p^H$ . . . . .	—	—	—	2300	2890
отсева класса 0—25 мм:					
$Q_6^c$ . . . . .	—	—	—	2340	2400
$Q_p^H$ . . . . .	—	—	—	1800	1860
Годовая добыча разреза по сланцу в пересчете на условное топливо, млн. т . . . . .	1,28	1,30	1,52	1,44	1,37
Капитальные вложения, Всего млн. руб. . . . .	29,4	26,7	28,0	32,6	32,6
в том числе:					
промстройтельство . . . . .	17,5	16,9	17,9	20,8	20,8
из них:					
основные фонды . . . . .	—	—	—	2,9	2,9
жилищное строительство . . . . .	11,9	9,7	10,1	11,9	11,9
Капитальные вложения на 1 т товарного сланца, руб. . . . .	7,0	7,0	4,8	6,9	8,2
То же, в пересчете на 1 т условного топлива, руб. . . . .	23,0	20,6	18,4	22,7	23,8
Численность трудящихся, чел. . . . .	1025	841	873	1022	1022
в том числе рабочих . . . . .	852	668	700	838	838

Показатели	Частично-селективная выемка	Полная селективная выемка	Валовая выемка		
			без обогащения	с обогащением технологического сланца до, ккал/кг	
				2800	3500
Производительность труда одного рабочего по эксплуатации, в месяц, т:					
по товарному сланцу . . . . .	411	474	702	470	398
в пересчете на условное топливо	125	162	181	143	136
Производственная себестоимость 1 т товарного сланца, руб.-коп.: класса 25—125 мм	1—73	1—64	1—24	1—88	2—43
Себестоимость отсева до 25 мм, руб.-коп. . . .	—	—	—	1—35	1—35
Производственная себестоимость товарного сланца в пересчете на 1 т условного топлива, руб.-коп. . . . .	4—62	3—88	3—86	4—71	4—95

включающая сланцевые слои *E* и *F*, вторым — пачка *D* и третьим — пачка со слоями *A*, *B* и *C*;

второй представляет валовую выемку, при которой весь промышленный пласт мощностью около 3 м разрыхляется взрывными работами. Измельченная горная масса грузится экскаваторами в самосвалы;

третий — это полная селективная выемка сланца, сущность которой заключается в том, что выемка промышленного пласта производится послойно, сверху вниз. При этом сланцевые слои разрыхляются, и измельченная масса грузится в самосвалы, а породные прослойки с помощью конвейера направляются в выработанное пространство.

Технико-экономические показатели этих вариантов открытой добычи сланца представлены в табл. 64, которая свидетельствует о преимуществе вариантов с полной селективной выемкой и валовой выемкой с обогащением.

Поскольку эффективных машин для полной селективной выемки горючего сланца пока не создано, в перспективе добыча сланца намечается частично-селективной и валовой выемкой с механическим обогащением горной массы на обогатительных фабриках. Это позволит обеспечить стабильное качество горючего сланца, что благоприятно отразится на экономике его переработки. Значительно сократятся текущие затраты на 1 т добытого

сланца. По расчетам института «Гипрошахт» себестоимость 1 т сланца крупностью 25—125 мм, обогащенного методом мокрой отсадки до калорийности 3450 ккал/кг (содержание органического вещества 38,8%), составляет 2,43 руб. При выходе сланцевой мелочи в размере 40% и себестоимости ее 1,35 руб. средневзвешенная себестоимость 1 т товарного горючего сланца при открытой добыче составляет 2,09 руб.

В настоящее время на Эстонском месторождении кроме действующих разрезов «Вивиконд», «Сиргала» и «Нарвский» заложен разрез № 3 «Октябрьский». Опыт ведения открытых работ может быть показан на примере разреза «Сиргала» треста Эстонсланец, на котором в 1972 г. было добыто более 5 млн. т сланца.

Разрез «Сиргала» имеет четыре добычных участка; длина линий забоев — 7400 м.

Вскрышные работы в разрезе осуществляются шагающими драглайнами типа ЭШ-15/90. При вскрыше уступ вскрышных пород делится на два подступа высотой, соответствующей мощности скальных пород и наносов. Это обусловлено необходимостью предварительного рыхления скальных пород с помощью взрывных работ. Наносы не требуют рыхления.

Рабочей площадкой является кровля подступа скальных пород. С нее драглайн нижним черпанием удаляет разрыхленный буровзрывным способом известняк, а верхним черпанием снимает наносы. Такая очередность позволяет размещать породы коренные в нижней части отвалов, а четвертичных отложений — в верхней, вследствие чего обеспечивается устойчивость отвалов, создаются более благоприятные условия для рекультивации поверхности. В новых проектируемых разрезах намечается в перспективе применение более мощных экскаваторов типа ЭШ-25/100 и ЭШ-80/100. Среднегодовая производительность экскаватора ЭШ-15/90 — 3 млн. м<sup>3</sup>, ЭШ-25/100 — 4,5 млн. м<sup>3</sup>, ЭШ-80/100 — 15 млн. м<sup>3</sup>.

В последнее время в технологию вскрышных работ внесены изменения, позволившие улучшить показатели работы разреза «Сиргала».

На кровле промышленного пласта в настоящее время остается пачка известняка толщиной от 0,2 до 0,5 м. Удаление ее производится довскрышей экскаватором ЭКГ-4,6 многократной перекидкой в выработанное пространство.

Для того чтобы разместить породы довскрыши и известняковых прослоек, основной отвал пришлось отнести на расстояние 8—10 м от нижней бровки уступа по промышленному пласту. Это дало возможность повысить производительность драглайна ЭШ-15/90 на 6—7% в связи с освобождением его от малопродуктивной работы по зачистке кровли промышленного пласта и добычного экскаватора ЭКГ-4,6, который не загружался до этого на полную мощность. Одновременно были снижены потери горючего сланца при зачистке кровли промышленного пласта. Ширина

заходки сейчас увеличена до 40 м вместо 30 м, предусмотренных проектом.

Перегоняются драглайны по кровле уступа коренных пород. Трасса шагания подготавливается бульдозером ДЭТ-250.

Взрывные работы ведутся огневым способом. Для производства буровых работ станками вращательного бурения типа СВБ-2 бурят во вскрышных породах скважины диаметром 110 мм. Производительность станка — 122 м в смену. Предполагается заменить их более мощными станками СБШ-200. При многорядной сетке расположения скважин объем горной массы, отбиваемой за одновременный взрыв, достигает примерно 11 тыс. м<sup>3</sup>. В обводненных и влажных скважинах используется аммонит № 6 ЖВ в патронах диаметром 90 мм. При взрывании сухих скважин применяется взрывчатое вещество типа гранулита. В последнее время при ведении вскрышных работ применяется короткозамедленное взрывание с применением детонирующего шнура и пиротехнических реле КЗДШ-56. Удельный расход взрывчатых веществ на 1 м<sup>3</sup> разрыхленной породы составляет 0,421 кг. Общая длина пробуриваемых за год скважин достигает 650 км. Стоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши составляла в 1969 г. 18 коп. и в 1972 г. — 16 коп.

Очистные работы по добыче горячего сланца ведутся с оставанием от вскрышных на расстоянии от 200 до 700 м. Нормативным опережением является трехнедельный запас сланца, готового к выемке. Для очистных работ в разрезе «Сиргала» используется экскаватор — механическая лопата типа ЭКГ-4,6.

На каждом участке карьера работают два экскаватора.

С целью селективной выемки сланца промышленный пласт горючих сланцев делится на три подступа:

подступ I — сланцевый мощностью от 1,11 до 1,25 м, включающий сланцевые слои F и E, которые разрыхляются с помощью взрывных работ. Взорванная горная масса экскаваторами грузится в автосамосвалы;

подступ II — породный средней мощностью 0,45 м. Толща породы рыхлится с помощью буровзрывных работ, затем удаляется в выработанное пространство многократным перелопачиванием экскаватором ЭКГ-4,6;

подступ III — сланцевый мощностью от 1,0 до 1,2 м. Выемка сланца ведется так же, как на подступе I.

Бурению шпуров на подступе I предшествует удаление с него пород довскрыши. Расстояние между подступами колеблется в пределах от 70 до 150 м. Выемка горячего сланца на подступах I и III в пределах заходки осуществляется поперечными полосами шириной 10—12 м. Зачистка кровли подступов I и III производится бульдозерами Т-100 или Т-170 и ДЭТ-250, а зачистка подъездных путей к экскаватору — бульдозером ДТ-54. При перевалке пород довскрыши и подступа II работы ведутся продольными полосами.

Метод частично-селективной выемки сланца в разрезе «Сиргала» применяется в настоящее время ввиду отсутствия обогатительной фабрики. С вводом ее в эксплуатацию будет использована валовая выемка.

Частично-селективная выемка будет заменена валовой потому, что первая обуславливает повышенные потери горючего сланца, достигающие 19,8%. В отвал удаляется сланцевый слой *D* и в подошве остается слой *A*, представленный высококалорийным сланцем.

По организации работ метод валовой выемки исключительно прост, но требует дополнительных транспортных затрат и увеличения удельного расхода взрывчатых веществ на 1 т сланца.

Разработка промышленного пласта в разрезе «Сиргала» производится по падению, что обусловлено системой водоотлива дренажными штреками, расположенными перпендикулярно линии забоя и проводимыми ниже сланцевого пласта на 2—3 м. В конце каждого дренажного штрека длиной 1,5 км оборудуется подземная насосная станция.

Дренажные штреки, а также система нагорных и оконтуривающих разрез канав оказались весьма эффективными. Даже во время паводков приток воды в открытые горные выработки оказывается едва заметным. Для осушения выработок врубовой машиной Урал-33, поставленной на бок, прорезаются водоотводные щели. Ежегодно в разрезе «Сиргала» проходится 350—400 м дренажных штреков и 17—19 км различного типа канав. Общая установленная мощность насосов равна 33 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

На каждом участке разреза проложены по три выездные траншеи: по обим концам и в середине. Как центральные, так и выездные дороги участков имеют бетонное покрытие для двухстороннего движения. Общая протяженность автомобильных дорог в разрезе составляет 13,5 км.

Ежегодный объем укладки достигает 10 тыс. м<sup>2</sup>. Стоимость 1 м<sup>2</sup> бетонного покрытия равна 4,5 руб. В разрезе имеется свой бетоно-растворный узел.

В качестве внутреннего транспорта применяются 22 автосамосвала грузоподъемностью 25 и 27 т. Среднесуточная выработка на одну машину в 1971 г. составляла 1200 т и в 1972 г. — 1000 т. В 1971 г. в среднем за сутки машина пробегала 354 км, а в 1972 г. — 305 км. Как свидетельствуют приведенные данные, интенсивность работы технологического транспорта в 1972 г. несколько снизилась по сравнению с 1971 г. Объясняется это главным образом повышением коэффициента использования грузоподъемности. Если в 1971 г. этот показатель был равен 0,86, то в 1972 г. — 0,90. Повысился также и коэффициент технической готовности машин соответственно с 0,82 до 0,84. Немаловажную роль сыграло и пополнение парка новыми машинами. Экономичность перевозок за это время возросла. Если в 1969 г. стоимость 1 ткм составляла 6,4 коп., то в 1972 г. — 1,4 коп. На новых раз-

резах в ближайшее будущее намечается применение автосамосвалов грузоподъемностью 40—65 т.

За годы эксплуатации разреза «Сиргала» достигнуты следующие показатели, приведенные в табл. 65.

Таблица 65

Показатели добычи сланца в разрезе «Сиргала» треста Эстонсланец

Показатели	Год			
	1964	1965	1966	1967
Объем горных работ, млн. м <sup>3</sup> . . . . .	4,79	8,29	7,11	8,80
в том числе:				
добыча горючего сланца . . . . .	1,56	2,32	2,39	2,51
Месячная производительность труда одного рабочего, т . . . . .	283,1	368,4	390,8	397,2
Производственная себестоимость 1 т сланца, руб . . . . .	1,91	1,71	1,71	1,72

Показатели	Год				
	1968	1969	1970	1971	1972
Объем горных работ, млн. м <sup>3</sup> . . . . .	7,20	8,60	10,75	13,26	15,66
в том числе:					
добыча горючего сланца . . . . .	2,65	3,45	4,15	4,45	5,04
Месячная производительность труда одного рабочего, т . . . . .	429,6	513,6	674,8	603,4	646,4
Производственная себестоимость 1 т сланца, руб . . . . .	1,78	1,53	1,46	1,44	1,42

По тресту Эстонсланец в 1972 г. при частично-селективной выемке в разрезах «Вивиконд», «Сиргала» и «Нарвский» добыто 45,8% товарного сланца от общей добычи по тресту.

С вводом в эксплуатацию разрезов «Сиргала» и «Нарвский» с особой остротой встал вопрос о восстановлении и рекультивации поверхности.

В районах выработанного разрезами пространства, заполненного внутренними отвалами, поверхность отвалов при подготовке

ее для земледелия должна быть покрыта достаточно мощным почвенным слоем, создание которого в условиях восточной части Эстонского месторождения практически невозможно. Опыт рекультивации отвалов сланцевых разрезов показывает, что лесные культуры достаточно хорошо развиваются даже на весьма каменистых почвах. В связи с этим основным направлением восстановления обработанных площадей является лесонасаждение. Для предотвращения эрозии рельеф рекультивированных отвалов должен быть слабоволнистым с максимальным уклоном не выше 8—10° С.

За период с 1959 по 1973 г. открытым способом обработано 1800 га, восстановлено и рекультивировано 1429 га, засажено лесом 310 га.

В настоящее время можно считать решенным вопрос о планировке и посадке леса в условиях небольших разрезов, где вскрышные работы выполняются маломощными экскаваторами и разность отметок возвышенностей и впадин не превышает 6 м. Требуется еще окончательного решения вопрос планировки отвалов в условиях крупных разрезов, как, например, «Сиргала» и «Нарвский», где вскрышные работы производятся мощными шагающими драглайнами типа ЭШ-15/90 и ЭШ-20/75, а разность высотных отметок в отвалах превышает 15 м.

В разрезах «Сиргала» и «Нарвский» самой распространенной формой внутренних отвалов являются породные конусы, расположенные параллельно фронту работ и соединяющиеся между собой. Расстояния между вершинами конусов вдоль фронта работ обуславливаются длиной шагания драглайна.

Работы по восстановлению и планировке отвалов в разрезах «Сиргала» и «Нарвский» осложняются тем, что при применяемой раздельной выемке и отсыпке в отвал пород подступов I и III четвертичные отложения в известной мере чередуются с известняками. Это обстоятельство приводит к тому, что четвертичные отложения частично не используются, и при недостаточной мощности их на поверхности отвалов при планировке обнажаются скальные породы. Все это снижает плодородность почвы в таких местах, и они должны быть дополнительно покрыты наносами.

Опыт показывает, что объем планировочных работ зависит не только от ширины заходки и длины шагания драглайна, но и от формы отвалов. Минимальный объем работ по восстановлению и рекультивации поверхности после выемки горючих сланцев открытым способом достигается при веерной системе разработки. Недостатком ее является некоторое сужение области применения бестранспортной системы разработки в связи с изменением расстояния отгрузки пород в отвал.

В условиях разрезов «Сиргала» и «Нарвский» планировка отвалов может производиться шагающими драглайнами ЭШ-10/60 с бульдозером ДЭТ-250. В 1972 г. стоимость планировки на раз-

резе «Сиргала» составила 9,62 коп/м<sup>2</sup>. Стоимость разравнивания конусообразных отвалов при ширине заходки 40 м ориентировочно составит 13,7 коп/м<sup>2</sup>.

Недостатком, обуславливающим значительные потери горючего сланца при открытом способе добычи с применением буровзрывных работ, является то, что из восьми слоев промышленного пласта извлекаются в разрезах только пять. Три слоя безвозвратно теряются. Это связано с тем, что для снятия многометровой толщи мягких и скальных пород необходимо пробуривать шпуры для взрывания и разрыхления известняков. Вместе с ними в отвалысыпаются два верхних слоя сланца *H* и *G*, как непромышленные. При этом теряется в отвалах по полтонны сланца с 1 м<sup>2</sup>. Вместе с тем сланец слоя *G* довольно высококачественный — его теплота сгорания выше, чем теплота сгорания слоя *F*, извлекаемого при добыче.

Нижний слой *A* промышленной пачки разреза по принятой схеме разработки совсем не извлекается. Сланец этого слоя наиболее качественный, и в данном случае в разрезе остается примерно 0,3 т сланца на 1 м<sup>2</sup> выработок.

В ИГД им. А. А. Скочинского с 1969 г. проводятся исследования по разработке сланца на разрезе послойно, селективно, без применения буровзрывных работ.

Новая технология открытой добычи может дать народному хозяйству дополнительные тонны полезного ископаемого, ныне теряемые безвозвратно. Применение способа полного извлечения всех слоев промышленного пласта только на разрезах «Сиргала» и «Вивиконд» позволит ежегодно дополнительно добывать около миллиона тонн сланца, при минимальных капитальных затратах по сравнению с затратами на строительство нового разреза мощностью 1 млн. т сланца в год.

Послойная выемка сланца производится следующим образом. После снятия толщи мягких покрывающих пород обнажается сланцевый пласт. Мощная машина на гусеничном ходу Д-652АС, с навесным рыхлителем, наконечники которого армированы крепчайшей сталью, разрабатывает отдельно прослойки известняка и слои сланца.

Взрыхлив участок, машинист опускает отвал бульдозера, закрепленного впереди машины, и собирает взрыхленную горную массу в длинные полосы-валки, из которых машинисты экскаваторов грузят ее в автосамосвалы.

В 1973 г. на разрезе «Вивиконд» были проведены опытные работы по извлечению сланцевого слоя *A*. Рыхлитель Д-652АС, применяющийся на карьерах комбината «Фосфорит» Ленинградской области, вполне оправдал себя и в сланцевом разрезе.

Новая технология открытой добычи сланца имеет широкие перспективы при разработке сланцевых месторождений.

Дальнейшее развитие открытого способа добычи горючих сланцев обуславливается решением одной из важнейших проблем —

комплексного использования всех полезных ископаемых, залегающих в толще сланцевого месторождения [62].

На Эстонском месторождении горючих сланцев известны проявления таких полезных ископаемых, как торф, дикионемовые сланцы, фосфориты, строительные материалы. В виде мелких месторождений встречаются также доломит, озерный мергель, лебедные грязи.

В перспективе открытым способом предполагается добывать 50—60% горючих сланцев. Это в еще большей мере повышает значение проблемы целесообразного использования полезных ископаемых, которые можно попутно добывать со сланцами в интересах народного хозяйства.

Самое большое практическое значение в попутной добыче на Эстонском месторождении имеет торф, который перекрывает горючие сланцы на полях всех будущих сланцевых разрезов. Болота Пухату расположены на полях разрезов «Сиргала», «Нарвский», «Новый Вивиконд» и занимают 125,8 км<sup>2</sup>, или  $\frac{3}{4}$  площади разрезов. Мощность торфа колеблется в пределах от 0,7 до 6 м (средняя — 2,6 м); средняя теплота сгорания торфа равна 4847 ккал/кг; запасы торфа достигают 353 млн. т.

По данным геологических съемок 50% площади нового разреза «Октябрьский» покрыто торфяными отложениями мощностью 2,5—3 м. Предполагаемые запасы торфа здесь составляют более 15 млн. м<sup>3</sup>. На площади разреза «Ульясте» болота распространяются более чем на 18 км<sup>2</sup>; средняя мощность торфа 3,7 м. В пределах разреза «Кунда» известны торфяные залежи на площади более 7 км<sup>2</sup> и разреза «Раквере» — на площади 17 км<sup>2</sup> мощностью 4—6 м.

Торфяные залежи на полях разрезов «Сиргала», «Нарвский» и «Новый Вивиконд» разрабатываются Орусским торфобрикетным заводом. В ближайшие годы завод будет выпускать 250—260 тыс. т торфобрикета. Попутная добыча торфа при разработке горючих сланцев является весьма экономичной. Под каждым квадратным метром поверхности шахтных полей примерно 3 т горючего сланца и 0,5 т сухого торфа при мощности торфяной залежи 2,6 м. Энергия, которая может быть получена при сжигании горючего сланца с калорийностью 2700 ккал/кг, составит 8,1 Гкал, при сжигании торфа — 2,4 Гкал, что составляет 29,9% получаемой энергии горючего сланца. При более мощных залежах торфа экономическая эффективность может оказаться еще выше.

Большой народнохозяйственный эффект имеет переработка торфа в торфобрикет. Приведенные затраты на 1 т торфобрикета (франко-потребитель) на 15% меньше, чем приведенные затраты на 1 т местного древесного топлива и значительно ниже приведенных затрат на 1 т каменного угля и дальнепривозных дров. При расчетах этих показателей не учтен народнохозяйственный ущерб от энергетического использования дров.

Из строительных материалов практическое значение при попутной добыче горючего сланца имеют известняки, пески и песчано-гравийные материалы. Вскрышные породы промышленного пласта горючих сланцев представлены известняками кукурузеского горизонта мощностью примерно 10 м. Они могут использоваться в качестве буттового камня марок «200», «700», а также в виде щебня для бетона и других строительных работ. Карьеры «Вивиконд», «Сиргала», построив дробильные установки, отгружают потребителям щебень.

Известняки кейлаского горизонта мощностью 12—22 м применяются в качестве бута. Они обладают механической прочностью 300—600 кгс/см<sup>2</sup> и выдерживают 15—25-кратное замораживание. Доломитизированные известняки и доломиты раквереского и кабалаского горизонтов имеют прочность 300—900 кгс/см<sup>2</sup> и могут найти применение как строительный камень.

С расширением масштабов открытой добычи сланца будут ликвидированы многие действующие карьеры известняков. Вместо них необходимо организовать попутную добычу известняков для покрытия нужд цементной промышленности и промышленности строительных материалов. Мелкозернистые пески занимают широкую площадь в центральной и восточной частях полей разрезов «Сиргала», «Нарвский» и достигают мощности до 30 м. По гранулометрическому составу пески пригодны для производства строительных сланцезольных изделий и строительных нужд. На поле разреза «Октябрьский» распространяются эоловые мелкозернистые пески, которые также пригодны для строительных работ.

Крупные запасы песчано-гравийных материалов известны на поле разреза «Новый Вивиконд», в старой эрозионной долине-р. Вассавере, где их мощность достигает 70 м.

Пески и песчано-гравийные материалы приобретают большую практическую ценность, поскольку к северу от выхода горючих сланцев эти материалы уже исчерпаны, а потребность в таких видах строительных материалов увеличивается для строительства промышленных предприятий, жилых зданий и дорожных работ.

На севере Эстонии широко развиты месторождения фосфоритов, находящихся севернее выхода горючих сланцев, которые не изучены в пределах будущих сланцевых разрезов.

## ПРОБЛЕМА БОГАЩЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Высокие темпы добычи горючих сланцев, внедрение новых горных машин и новой технологии выемки полезного ископаемого обусловили заметное снижение теплоты сгорания товарного сланца, добываемого на шахтах и разрезах треста Эстонсланец. В табл. 66 приведены данные, характеризующие динамику теплоты сгорания горючего сланца по шахтам и разрезам треста Эстонсланец.

## Динамика среднегодовой теплоты сгорания сланца, отгружаемого шахтами и разрезами треста Эстонсланец

Шахты и разрезы	Теплота сгорания на сухую массу, ккал/кг					
	Год					
	1955	1960	1965	1970	1971	1972
<b>Шахты</b>						
«Кява-2»:						
класс 25—125 мм . . . . .	3729	3298	3334	3240	3200	3210
класс 0—25 мм . . . . .	3342	3299	3347	3330	3300	3310
среднединамическая . . . . .	3532	3298	3338	3290	3240	3250
№ 2:						
класс 25—125 мм . . . . .	3479	3326	3303	3110	3060	3000
класс 0—25 мм . . . . .	3291	3273	3178	3260	3210	3130
среднединамическая . . . . .	3400	3155	3214	3190	3140	3050
№ 4:						
класс 25—125 мм . . . . .	3537	3496	3398	3170	3190	3150
класс 0—25 мм . . . . .	3331	3339	3330	3220	3160	3040
среднединамическая . . . . .	3456	3419	3331	3170	3170	3080
«Сомпа»:						
класс 25—125 мм . . . . .	3563	3420	3300	3220	3200	3170
класс 0—25 мм . . . . .	3277	3287	3261	3270	3210	3100
среднединамическая . . . . .	3438	3362	3251	3250	3200	3130
«Тамнику»:						
класс 25—125 мм . . . . .	3558	3560	3466	3570	3560	3560
класс 0—25 мм . . . . .	3334	3317	3253	2910	2970	2960
среднединамическая . . . . .	3444	3421	3348	3150	3200	3200
«Ахтме»:						
класс 25—125 мм . . . . .	3551	3601	3565	3570	3580	3550
класс 0—25 мм . . . . .	3301	3287	3001	3000	2980	2920
среднединамическая . . . . .	3447	3449	3204	3210	3190	3150
«Кохтла»:						
класс 25—125 мм . . . . .	—	3156	3451	3430	3440	3470
класс 0—25 мм . . . . .	—	3198	3166	3390	3360	3350
среднединамическая . . . . .	—	3349	3181	2990	2970	3000
<b>Разрезы</b>						
«Вивиконд»:						
класс 25—125 мм с пачкой <i>F</i> . . . . .	3140	3299	2979	2880	2880	2880
класс 0—25 мм . . . . .	3316	3307	3220	3240	—	—
среднединамическая . . . . .	3248	3300	3049	2880	2880	2880
«Сиргала»:						
рядовой частично-селективной выемки . . . . .	—	—	2624	2670	2670	2660
рядовой валовой выемки . . . . .	—	—	2188	—	—	—
среднединамическая . . . . .	—	—	2595	2670	2670	2660
По тресту:						
класс 25—125 мм . . . . .	3582	3448	3383	3370	3440	3470
класс 0—25 мм . . . . .	3327	3304	3216	3280	3270	3260
среднединамическая . . . . .	3293	3392	3162	3040	3000	2950
Теплота сгорания сланца, поступившего на электростанции системы «Эстонэнерго» от треста Эстонсланец . . . . .	3337	3300	2890	2909	2860	2810

Как следует из табл. 66, теплота сгорания сланца класса 25—125 мм за период с 1955 по 1973 г. по тресту Эстонсланец снизилась на 112 ккал/кг, или на 3,1%, а класса 0—25 мм — на 67 ккал/кг, или 2,1%. Средняя калорийность сланца уменьшилась за этот период на 543 ккал/кг, или на 15,5%.

Понижение калорийности сланца объясняется следующими обстоятельствами:

во-первых, низкой калорийностью сланца, добываемого открытым способом. Так, на разрезе «Сиргала», на долю которого приходится более 60% добычи сланца открытым способом, в 1972 г. при валовой выемке был выдан рядовой сланец калорийностью 2660 ккал/кг, что снизило среднюю теплоту сгорания сланца по карьеру с 3070 ккал/кг в 1962 г. до 2660 ккал/кг в 1972 г., или на 410 ккал/кг. На разрезе «Вивиконд» в 1972 г. при выемке сланца с пачкой *F* был выдан и рядовой сланец калорийностью 2880 ккал/кг. В среднем по разрезу калорийность сланца с 1955 по 1973 г. снизилась на 368 ккал/кг;

во-вторых, переход шахт на новую механизированную систему выемки сланца камерами вызывает также ухудшение качества рядового сланца. Так, шахта «Таммику» выдала в 1972 г. сланец со средней калорийностью 3200 ккал/кг, или на 221 ккал/кг меньше, чем в 1960 г., а на шахте «Ахтме» в 1955 г. сланец третьего сорта имел калорийность 3301 ккал/кг, а в 1972 г. — 2920 ккал/кг, или на 381 ккал/кг меньше. В среднем по шахте за период с 1960 по 1972 г. калорийность сланца понизилась на 297 ккал/кг.

Тепловые электростанции и сланцеперерабатывающие предприятия предъявляют к качеству горючего сланца высокие требования.

Теплоэлектростанции Эстонской ССР являются основными потребителями сланца третьего сорта. Выход сланцевой мелочи составляет примерно 40% общей добычи сланца.

Среднегодовая калорийность сланца третьего сорта по тресту Эстонсланец за период с 1955 по 1973 г. уменьшилась незначительно (на 67 ккал/кг). Однако калорийность сланца, поступившего на теплоэлектростанции системы «Эстонэнерго», с 1955 по 1973 г. понизилась заметно — на 527 ккал/кг.

Факторами, снижающими теплоту сгорания добываемого и отгружаемого сланца, следует считать:

- ухудшение качества разрабатываемых пластов;
- снижение калорийности сланца третьего сорта текущей добычи за счет перехода на валовую выемку горной массы;
- увеличение добычи и отгрузки сланца из разрезов;
- уменьшение объема отгрузки сланца с высокой теплотой сгорания из отвалов шахт;

увеличение объема отгрузки сланца третьего сорта на Прибалтийскую ГРЭС с шахт Ленинградского месторождения, калорийность которого на 300—500 ккал/кг ниже по сравнению с калорий-

ностью сланца третьего сорта, добываемого на шахтах Эстонского месторождения.

Потребителями сланца второго сорта являются сланцеперерабатывающие предприятия. Кондиционный сланец для технологических нужд сланцеперерабатывающих комбинатов должен иметь теплоту сгорания 3300—3500 ккал/кг на сухую массу. Как показывают данные табл. 66, калорийность сланца второго сорта, отгруженного трестом Эстонсланец, с 1955 по 1973 г. выдерживалась на нижнем пределе, предусмотренном требованиями технологии.

Для улучшения качества товарного сланца необходимо на всех шахтах и разрезах перейти к механическому обогащению полезного ископаемого.

Различие в плотности горючего сланца и породы создает благоприятные условия для обогащения сланца гравитационным методом, а различие их в крепости — для использования избирательного дробления.

Всесторонние исследования обогатимости горючего сланца с 1946 г. проводятся институтами «Гипрошахт», «Механобр», Ленинградским горным, Таллинским политехническим институтами и Кохтла-Ярвским институтом сланцев. Исследования показывают, что вопрос механического обогащения горючих сланцев технически вполне разрешим и экономически целесообразен.

Еще в 1946 г. институтом «Механобр» наиболее рациональным методом механического обогащения класса 25—125 мм был признан метод мокрой отсадки, дающий более высокие результаты по сравнению с методом ручной отборки породы из обогащаемой горной массы. Влажность концентрата при мокрой отсадке незначительно отличается от естественной влажности исходной обогащаемой массы. В связи с этим не требуется применение специальных способов обезвоживания концентрата.

В 1958 г. институтом «Гипрошахт» был разработан проект опытной обогатительной фабрики на шахте «Ахтме». В 1960 г. первая опытно-промышленная обогатительная фабрика, оборудованная одной отсадочной машиной, была сдана в эксплуатацию. Работа фабрики подтвердила результаты исследований. При обогащении горючего сланца Эстонского месторождения валовой выемки устойчиво получается концентрат с теплотой сгорания на сухую массу 3600—3800 ккал/кг при калорийности отходов 600—800 ккал/кг. Вскоре на шахте «Ахтме» была построена и пущена в ход обогатительная фабрика на полную мощность шахты. Принципиальная схема обогащения горючих сланцев методом мокрой отсадки показана на рис. 25.

Горная масса, выдаваемая наклонным конвейером из шахты, попадает на валковые грохоты с отверстиями 125 мм. Надрешетный продукт подвергается дроблению на валковых дробилках до крупности кусков менее 125 мм.

Класс 0—125 мм и продукт дробления подаются затем совместно в расходные бункеры емкостью 100 т, из которых с по-

мощью качающихся питателей класс 0—125 мм направляется на грохоты ГУК-К, где рассеивается на классы 25—125 и 0—25 мм. Класс 25—125 мм подается на обогащение в прямоточную беспоршневую двухступенчатую отсадочную машину БОМС-10 с площадью отсадки 10 м<sup>2</sup>. После этого концентрат подвергается обезвоживанию и классификации на грохотах ГУК-ОД. Класс 25—125 мм представляет собой товарный продукт, а класс 1—25 мм присаживается к отсеву, который также является товарным продуктом.

Порода из отсадочной машины после обезвоживания в элеваторах вывозится автосамосвалами в отвал. Подрешетные воды шламовых грохотов осветляются в радиальном сгустителе, слив которого становится оборотной водой, вновь поступающей на отсадку, а сгущенный шлам обезвоживается либо в отстойных центрифугах, либо в наружных отстойниках и присаживается к отсеву.

Показатели обогащения горючего сланца методом мокрой отсадки на шахте «Ахтме» приведены в табл. 67.

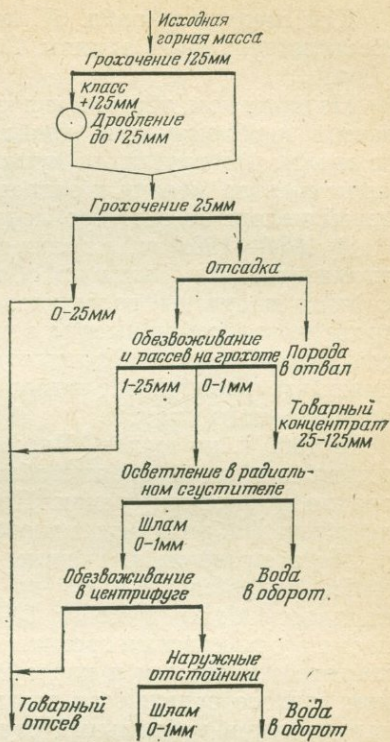


Рис. 25. Принципиальная схема механического обогащения горючего сланца методом мокрой отсадки (по Ю. А. Маковскому)

Таблица 67

Усредненный баланс продуктов обогащения горючего сланца методом мокрой отсадки на обогатительной фабрике шахты «Ахтме» треста Эстонсланец

Сланец	Крупность, мм	Выход, %	Теплота сгорания на сухую массу, ккал/кг
Горная масса . . . . .	0—500	100,0	2180
Продукты обогащения:			
концентрат . . . . .	25—125	21,53	3720
мелочь . . . . .	0—25	37,23	2850
шлам . . . . .	0—1	1,5	2850
Итого товарной продукции . . . . .	0—125	60,26	3160
Порода . . . . .	25—125	39,74	700

Как следует из табл. 67, концентрат класса 25—125 мм вполне соответствует требованиям ГОСТа на технологический горючий сланец.

Недостатком обогащения сланца методом мокрой отсадки является необходимость дробления горной массы, поступающей из шахты, до крупности кусков 125 мм, что обуславливает увеличение выхода мелочи и затрат, а также понижение качества сланцевой мелочи за счет дробления породы.

В 1958—1959 г. институтом «Гипрошахт» проводились полупромышленные опыты по обогащению сланца в тяжелых средах и были получены положительные результаты. Качество концентрата оказалось примерно таким же, как и при обогащении методом мокрой отсадки, а теплота сгорания породы на 80—100 ккал/кг ниже, что увеличивает выход концентрата примерно на 1,5—2,0% обогащаемого класса.

В 1965 г. на шахте «Виру», а в 1966 г. и на шахте «Таммику» вступили в строй первые обогатительные фабрики с обогащением сланца в тяжелых средах. Принципиальная технологическая схема на обеих фабриках одинаковая и представлена на рис. 26.

По наклонным ленточным конвейерам шахтного ствола горная масса подается из шахт на валковые грохоты, где разделяется на классы более и менее 100 мм. Класс 0—100 мм затем поступает на резонансные грохоты типа ГРЛ-62, где разделяется на сухой отсев 0—25 мм и класс 25—100 мм, от которого на резонансном грохоте отделяются шлам 0—1 мм и класс 1—25 мм. Шлам передается в радиальный сгуститель, а класс 1—25 мм присаживается к сухому отсеvu.

Классы более 100 и 25—100 мм после этого раздельно направляются в тяжелосредние сепараторы типа СК-20, где разделяются на концентрат и породу. Концентрат подается на грохоты для сброса суспензии, отмывки магнетита и обезвоживания.

Далее концентрат крупностью более 100 мм подвергается дроблению на валковой дробилке до крупности кусков 125 мм, после чего рассеивается на классы 25—125 и 0—25 мм. Мелочь присаживается к отсеvu.

Порода из обоих сепараторов поступает на грохот ГРЛ-72, где подвергается тем же операциям, что и концентрат, а затем автосамосвалами отвозится в отвал.

Регенерация суспензии производится последовательно на двух магнитных сепараторах: барабанном и ленточном. Хвосты магнитных сепараторов и шламы подвергаются осветлению в радиальном сгустителе, слив которого направляется вновь на дешламацию.

Показатели обогащения сланца в тяжелых средах приведены в табл. 68.

Данные, приведенные в табл. 68, свидетельствуют о том, что концентрат при обогащении сланца в тяжелых средах имеет

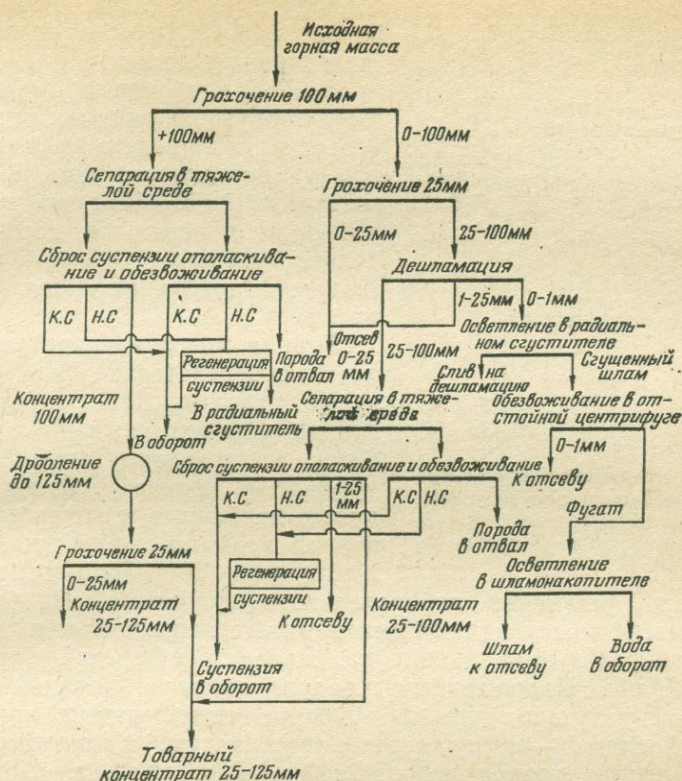


Рис. 26. Принципиальная схема механического обогащения горючего сланца в тяжелых средах (по Ю. А. Маковскому):  
к. с. — конденсационная суспензия; н. с. — неконденсационная суспензия

Таблица 68

Усредненный баланс продуктов обогащения горючего сланца в тяжелых средах на обогатительных фабриках шахт «Вирю» и «Таммику» треста Эстонсланец

Сланец	Крупность, мм	Выход, %	Теплота сгорания на сухую массу, ккал/кг
Исходная горная масса	0—600	100	2190
Продукты обогащения:			
концентрат	25—125	25,8	3450
мелочь	0—25	33,7	2920
шлам	0—1	2,4	2810
Итого товарной продукции	0—125	61,9	3140
Порода	25—600	38,1	640

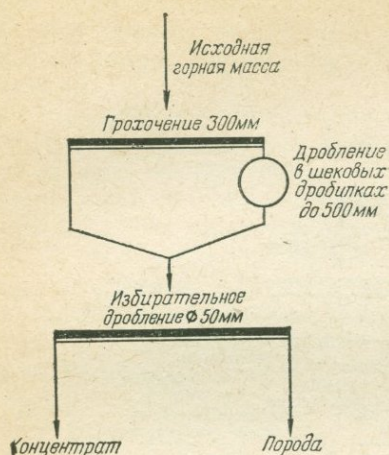


Рис. 27. Принципиальная схема опытной установки для механического обогащения горючего сланца методом избирательного дробления

в бункеры установки избирательного дробления. Из бункеров обогащаемая масса качающимися питателями подается в барабаны избирательного дробления. Диаметр отверстий барабанов равен 50 мм. Надрешетный продукт является породой и вывозится автосамосвалами в отвал, а подрешетный продукт — товарный сланец — отгружается потребителям. Калорийность товарного сланца колеблется от 2600 до 2700 ккал/кг, что вполне удовлетворяет требованиям ГОСТа на энергетический горючий сланец; теплота сгорания отходов находится в пределах 850—1150 ккал/кг.

Недостатком метода избирательного дробления являются довольно большие потери сланца в отходах. Фракционные анализы породного остатка показывают наличие в нем 10—15% горючего сланца.

В связи с расширением камерной системы выемки сланца механическое обогащение осуществляется также на двух шахтах шахтоуправления Ленинградсланец.

На шахте № 3 обогащение горючего сланца производится пневматическим методом. Из шахты горная масса, подлежащая обогащению, поступает первоначально в барабан избирательного дробления с отверстиями размером 100×100 мм, в котором разделяется на два класса: более 85 и 0—85 мм. Первоначально схемой предусматривалось обогащение класса 0—85 мм на пневмосепараторе типа СПБ 100 м. Класс более 85 мм должен был обогащаться в барабане избирательного дробления. Однако в связи с тем, что подрешетный продукт при избирательном дроблении имел низкую теплоту сгорания, было необходимо направить под-

теплоту сгорания, отвечающую требованиям ГОСТа на технологический горючий сланец.

В 1966 г. в разрезе «Сиргала» была сооружена опытная установка обогащения горючего сланца методом избирательного дробления, на которой в 1966—1967 гг. проводились промышленные испытания. Технологическая схема избирательного дробления показана на рис. 27.

Горная масса из карьера поступает непосредственно на колосниковые грохоты с отверстиями 300 мм. Надрешетный продукт дробится на щековых дробилках до крупности кусков 500 мм. Продукты дробления и отсев колосниковых грохотов объединяются и ленточными конвейерами подаются

решетный продукт для дополнительного обогащения на пневмосепаратор совместно с классом 0—85 мм.

Показатели работы установки пневматического обогащения горючего сланца приведены в табл. 69.

Таблица 69

Усредненный баланс продуктов обогащения горючего сланца пневматическим методом на обогатительной установке шахты № 3 шахтоуправления Ленинградсланец

Сланец	Крупность, мм	Выход, %	Теплота сгорания на сухую массу, ккал/кг
Исходная горная масса . . . . .	—	100,0	1640
Продукты обогащения:			
концентрат . . . . .	30—85	25,67	2704
отсев . . . . .	0—30	31,77	2409
Итого товарной продукции	0—85	57,44	2541
Порода из барабана избирательного дробления после выборки из нее сланца . . . . .	—	27,65	351
Порода из пневмосепаратора	—	14,91	549
Итого породы . . . . .		42,56	424

Данные табл. 69 показывают, что процесс обогащения в барабанах избирательного дробления связан с довольно значительными потерями горючего сланца: в отходах избирательного дробления содержится до 15% чистого горючего сланца. Чтобы уменьшить потери, этот сланец необходимо отбирать из породы вручную. Кроме того, концентрат и отсев обладают при этом методе обогащения низкой теплотой сгорания, не отвечающей требованиям ГОСТа на технологический или энергетический сланец.

Сопоставления различных методов механического обогащения горючих сланцев на шахтах треста Эстонсланец и шахтоуправления Ленинградсланец позволяют сделать вывод о том, что технологический сланец класса 25—125 мм кондиционного качества (с теплотой сгорания 3300—3500 ккал/кг на сухую массу) может быть получен только методом мокрой отсадки и в тяжелых средах. Причем при обогащении горючего сланца в тяжелых средах выход товарной продукции на 1,5—2,0% больше, чем при мокрой отсадке. Это обусловлено главным образом более низкой теплотой сгорания отходов обогащения в тяжелых средах.

Капитальные вложения на строительство обогатительных фабрик одной и той же мощности по методу как мокрой отсадки, так и обогащения в тяжелых средах оказываются одинаковыми. В силу этого метод обогащения сланца в тяжелых средах принят на всех строящихся обогатительных фабриках Прибалтийского сланцевого бассейна.

Опыт обогащения сланца механическим путем показывает, что содержание органического вещества в концентрате может быть доведено до весьма высокого уровня. Однако рациональная граница обогащения лежит значительно ниже технически достижимых пределов.

При определении оптимального содержания органического вещества в сланце, поступающем на переработку, показатели добычи, обогащения и переработки сланца должны рассматриваться в комплексе — с точки зрения конечных экономических результатов.

Рациональная степень обогащения зависит от исходной себестоимости и характеристик обогатимости горной массы, развития техники и технологии обогащения, производительности труда рабочих обогатительных фабрик и от типа сланцепотребляющего агрегата. Поэтому экономически целесообразная глубина обогащения сланца, как правило, устанавливается применительно к каждому конкретному случаю.

Издержки обогащения сланца определяются величиной эксплуатационных расходов на обогащение, т. е. затрат на заработную плату, электроэнергию, материалы, воду, амортизацию и др., а также выходом концентрата из обогащаемой массы или размером потерь сланца. Последнее обусловлено тем, что выход концентрата находится в прямой зависимости от потерь органического вещества в отходах обогащения или хвостах. Эта зависимость может быть выражена формулой

$$\gamma = 100 - \frac{100 (q_k - q_m)}{q_k - q_o}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  — выход концентрата из обогащаемой массы, %;  
 $q_k, q_m$  — содержание органического вещества соответственно в концентрате и исходной массе, %;  
 $q_o$  — содержание органического вещества в отходах обогащения, %.

Концентрат, мелочь и шлам являются товарной продукцией. Затраты на добычу исходной горной массы поэтому относятся целиком на указанные продукты. Разность между затратами на добычу, отнесенными на 1 т товарных продуктов, и себестоимостью 1 т исходной горной массы составляет главную часть издержек обогащения. С увеличением отходов эта часть издержек обогащения возрастает. Менее значительной частью издержек являются эксплуатационные расходы на обогащение.

Зависимость повышения себестоимости сланца  $S_c$  от уменьшения количества горной массы и увеличения отходов при обогащении выражается формулой

$$S_c = \frac{100}{\left( \frac{q_k - q_m}{q_k - q_o} \right) - 1}. \quad (5)$$

Рассчитанное по формуле (5) повышение себестоимости сланца вследствие уменьшения количества горной массы за счет удаляемой породы является решающим фактором, определяющим экономичность методов обогащения горючих сланцев.

При исчислении себестоимости 1 т товарного горючего сланца (2,09 руб.), обогащенного методом мокрой отсадки, институт «Гипрошахт» исходил из того, что содержание органического вещества в отходах принималось равным 7,5%. Получение такого результата в промышленных условиях представляется мало вероятным, так как даже микроскопически неразличимая органическая масса в породных прослойках промышленной пачки содержится в пределах 6—10%. По расчету института «Гипрошахт» весьма удовлетворительным следует считать обогащение, при котором содержание органического вещества в хвостах не менее 12%. При обогащении сланца с содержанием органической массы от 24,6% (2200 ккал/кг) до 38,8% (3450 ккал/кг) и содержанием ее в хвостах 12% потери составят, по отношению к обогащенному количеству сланца крупностью 25—125 мм, примерно 53%, выход концентрата — 47% вместо 54,7%.

Себестоимость обогащенного сланца рассчитывается по формуле

$$S_{об} = \frac{\alpha \cdot 100}{\gamma}, \quad (6)$$

где  $S_{об}$  — себестоимость обогащенного сланца, руб/т;

$\alpha$  — себестоимость горной массы с затратами на обогащение, руб/т;

$\gamma$  — выход обогащенного сланца от обогащаемой горной массы, %.

Себестоимость 1 т горной массы вместе с эксплуатационными расходами на механическое обогащение составляет 1,42 руб. При выходе обогащенного сланца в размере 47% себестоимость обогащенного сланца составит

$$S_{об} = \frac{1,42 \cdot 100}{47} = 3,0 \text{ руб/т.}$$

При выходе сланцевой мелочи 40% и себестоимости ее 1,35 руб. за 1 т средняя себестоимость 1 т сланца при открытой добыче будет равна примерно 2,3 руб. вместо 2,09 руб.

#### СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА ПРИ ЕГО ДОБЫЧЕ

За период с 1950 по 1970 г. объем добычи горючего сланца в СССР увеличился в 5,8 раза, а в перспективе значительно возрастет. Вместе с ростом добычи увеличиваются потери полезного ископаемого. В настоящее время при выемке сланца используется

примерно 56—60% балансовых запасов его, а 40—45% составляют потери.

Все потери горючего сланца можно разделить на две группы: эксплуатационные и прочие. На большинстве сланцевых шахт эксплуатационные потери составляют весь комплекс потерь горючего сланца. К первой группе относятся потери по площади, связанные с оставлением разных предохранительных целиков между панельными и вентиляционными штреками, между нарезной лавой и вентиляционным штреком, межлавные, межкамерные и опорные целики в очистных камерах.

При подземном способе добычи основная доля потерь представляет собой потери по мощности. Они обусловлены главным образом особенностями геологической структуры месторождения. При системе отработки спаренными лавами на Эстонском месторождении в кровле выработок оставляется слой  $F$  мощностью 0,6—0,9 м. При камерной системе разработок в кровле оставляется не весь слой  $F$ , а лишь верхняя часть его средней мощностью 0,25 м и теплотой сгорания 800 ккал/кг, т. е. разрабатываются слои  $A-F_2$  мощностью 2,75—2,80 м. При выемке лавами под землей со слоем  $F$  оставляется примерно 29% балансовых запасов (в кондициях 1965 г. 34—36%) и при выемке камерами — около 6%.

Эксплуатационные потери при подземной добыче зависят главным образом от систем и методов разработки, а также от организации горных работ; о чем свидетельствуют данные табл. 70.

Следует отметить, что данные, приведенные в табл. 70, оказываются несколько заниженными в связи с недостаточно полным учетом потерь отбитого сланца. В практике потери принято определять балансовым методом в виде разности между полезной производительностью пласта в пределах разрабатываемых слоев и фактическим съемом горючего сланца с 1 м<sup>2</sup> площади выемки. При этом к фактическому выходу чистого сланца относят добычу за вычетом лишь видимой породы, в результате чего съем чистого сланца завышается на то количество породы, которое содержится в добыче, но не считается видимой породой. Ее составляют мелкие куски породы размером до 25 мм и известняковая часть некоторых сростков. В связи с этим, показатель потерь отбитого сланца занижается.

Как показали опытные работы на шахте «Кивиыли», потери отбитого сланца с поправкой составляли 17,4% к балансовым запасам, тогда как без нее они составляют 13,3%. Снижение потерь отбитого сланца в среднем по тресту Эстонсланец по сравнению с потерями на шахте «Кивиыли» обусловлено расширением применения камерной системы добычи горючего сланца.

При валовой добыче сланца в механизированных камерах потери отбитого сланца ликвидируются. Общий уровень потерь в результате внедрения новых систем разработки снижается. Как показывают данные табл. 70, камерная система разработки с ва-

Потери горючего сланца при добыче, обусловленные системами разработки полезного ископаемого на шахтах треста Эстонсланец, по фактическим данным за 1972 г. (в % к балансовым запасам)

Потери	Системы разработки сланца			
	спаренными лавами	% к итогу	камерно-столбовая	% к итогу
Эксплуатационные . . .	47,7	97,8	33,1	96,9
в том числе:				
по мощности . . .	43,8	90,0	10,3	30,1
из них:				
за счет оставления слоя <i>F</i> в кровле выработок . . .	29,0	59,6	10,3	30,1
отбитого сланца	13,3	27,3	—	—
остальные потери по мощности . . . . .	1,5	3,1	—	—
по площади . . . . .	3,9	7,8	22,8	66,8
Прочие . . . . .	1,0	2,2	1,0	3,1
Всего . . . . .	48,7	100,0	34,1	100,0

ловой выемкой промышленного пласта сланца примерно в 4 раза уменьшает потери по мощности, в сравнении с выемкой спаренными лавами. Однако потери по площади — в целиках между камерами, вдоль участковых блоков, вдоль панельных и сборных штреков — составляют 22,8% балансовых запасов горючего сланца. Общий размер эксплуатационных потерь, включая потери при подземном транспортировании сланца, определяется в 34,1% балансовых запасов.

С освоением камерной системы разработки и выбором оптимальных значений камер и межкамерных целиков размер эксплуатационных потерь может быть в дальнейшем снижен.

Уменьшение потерь горючего сланца при подземной добыче с использованием камерной системы обуславливает снижение себестоимости горючего сланца вследствие полной механизации горных работ.

Задача снижения себестоимости добываемой горной массы зависит от двух факторов: от увеличения добычи за счет снижения потерь полезного ископаемого и применения нового горного оборудования и новой, более совершенной технологии.

Первый фактор требует с ростом добычи увеличения пропускной способности некоторых участков подземных работ, как, например, подземного транспорта, подъема. Второй фактор связан с коренным изменением горных работ.

При добыче горючего сланца камерной системой себестоимость горной массы оказывается примерно на 25—30% ниже существующей себестоимости сланца. Это снижение в большей мере произошло за счет применения новой технологии разработки.

В настоящее время система разработки камер-лавы со столбчатыми целиками применяется на шахтах треста Эстонсланец, а камеры-лавы — на шахтах № 3 и «Ленинградская» шахтоуправления Ленинградсланец. Как свидетельствуют данные табл. 70, при этой системе очистной выемки сланца эксплуатационные потери оказываются меньше, чем при добыче спаренными лавами.

В 1972 г. по тресту Эстонсланец они составили 33,1%. Из них на долю потерь по площади приходилось 66,8% и на долю потерь по мощности — 30,1%.

Выемка сланца системой длинных столбов с отработкой их спаренными лавами осуществляется на шахтах «Кивиыли», № 2, № 4, «Сомпа» треста Эстонсланец и на шахте им. С. М. Кирова шахтоуправления Ленинградсланец. Эксплуатационные потери горючего сланца по шахтам треста Эстонсланец составили в 1972 г. 47,7% общего количества потерь, потери по площади равны 7,8%, потери по мощности — 90%.

Таблица 71

Потери горючего сланца на шахтах и разрезах Эстонского месторождения, по фактическим данным за 1972 г. (в % к балансовым запасам)

Потери	Способ добычи			
	подземный	% к итогу	открытый	% к итогу
Эксплуатационные . . .	34,4	98,6	32,4	99,0
в том числе:				
по мощности . . . . .	26,6	76,2	32,4	99,0
из них:				
за счет оставления сланцевого слоя <i>F</i> в кровле выработок . . . . .	17,2	49,3	—	—
за счет невыемки сланцевого слоя <i>A</i> . . . . .	—	—	8,6	26,2
отбитого сланца . . . . .	8,3	23,8	18,8	57,5
остальные потери по мощности . . . . .	1,1	3,1	5,0	15,3
по площади . . . . .	7,8	22,4	—	—
Прочие . . . . .	0,5	1,4	0,3	1,0
Всего . . . . .	34,9	100,0	32,7	100,0

Следовательно, более широкое распространение камерной системы выемки сланца — это путь значительного сбережения полезного ископаемого для нужд народного хозяйства.

В еще большей мере потери уменьшаются с развитием открытого способа добычи горючего сланца, о чем свидетельствуют данные табл. 71.

При открытом способе ведения горных работ эксплуатационные потери образуются за счет частично-селективной выемки сланца, осуществляемой на карьерах «Сиргала», «Нарвский» и «Вивиконд». Слои  $A$  и  $A_1$  не вынимаются, а слои  $D$  и  $F_2$  отрабатываются в отвал. На контактах добычных и породных уступов образуются потери по мощности, достигающие 13 см. В 1972 г. потери сланца в карьерах треста Эстонсланец составили 32,7%.

Решение проблемы сокращения потерь полезного ископаемого при его добыче может дать большой экономический эффект. С уменьшением потерь повышается эффективность капитальных вложений, увеличивается добыча, улучшается использование балансовых запасов.

Экономическая эффективность сокращения потерь при открытом способе добычи горючего сланца обуславливается уменьшением потерь главным образом отбитого сланца. При использовании отбитого сланца слоев  $D$  и  $F_2$  увеличится выход товарного сланца и снизится себестоимость его, и, наоборот, с увеличением потерь отбитого сланца себестоимость возрастет. Степень этой зависимости выражается формулой

$$S_c = \frac{100\alpha}{100 - \alpha}, \quad (7)$$

где  $S_c$  — повышение себестоимости 1 т горной массы за счет потерь горючего сланца, %;

$\alpha$  — потери горючего сланца от балансовых запасов, %.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

## Глава I

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ  
СЛАНЦЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Сланцеперерабатывающая промышленность имеет большую историю. В первой половине XIX века переработка горючих сланцев началась во Франции, Шотландии, Швеции, Германии, Австрии и в некоторых других странах мира. С первых дней своего зарождения переработка сланца рассматривалась как одно из направлений производства искусственного жидкого топлива, в результате чего развитие ее оказалось в прямой зависимости от развития нефтяной промышленности и конъюнктуры нефтяного рынка.

Впервые производство сланцевой смолы было организовано в 1835 г. во Франции. Горючие сланцы на предприятии Лорена в местечке Аутун подвергались термическому разложению с целью извлечения смолы и получения керосина, свечного парафина и сернокислого аммония. В 1839 г. в Австрии, в Тироле, был пущен в действие «Асфальтовый завод» [30]. В период с 1840 по 1882 г. горючие сланцы использовались на нем главным образом для извлечения асфальтовой мастики, нефти и асфальтовой смолы. В последующие годы тирольские горючие сланцы перерабатывались исключительно для производства сырой смолы, использовавшейся в качестве основы приготовления медикаментов: ихтиола и других лекарств, применявшихся в дерматологии. В 1851 г. в небольшом г. Бадгейте, расположенном на расстоянии 27,4 км к западу от Эдинбурга, зародилась сланцеперерабатывающая промышленность в Шотландии [100]. В 1857 г. началась переработка горючего сланца в США.

В середине прошлого столетия начали заниматься перегонкой горючих сланцев в Германии [86]. В районе Ройтлингена в 1857 г. было пущено в ход предприятие, оснащенное чугунными ретортами. Небольшая установка работала в то время в Билефельде на базе лейасского месторождения. В 1865 г. переработка сланцев началась в Австралии. Объем производства смолы не превышал 30—40 тыс. т в год.

Успех первых сланцеперерабатывающих предприятий в различных странах мира вдохновил множество предпринимателей заняться сланцевым делом. В короткие сроки были построены предприятия с агрегатами для термического разложения горючего сланца. В 1864 г. в Великобритании работало 38 заводов, а в 1865 г. их насчитывалось не менее 120.

Вместе с тем, оказавшись в прямой зависимости от нефтяной промышленности как поставщика искусственного жидкого топлива, сланцеперерабатывающая промышленность очень чутко реагировала на конъюнктуру мирового топливного рынка. Проиллюстрировать это можно следующим примером. Начиная с 1864 г. в Великобритании и другие страны возрос импорт керосина из Америки. При этом импортные нефтяные продукты были дешевыми в сравнении с аналогичными продуктами из сланца, в результате часть сланцеперерабатывающих предприятий оказалась нерентабельной. Последовало закрытие целого ряда действующих заводов. В Германии были законсервированы заводы в Ройтлингене и около Зигбурга. Не смог выдержать конкуренции с нефтяными продуктами и завод в районе Билефельда. В 1871 г. из 120 предприятий Великобритании переработкой горючих сланцев занималось всего 51, а через два года закрылся еще 21 завод. Оставшиеся 30 заводов перерабатывали около 500 тыс. т горючего сланца в год.

В 1883 г. поставщиком жидкого топлива на мировой рынок стала Россия. Приток русского топлива еще в большей мере снизил цены на нефтяные продукты на мировом рынке и подорвал экономику сланцеперерабатывающих заводов.

С целью удешевления сланцевых продуктов и повышения конкурентной способности сланцеперерабатывающих заводов, предприниматели объединялись, создавая крупные компании. К 1894 г. в сланцевой промышленности Великобритании было образовано 13 сланцеперерабатывающих компаний, на предприятиях которых перерабатывалось до 2 млн. т горючего сланца.

С объединением заводов осуществлялось и их техническое перевооружение, увеличивался объем продукции. Так, если в 1879 г. промышленность Великобритании производила в старых ретортах только 4826 т сульфата аммония, то в 1893 г. — 28,4 тыс. т. При этом объем перерабатываемого сланца увеличился всего лишь в 2,5 раза. В 1885 г. новая установка сухой перегонки сланца была сооружена в Германии, в Месселе. Она представляла собой батарею из 24 вертикальных реторт, расположенных в виде кольца.

Перед первой мировой войной рынок нефти сузился, спрос на искусственное жидкое топливо возрос и произошло некоторое оживление переработки сланца.

Первая мировая война явилась серьезным испытанием для сланцеперерабатывающей промышленности. Возросла стоимость рабочей силы, подорожали материалы. Чтобы спасти сланцеперерабатывающие предприятия, правительство Великобритании

поддерживало довольно высокие цены на продукты из сланцев. В послевоенные годы в стране произошла дальнейшая концентрация производства. В 1919 г. пять наиболее сильных компаний Великобритании объединились в одну — «Скотим ойлз лтд».

В послевоенные годы на экономику сланцепереработки Великобритании главное влияние стала оказывать дороговизна горючего сланца. В качестве примера роста себестоимости производства смолы можно привести затраты на добычу 1 т горючего сланца. В 1911 г. 1 т сланца с большим выходом продукции добывалась и доставлялась на установки для перегонки всего лишь за 4 шиллинга. В 1920 г. эта себестоимость возросла до 15 шиллингов, а в последний год существования сланцевой промышленности (1962 г.) большая часть сланцев стоила около 32 шиллингов за 1 т [100].

В 1918 г. начинается организация переработки горючих сланцев в Швеции. Был сдан в эксплуатацию завод с ретортами шотландского типа, а в 1925 г. — завод с печами отечественной конструкции.

Практически полная изоляция Швеции от внешнего мира во второй мировой войне побудила шведское правительство в 1940 г. создать компанию по переработке горючих сланцев с целью производства самого необходимого количества искусственного жидкого топлива. В Квартторпе, в провинции Нерке, быстрыми темпами был построен крупный сланцеперерабатывающий завод [28, 29]. Во время войны он производил около 350 тыс. м<sup>3</sup> смолы и 90 тыс. т серы. Общие капитальные вложения составили 50,7 млн. крон.

После войны возникла необходимость перестройки производственных цехов с учетом результатов новейших исследований и рационализации производства для приведения стоимости продукции на Квартторпском заводе в соответствие с ценами на сырую нефть и товарные нефтепродукты на мировом рынке. Эти мероприятия были осуществлены в период с 1946 по 1952 г. В Квартторпе был построен также завод по переработке газовых углеводородов (метан, этан) в аммиак. На все это потребовалось 38 млн. крон капитальных вложений. К 1952 г. завод в Квартторпе в год выдавал 120 тыс. м<sup>3</sup> смолы, 12 тыс. т жидкого газа, 34 тыс. т очищенной серы, 60 тыс. т жженой извести, 22 тыс. т аммиака. Эксплуатация завода позволила получить значительную валовую прибыль.

Реконструкция завода в Квартторпе продолжалась до конца 1960 г. Однако к этому времени импорт жидкого топлива был организован гораздо лучше и закупки производились по выгодным ценам.

Характерной особенностью сланцеперерабатывающей промышленности Швеции является то, что заводом в Квартторпе не закупалось сырье, а потребности в тепле, паре, электроэнергии обеспечивались самим предприятием.

Решающим фактором экономики сланцепереработки явилась стоимость рабочей силы. С 1960 г. Швеция испытала недостаток

рабочей силы для других более прибыльных отраслей промышленности.

Вначале 40-х годов в Бразилии фирмой «Петробраз» проводились работы по перегонке сланцев с целью изучения возможности производства приблизительно 900 т сланцевой смолы в сутки. В 1950 г. федеральным правительством была создана официальная комиссия по изучению горючих сланцев долины Парайба, а также всех остальных сланцевых месторождений. В начале 50-х годов была сконструирована и построена опытная установка для получения продуктов перегонки сланца в долине Парайба компанией «Фостер Уилер корпорейшн». Однако дополнительные сведения о богатом месторождении горючих сланцев Ирати позволили переместить центр сланцеперерабатывающей промышленности страны в этот район. В Тремембе фирмой «Петробраз» был разработан процесс «Петросикс».

В 1965 г. фирма «Камерон энд Джонс инкорпорейтед» заключила контракт на проектирование ретортного и вспомогательного оборудования для завода мощностью 163 т сланцевой смолы в сутки, который строится в настоящее время недалеко от Сан-Матеус в штате Парана.

В 1944 г. Конгресс США принял акт «Об искусственном жидком топливе», по которому правительству была выделена крупная сумма на проведение в течение 11 лет обширной программы исследовательских работ в области добычи и переработки горючих сланцев. В соответствии с программой были построены опытный завод в Райлфе, штат Колорадо, и исследовательский центр в Лораме, штат Вайоминг. В 1956 г. завод было законсервирован. Однако исследования, субсидируемые частными фирмами, продолжают.

Поскольку перед второй мировой войной нефтяной рынок оказался не в силах удовлетворить возросшие потребности в нефти и продуктах ее переработки, был поставлен вопрос о перегонке горючих сланцев и в некоторых других странах. В Австралии в 1940 г. компания «Нейшнл ойл» с помощью правительства построила в Глен Дэвисе (Новый Южный Уэльс) крупный завод [144], оснащенный 64 ретортами типа «Памферстон».

В 50-е годы на опытном заводе в Болгарии проводились работы по термическому разложению горючих сланцев двух месторождений. Полукоксование осуществлялось в шахтных газогенераторах и туннельных печах [89].

В ЮАР переработка горючего сланца производилась близ Эрмело, в 240 км к западу от Йоганнесбурга. Максимальная пропускная способность завода с 10 ретортами типа «Салермо» и одной вращающейся ретортой Дэвидсона достигала 270 тыс. т сланца в год. Смола перерабатывалась главным образом на дорожный битум и бензин хорошего качества [140].

В КНР почти весь горючий сланец используется главным образом для получения искусственного жидкого топлива [129].

В 1959 г. на сланцеперерабатывающих заводах КНР было получено 800 тыс. т искусственного жидкого топлива, или 25% всего жидкого топлива, добываемого в стране.

Идеи термического разложения горючего сланца получают определенное развитие в Эстонии с 1921 г. [63]. В том году на «Государственном сланцевом предприятии» в Кохтла-Ярве был успешно опробован опытный вертикальный газогенератор фирмы «Пинч» с пропускной способностью 7—9 т сланца в сутки. В том же году на «Государственном сланцевом предприятии» был построен первый сланцеперегонный завод с шестью вертикальными (шахтными) генераторами пропускной способностью в 33—35 т сланца в сутки каждый.

Успешные работы по термическому разложению горючего сланца показали, что помимо использования нефтяных продуктов наиболее простым и экономичным способом получения искусственного жидкого топлива является полукоксование сланца. Каменный и бурый угли содержат в своей горючей массе совершенно незначительное количество летучих веществ и для производства искусственного жидкого топлива требуют очень больших капитальных вложений. Стоимость искусственного жидкого топлива из углей была весьма высокой. В связи с этим интерес к горючим сланцам Эстонского месторождения резко повысился.

В 1927 г. в Кивиыли было начато строительство первой опытной туннельной печи пропускной способностью 75 т сланца в сутки. Она разделялась на три секции. В первой сланец подсушивали, во второй — производили перегонку сланца, а в третьей — тушили полукоксы. В туннеле печи вмещалось 19 вагонеток. Подсушка сланца осуществлялась теплом отходящих дымовых газов, а отопление — топочным маслом.

В 1928 г. шведская фирма построила крупную туннельную печь в Силламяэ с пропускной способностью 280 т сланца в сутки. В отличие от туннельной печи типа «Кивиыли» печь в Силламяэ имела туннель прямоугольного сечения. Внешний обогрев осуществлялся двумя топками. В 1928 г. печь выдала 5271 т сырой сланцевой смолы.

Отрицательно сказался на развитии сланцепереработки в Эстонии мировой кризис 1929—1933 гг. Падение цен вызвало резкое сокращение экспорта продуктов переработки горючих сланцев, что не замедлило сказаться на деятельности сланцевых предприятий. В 1930 г. переработка сланца уменьшилась в сравнении с 1928 г. на 29%, производство сырой смолы — на 15%. Это было вызвано в первую очередь полным прекращением работы сланцеперегонного завода в Силламяэ.

Стремясь снизить издержки производства и повысить конкурентоспособность, в 1930—1931 гг. на комбинате «Кивиыли» были построены еще две туннельные печи с пропускной способностью 250 т сланца в сутки каждая. В результате выход жидких продуктов пе-

регонки сланца увеличился. Производство смолы на предприятиях с вводом двух печей возросло в 6 раз.

В 1931 г. начал работать небольшой завод в Кохтла, оснащенный четырьмя горизонтальными вращающимися ретортами системы Дэвидсона. Горючий сланец в этих ретортах нагревался теплом, полученным от дымовых газов, циркулирующих вокруг реторт. Большим преимуществом вращающихся реторт служило сжигание полукокса непосредственно в топках, расположенных под ретортами. В результате достигалось наиболее полное использование горючей массы сланца. Однако недостатком реторт, обусловившим вначале ограничение их использования, а затем и консервацию, явилась незначительная пропускная способность — 23—24 т сланца в сутки. Все попытки увеличить мощность реторт не увенчались успехом.

В 1936 г. в Кохтла-Ярве построили второй сланцеперегонный завод. На нем работали 8 шахтных генераторов пропускной способностью по 37 т сланца в сутки каждый.

С 1936 г., после перерыва, вызванного экономическим кризисом, возобновил работу сланцеперегонный завод в Силламяэ. В 1938 г. на заводе пускается в ход новая туннельная печь с пропускной способностью 500 т сланца в сутки.

Новый этап в развитии сланцеперерабатывающей промышленности в Эстонии начинается после установления Советской власти. В 1940 г. в сравнении с 1936 г. выпуск сланцевой смолы только на заводе в Силламяэ увеличился в 4,4 раза, а производство автобензина — в 5,1 раза. В 1940 г. был пущен на полную мощность четвертый сланцеперегонный завод в Кохтла-Ярве. Выпуск сырой сланцевой смолы был увеличен в сравнении с 1936 г. в 3 раза.

История зарождения и развития сланцеперерабатывающей промышленности свидетельствует об определенной ее специфике. Широкие возможности экспорта обуславливали расширение масштабов термического разложения горючих сланцев с целью преимущественного получения сырой смолы. В различных странах мира были опробованы агрегаты низкотемпературной перегонки сланца.

Область применения высоких температур для переработки сланцев не привлекала особого внимания. Считалось, что наиболее выгодным являлось не получение газообразных продуктов из сланца, а выпуск различных видов искусственного жидкого топлива.

Впервые проблему высокотемпературной переработки горючих сланцев начали решать в СССР в 1934 г., когда была разработана первоначальная конструкция камерных печей для производства бытового газа. Строительство первого газсланцевого завода для газификации Ленинграда началось в Гдовском районе Ленинградской области, однако во время войны все построенные сооружения были полностью уничтожены. В результате высокотемпературная переработка горючего сланца получила развитие лишь в послевоенное время. В 1948 г. на комбинатах в Кохтла-Ярве и в Сланцах

была начата эксплуатация камерных печей, вследствие чего Ленинград получил бытовой газ.

Камерные печи могли работать только при наличии отопительного газа, поступающего от посторонних газогенерирующих источников. Одним из таких источников стали шахтные генераторы, сконструированные институтом «Ленгипрогаз», с пропускной способностью 100 т сланца в сутки.

Одновременно с газом камерные печи и шахтные генераторы выдают сырую смолу как полупродукт для последующего получения искусственного жидкого топлива. В связи с этим развитие и масштабы производства бытового газа оказались органически связанными с обязательным и одновременным увеличением выработки сырой сланцевой смолы.

В результате длительного пути развития в сланцеперерабатывающей промышленности как в зарубежных странах, так и в СССР были созданы и получили признание три системы низкотемпературного разложения сланца (полукоксование) и одна система высокотемпературной переработки сланца (газификация). Полукоксование горючего сланца осуществляется, во-первых, в туннельных печах, в которых используется комбинированный обогрев; во-вторых, в шахтных генераторах, работающих по принципу внутреннего обогрева; в-третьих, во вращающихся ретортах, принадлежащих к типу агрегатов с внешним обогревом.

Все эти агрегаты были перенесены в сланцеперерабатывающую промышленность из других отраслей. Они до этого зарекомендовали себя как аппараты для полукоксования углей с целью получения трех товарных продуктов: полукокса, газа полукоксования и смолы. Все эти три продукта, получаемые из угля, являются товарными. На основе безостаточного использования перерабатываемого угля и строилась экономика полукоксования его. Высокий экономический эффект термического разложения углей, следовательно, основывается на том, что материал исходного сырья почти полностью переходит в товарные продукты.

Иная картина получается с перенесением этих агрегатов в сланцевую промышленность. Полукокк — остаток сланца при его переработке — в отличие от угольного полукокса не может быть использован в качестве товарного продукта и выбрасывается в отвал (туннельные печи) или дожигается в самих агрегатах, как это имеет место в шахтных генераторах. В результате со сланцевольным остатком теряется от 13 до 30% органического вещества, заключенного в сланце, подлежащем переработке в агрегатах. По массе минеральный остаток сланца составляет 65—70% от массы исходного полезного ископаемого, подвергающегося термическому разложению. Точно так же и малокалорийный газ сланцеперегонных шахтных генераторов не использовался для промышленных целей и выбрасывался в атмосферу, отравляя воздух. В результате с этим газом терялось не менее 20% потенциального тепла переработанного сланца.

Газификация сланца производится в камерных печах. Подобно другим сланцеперерабатывающим агрегатам они оказались недостаточно эффективными.

Если в коксогозовом производстве камерные печи вырабатывали в виде основного продукта металлургический кокс, то в условиях сланцепереработки кокс является отходом, что и обусловило определенное несоответствие этого технологического процесса природе сланцевого сырья, что, в свою очередь, не могло не сказаться в дальнейшем на экономике производства бытового газа.

## Глава II

### ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

В зарубежной практике опробовалось и используется большое число агрегатов термической переработки горючих сланцев. К настоящему времени запатентовано около 3000 агрегатов и процессов для переработки горючих сланцев. Основные зарубежные патенты в этой области освещены в техническом указателе Клоски [143]. Все многообразие агрегатов можно распределить на три группы:

- 1) агрегаты с внешним обогревом;
- 2) агрегаты с внутренним обогревом;
- 3) агрегаты с комбинированным обогревом.

Из современных агрегатов первую группу представляют сланцеперегонные реторты завода в Квартторпе в Швеции. В 1939 г. на этом заводе были построены три агрегата с модернизированными ретортами, сконструированными Свенем и Бергом. Их назвали ретортами Берга—Квартторпа (рис. 28). Новый тип реторт позволил на заводе увеличить производство пара и энергии в 3—4 раза по сравнению с предыдущими периодами.

Реторта Берга—Квартторпа представляет собой вертикальную колонну диаметром 20 см и высотой 3 м. Пять реторт помещены вместе в одну камеру со стенками из огнеупорного кирпича. 14 таких камер соединены в блок и, наконец, 8—12 блоков представляют собой батарею. В трех агрегатах завода насчитывается 3940 реторт.

Принципиальная технологическая схема термического разложения горючего сланца представляет следующее. После дробления и сортировки сланец размером куска 5—23 мм механически подается на верх реторты в загрузочный бункер и проходит через нее нисходящим потоком. Внешний обогрев реторт осуществляется за счет сжигания горючих газов. По вертикали реторта разделена на три зоны. Первую из них представляет верхний отрезок ствола реторты. Здесь сланец прогревается и попадает в среднюю часть в зону пиролиза. В ней температура достигает 500—550°С. Интенсивно

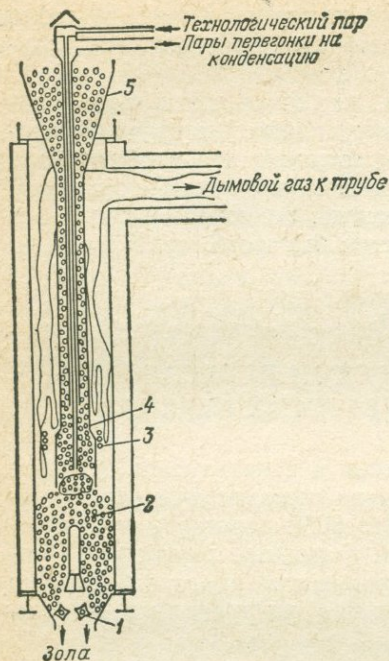


Рис. 28. Вертикальный разрез реторты Берга—Кварнторпа (по К. Ж. Гейроту):

1 — разгрузочный механизм; 2 — сгорание сланцевого кокса; 3 — паровые змеевики Ла Монте; 4 — реторта; 5 — запыльный бункер

образующиеся пары смолы отводятся через отсасывающую трубу, вмонтированную в верхней части каждой реторты. Нижняя часть реторты является газификатором. Горячий полукокс, сходя из зоны пиролиза, сжигается в газификаторе подведением в него предварительно нагретого воздуха.

Газы, образующиеся при сгорании полукокса, поднимаются кверху в камеру и отдают свое тепло частично стенкам реторты, частично паровому котлу — утилизатору. Ввиду сравнительно низких точек плавления сланцевой зоны ( $950^{\circ}\text{C}$ ) температура в зоне сжигания должна тщательно регулироваться, с тем чтобы предотвратить шлакование золы. Достигается это сжиганием полукокса кварнторпским методом, при котором слой полукокса охлаждается рядами кипячительных труб, помещенных в аппарат. Охлаждение достигается также продувкой большого избытка воздуха через слой горячей золы толщиной около 90 см. Зола из газификатора непрерывно удаляется разгрузочным устройством на ленточный конвейер.

Весь процесс переработки сланца является непрерывным. Пропускная способность одной реторты составляет около 1 т сланца в сутки. Суммарная пропускная способность 3920 реторт — 3500 т сланца в сутки. Из 1 т шведских горючих сланцев в реторте получают около 40 л смолы,  $50 \text{ м}^3$  газа и 0,9 т водяного пара ( $28 \text{ кгс/см}^2$ ,  $325^{\circ}\text{C}$ ). Пар подается на заводскую пароэлектростанцию. Три паровые турбины на станции соединены с электрогенератором суммарной мощностью 28 000 кВт. Общее потребление энергии установками термического разложения сланца, включая сюда открытые разработки, реторты, установки очистки и получения побочных продуктов, достигает 13 000 кВт.

К концу 1959 г. на заводе в Кварнторпе была завершена вторая реконструкция реторт (рис. 29). Реконструированные реторты позволили увеличить выход с одного агрегата смолы в 2,4 раза, газа — в 2,9 раза и пара — в 4,5 раза (в пересчете на калории). Выход смолы от лабораторного выхода по Фишеру возрос с 71,2 до 90,5%.

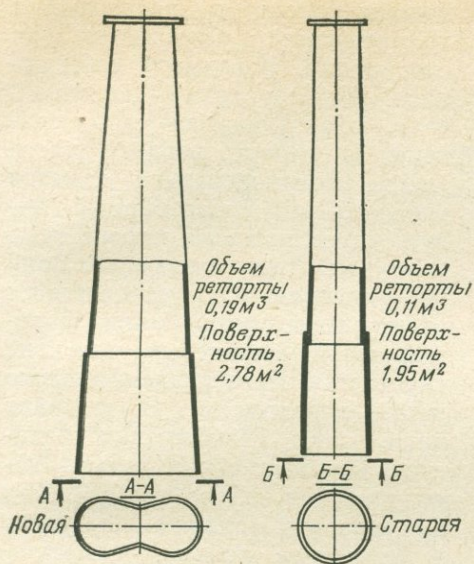


Рис. 29. Дальнейшее развитие реторты Берга—Кварторпа (вторая реконструкция) [28]

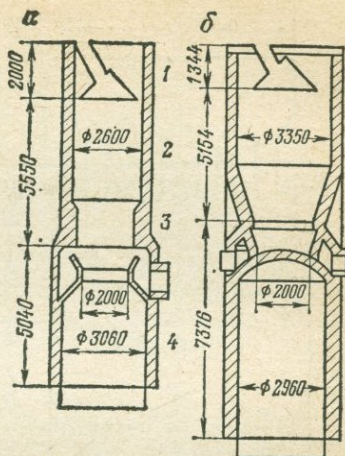


Рис. 30. Схемы фушуньского шахтного генератора (по С. Л. Эпштейну): а — старая, б — новая

1 — зона сушки горячего сланца;  
2 — зона термического разложения;  
3 — пережим; 4 — газификатор

Систему сухой перегонки горячего сланца с внутренним обогревом представляют разнообразные агрегаты типа Пинч. В КНР крупнейшие сланцеперерабатывающие заводы оснащены вертикальными шахтными газогенераторными печами. Их назначение — полукоксование сланца, поэтому основная масса потенциального тепла сланца переходит в смолу.

Газогенераторы группируются в блоки, чаще всего по 20 печей в каждом. Блок имеет самостоятельную систему конденсации и нагрева газообразного теплоносителя. Печи в блоке размещаются в два ряда на открытом воздухе, равно как и вся аппаратура конденсации, за исключением машинного отделения с эксгаустерами, воздуходувками и насосами. В состав цеха входят несколько блоков.

Строительные сооружения, в которых установлены газогенераторные печи, представляют собой железобетонный каркас с бункером сланца наверху, с площадками и лестницами. Вверху, над бункером сланца, находится закрытая галерея для конвейеров, подающих сланец; внизу, ниже уровня земли, расположена галерея конвейеров, удаляющих золу.

Технологическая схема полукоксования горячего сланца в шахтных газогенераторах имеет вид, представленный на (рис. 30, а) [129]. Технологический сланец, гранулометрический состав которого находится в пределах +8, —75 мм, через загрузочное устройство поступает в верхнюю часть печи 1. В ней сланец

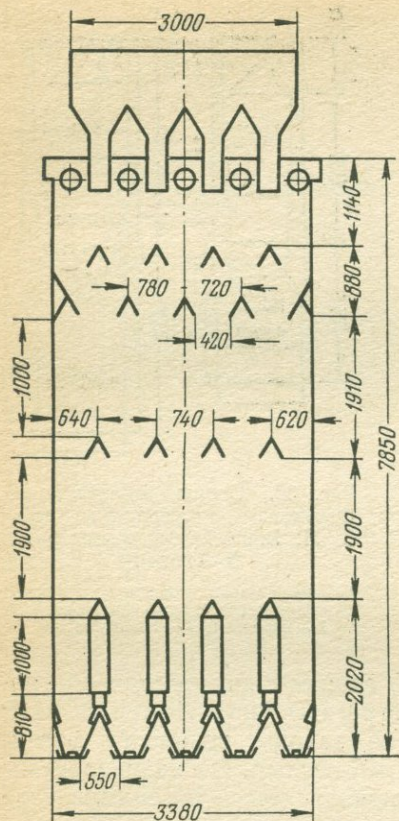


Рис. 31. Схема трехзонного шахтного генератора (по С. Л. Эпштейну)

подсушивается и подвергается термическому разложению за счет тепла, вносимого омывающим потоком газа — теплоносителя, образующегося в генераторе. В центре верхней части шахты полукоксования имеется специальный газозаборный конус, через который парогазовые продукты отводятся из печи. Зона полукоксования 2 размещается сверху зоны газификации. В газификатор сланцевый полукокк спускается через разделительную зону — пережим 3. В нижнюю часть зоны газификации подается паровоздушное дутье. Образующийся генераторный газ по газовым каналам поступает в фурменное кольцо, размещенное в кладке разделительной зоны, где смешивается с нагретым в газонагревателе обратным газом, циркулирующим в системе, и смесь направляется в шахту полукоксования в качестве теплоносителя. Сланцевая зола попадает во вращающийся поддон, заполненный водой, откуда выгребается в течки, ведущие к зольному конвейеру.

В конце 50-х годов на сланце-перерабатывающих заводах — Пе-

кинском и Фушунском — проектными институтами проводились опытные работы с целью поиска наиболее совершенного конструктивного и технологического оформления процессов термического разложения сланца в шахтных газогенераторах. В результате был создан новый вариант газогенераторной печи (рис. 30, б).

#### Техническая характеристика шахтного газогенератора новой конструкции в КНР [129]

Пропускная способность по сланцу, т/сут:	
проектная	200
фактическая	235
Диаметр шахты полукоксования, м	3,35
Рабочий объем шахты полукоксования, м <sup>3</sup>	38,77
Диаметр пережима, м	2,0
Диаметр газификатора, м	2,96
Рабочий объем газификатора, м <sup>3</sup>	48,2
Общая высота печи, м	13,9

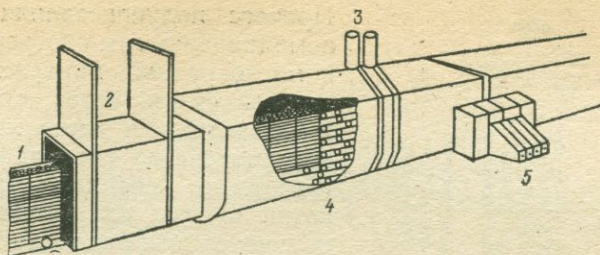


Рис. 32. Схема туннельной печи завода в Кварнторпе [28]:

1 — вагонетка, загруженная горючим сланцем; 2 — паровой шлюз; 3 — дымовые газы; 4 — трубки для горячих дымовых газов; 5 — горелки

На сланцеперерабатывающем заводе в Хуадене в начале 1958 г. были успешно завершены опытные работы по перегонке горючего сланца в трехзонной газогенераторной печи типа «Лурги» с внутренним сжиганием газа. Конструкция печи показана на рис. 31. Суточная пропускная способность печи 50 т сланца; выход смолы составляет 86,8% от лабораторного выхода по Фишеру. Из 1 т горючего сланца было получено 82,45 кг смолы. Экспериментальные данные послужили основанием для проектирования на заводе в Хуадене печи повышенной пропускной способности, параметры которой приведены ниже:

**Техническая характеристика трехзонного газогенератора завода в Хуадене (КНР) [129]**

Пропускная способность по сланцу, т/сут . . .	300—400
Время пребывания в зонах, ч:	
сушки . . . . .	2,5—3
полукоксования . . . . .	6—7
газификации . . . . .	2,5—3

Комбинированную систему обогрева представляют туннельные печи. В 1940 г. две туннельные печи были построены фирмой «Лурги» в Германии около Хейде (Гольштейн). Туннельные печи работали также в Швеции на заводе в Кварнторпе и в Болгарии.

Туннельная печь представляет собой горизонтальный туннель (рис. 32), выложенный из кирпича и снаружи обшитый металлом. Перегревательный канал печи выложен целиком из жаропрочной стали. Печь оборудована горелками.

В туннельных печах сланец перегоняется в специальных вагонетках, которые периодически передвигаются по туннелю с помощью электропривода. В качестве теплоносителя используются обессмоленные газы, нагреваемые в трубчатых нагревателях. Вагонетки со сланцем проходят в туннеле печи три зоны: сушки, перегонки и тушения полукокса. Зона сушки расположена перед зоной полукоксования, а зона охлаждения — в конце туннеля.

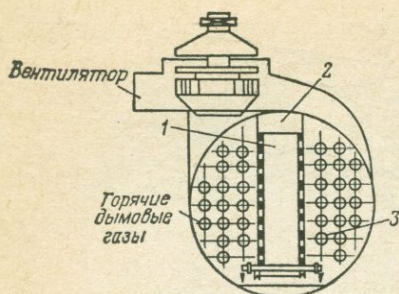


Рис. 33. Сечение туннельной печи завода в Квартторпе [28]:

1 — технологическая вагонетка с горячим сланцем; 2 — туннель печи; 3 — нагреватель

пределах изменять температуру в зонах сушки и термического разложения. Одна из печей на заводе в Квартторпе имеет туннель круглого сечения. Вагонетки этой печи имеют ширину 0,6—0,7 м, а высоту — 2,5 м. Боковые стенки по длине в этих вагонетках решетчатые. Парогазовая смесь при циркуляции через слой сланца проходит в горизонтальном направлении. Калориферные трубы расположены горизонтально и находятся в самом туннеле (рис. 33). В туннельных печах перегоняется кусковой сланец строго выдержанного гранулометрического состава. Печи особенно хороши для сланцев с высоким содержанием органического вещества и с большим выходом смолы. Такие сланцы при нагреве постепенно становятся пластичными. Выход смолы в туннельных печах достигает 95% от лабораторного выхода. Потребляемое количество тепла на каждую печь составляло около 400 ккал/кг сырья.

В послевоенные годы в некоторых странах мира (ФРГ, Швеция, США) проводились экспериментальные работы по подземной перегонке горючих сланцев. В промышленных масштабах метод, разработанный д-ром Ф. Люнгстремом в 1940 г., использовался в Швеции на заводе в Квартторпе, где пласт горючего сланца подвергался электронагреву [28, 38, 121]. Необходимым условием для применения этого метода является наличие газонепроницаемой перекрывающей породы, залегающей над слоем горючих сланцев. Подготовка панели для электронагрева состоит в том, что отводятся грунтовые воды, затем бурятся скважины для нагревательных элементов и отбора парогазовой смеси, направляемой в конденсационную систему (рис. 34). Буровые скважины распределяются по всей площади по шестиугольной сетке на расстоянии 2,2 м друг от друга. Нагревательные скважины размещаются в углах шестиугольников, а скважины отбора парогазовых продуктов из огневого забоя — в центре. Нагревательные элементы изготавливаются из волнистой ленты (из хромистой стали), заключенных в двухдюймовую железную трубу. Для изоляции между лентой нагревательного эле-

Процесс полукоксования сланца с комбинированным обогревом состоит в многократной циркуляции парогазовой смеси через слой сланца в вагонетках и через нагревательные устройства (калориферы), обогреваемые специальными горелками. В зоне охлаждения горячий полукокк охлаждается водой из форсунок над вагонетками.

Конструкция туннельной печи позволяет перегонять сланец в слое, толщина которого может быть различной в зависимости от характера горючего сланца, а также обеспечивает возможности в широких

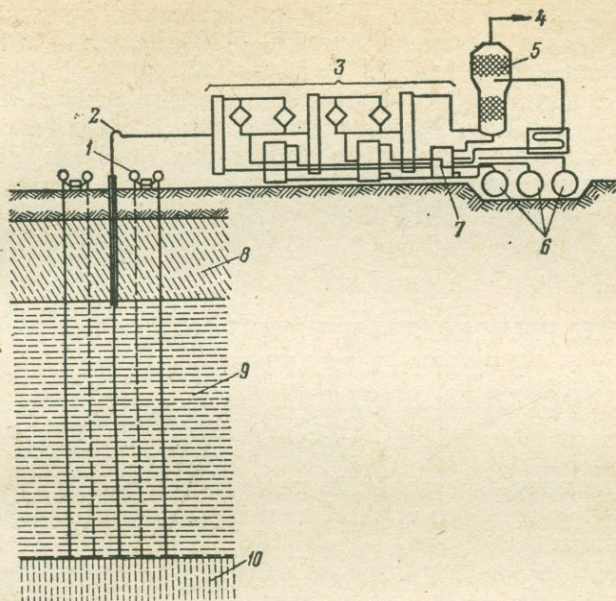


Рис. 34. Схема переработки горючего сланца методом электрического нагрева непосредственно в слое [38]:

1 — электронагреватели; 2 — выход парогазовой смеси; 3 — конденсационная система; 4 — сырой газ к агрегатам побочного продукта; 5 — газоочиститель; 6 — резервуары для сбора легкой, средней и тяжелой фракций сланцевой смолы; 7 — водоотделитель; 8 — известняк; 9 — горючий сланец; 10 — сланцевая глина

мента и стенкой трубы насыпан кварцевый песок. Скважины для отбора парогазовой смеси пробуриваются до подошвы сланцевого пласта, а обсадочные трубы доводятся только до его кровли. Электроток подводится к нагревательным элементам частично от заводской ТЭС, а частично от коммунальной сети энергоснабжения. Высокое напряжение в две ступени понижается до рабочего напряжения нагревательных элементов (152 В). Количество выделяющегося тепла зависит от потребления электроэнергии. Период нагрева длится 4—5 мес. [38]. В первые три месяца происходит предварительный нагрев сланца в пласте до 280° С. В последующий период температура повышается до 380° С. Отгоняющиеся пары и газы поднимаются вверх по отборочным скважинам, поступают в конденсаторы, после чего смола и газ собираются отдельно в резервуарах.

Во время проведения подготовительных работ на одной площади месторождения на другой происходит нагрев сланца в пласте. Таким образом, через сланцевый пласт со скоростью 170 м/год движется мощная тепловая волна шириной 180 м. Одновременно на заводе Кварнторпа работало около 2000 нагревательных элементов. В среднем с 1 м<sup>2</sup> площади месторождения Нерке было

получено: легкого бензина — 370 л, котельного топлива — 570 л, сжиженных газов (пропан и бутан) — 130 кг, газа — 730 м<sup>3</sup> (теплота сгорания — 8500 ккал/м<sup>3</sup>), серы — 280 кг. Из полученной при перегонке сланца подсмольной воды выделяли 8 кг аммиака. Ежегодно методом Люнгстрема вырабатывался сланец с площади 30 000 м<sup>2</sup>, что соответствовало 950 тыс. т. Годовая потребность в электроэнергии составляла 20 тыс. кВт.

### Глава III

## СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В СССР И ИХ СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

В сланцеперерабатывающей промышленности СССР в настоящее время применяются три системы термической переработки горючего сланца:

по первой из них термическое разложение сланца осуществляется в туннельных печах, действующих на сланцехимическом комбинате «Кивиыли» Эстонской ССР;

по второй системе — в шахтных генераторах, работающих на комбинатах «Кивиыли» и им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве Эстонской ССР и на сланцеперерабатывающем комбинате в г. Сланцы Ленинградской области;

по третьей системе — в камерных печах на комбинатах им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве и в г. Сланцы.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Туннельные печи комбинатов «Кивиыли» и им. В. И. Ленина представляют собой сложные агрегаты для термического разложения сланца [125].

Принцип действия туннельных печей основан на постепенном нагреве сланца до температуры 460—475° С парогазовым теплоносителем в вагонетках емкостью около 2 м<sup>3</sup>.

Туннель печей, в котором передвигаются вагонетки со сланцем, разделен на три камеры: сушки сланца, термического разложения его и тушения полукокса.

Рабочая часть туннеля отделена от внешней среды специальным шлюзом. Камера сушки и термической подготовки, в которой сланец подвергается нагреву до температуры 120° С, отделяется от камеры полукоксования вторым шлюзом. В камере полукоксования осуществляется процесс перегонки сланца в интервале температур 120—475° С. Далее полукокс подвергается отдувке перегретым паром и обрабатывается водой.

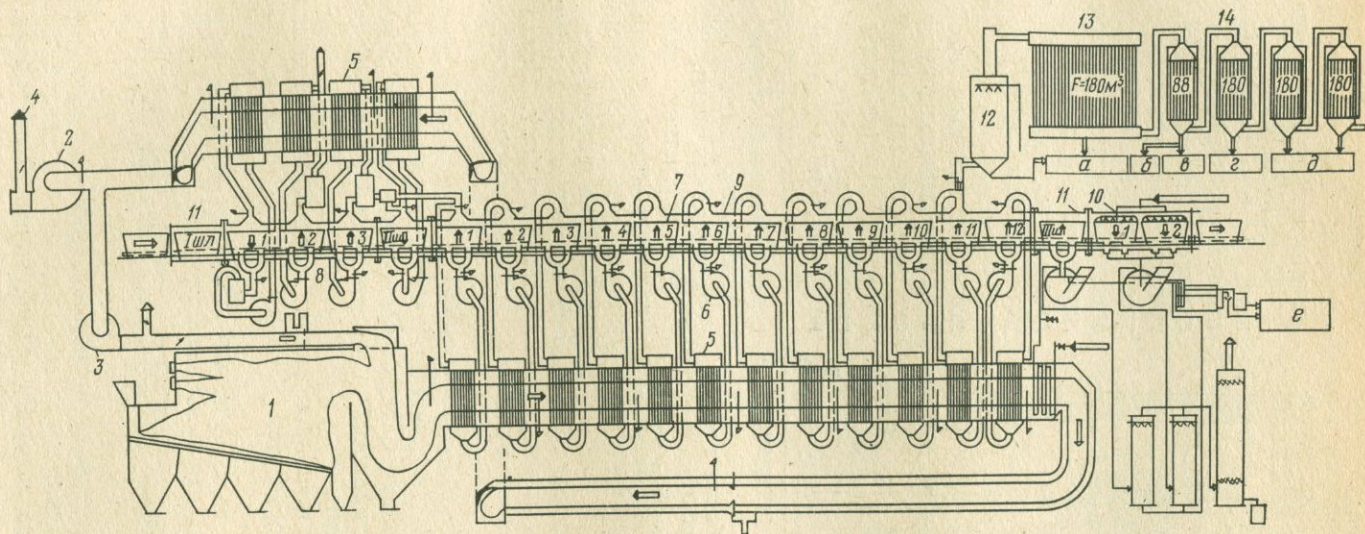


Рис. 35. Технологическая схема современной промышленной туннельной печи «Кивийли».

1 — топка; 2 — дымосос; 3 — рециркуляционный вентилятор; 4 — дымовая труба; 5 — калориферы; 6 — циркуляционные конденсаторы; 7 — вагонетки; 8 — камера сушки; 9 — камера перегонки; 10 — камера тушения полукочка; 11 — шлюзы; 12 — оросительный конденсатор; 13 — воздушные конденсаторы; 14 — водяные конденсаторы; а — тяжелое масло, б — подсмольная вода, в — среднее масло, г — легкое масло, д — печной бензин, е — шлюзовое масло

Технологическая схема туннельной печи комбината «Кивиыли» показана на рис. 35.

Теплоносителем в туннельной печи служат рециркулирующие парогазовые продукты термического разложения сланца; подогрев теплоносителя до требуемой температуры осуществляется в специальных перегревателях (калориферах) за счет тепла продуктов горения из обогревательного канала.

Парогазовая смесь после прохождения сквозь слой сланца в технологических вагонетках несколько охлаждается. Для повышения температуры теплоноситель снова подается с помощью вентиляторов в перегреватели.

На каждом рабочем месте осуществляется, таким образом, замкнутый цикл циркуляции теплоносителя (рис. 36).

Из последней камеры туннеля вагонетка с погашенным полукоксом (с температурой  $100^{\circ}\text{C}$ ) выталкивается на гид-

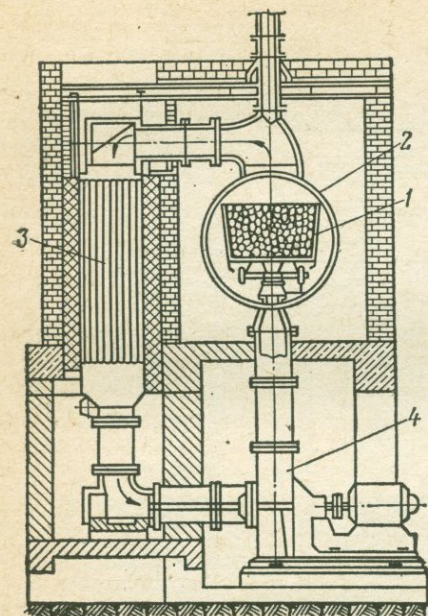


Рис. 36. Поперечное сечение туннельной печи «Кивиыли»:

1 — технологическая вагонетка с горючим сланцем; 2 — туннель печи; 3 — перегреватель; 4 — циркуляционный вентилятор

равлическую платформу. Здесь она закрепляется в раме подвесной цепной дороги и отправляется на разгрузку. После соответствующего осмотра и очистки вагонетка снова начинает свой путь.

Пропускная способность туннельной печи, как и других агрегатов термического разложения сланца, характеризуется количеством перерабатываемого технологического сырья в единицу времени, а производительность — количеством полученной смолы или газа за это же время.

Суточная и годовая пропускная способность туннельной печи определяется по формулам

$$X_c = kn \frac{24}{t}, \quad (8)$$

$$X_r = kn \frac{24}{t} \left( 365 \frac{\eta_{\text{э}}}{100} \right) \quad \text{или} \quad X_c = 365 \frac{\eta_{\text{э}}}{100}, \quad (9)$$

где  $X_c$  и  $X_r$  — пропускная способность соответственно суточная и годовая, т;

$k$  — масса загрузки технологической вагонетки, т;

$n$  — число рабочих мест<sup>1</sup> в туннеле печи;  
 $t$  — время перегонки сланца в печи;  
 $\frac{24}{t}$  — число циклов за сутки;  
 $\eta_9$  — коэффициент использования календарного фонда времени, рассчитываемый по формуле

$$\eta_9 = \frac{t_{\phi}}{t_{\kappa}} 100, \quad (10)$$

где  $t_{\phi}$  — фактически отработанное время за год, ч;  
 $t_{\kappa}$  — календарный фонд рабочего времени, ч.

Емкость технологических вагонеток туннельной печи типа «Кивиули» равна 2—2,1 т. Число рабочих мест — 16. Общее число вагонеток в составе, размещаемом в туннеле печи, — 20. Время перегонки сланца составляет около 2 ч. При этих показателях суточная пропускная способность туннельной печи будет равна примерно 400 т сланца.

$$X_c = 2,1 \cdot 16 \cdot \frac{24}{2} = 400 \text{ т.}$$

Коэффициент использования календарного времени туннельных печей, определенный проектом, равен 0,85. При этом коэффициенте годовая пропускная способность туннельной печи равна 124 тыс. т.

$$X_r = 400 \cdot 365 \cdot 0,85 = 124 \text{ тыс. т.}$$

Годовая производительность туннельной печи определяется по формуле

$$C = r \frac{V}{100} X_c, \text{ т/год.} \quad (11)$$

где  $C$  — годовая выработка суммарной смолы, т;  
 $V$  — технический выход сырой смолы с 1 т переработанного сланца определенной влажности, %;  
 $r$  — число рабочих дней печи в году, которое определяется из выражения

$$r = \frac{\eta_9}{100} 365,$$

где  $\eta_9$  — коэффициент использования календарного фонда рабочего времени, %.

С учетом улавливания газбензина средний технический выход жидких продуктов с 1 т переработанного сланца (содержание органического вещества 32—34%, влажность 9—10%) составляет примерно 20—21%. Если принять этот показатель для расчета,

<sup>1</sup> В практике принято называть рабочим местом элемент печи, включающий технологический вагон, и соответствующую часть общей циркуляционной нагревательной системы.

то годовая производительность туннельной печи по жидким продуктам будет примерно равна 25 тыс. т

$$C = 310 \cdot 0,20 \cdot 400 = 25 \text{ тыс. т.}$$

Вместе с тем следует отметить, что уровень производительности туннельной печи и ее пропускная способность зависят от следующих факторов:

- размера элементов туннельной печи: нагревательной и циркуляционной системы, емкости вагонеток, числа рабочих мест и т. д.;
- состояния перегревателей (степень их засоренности);
- технологического режима (времени перегонки, крупности и влажности сланца);
- организации труда рабочих.

Совокупность всех этих факторов невозможно точно учесть. В силу этого и проектная пропускная способность туннельных печей имеет приблизительный характер.

Суточная пропускная способность туннельных печей комбината «Кивиыли» установлена проектом 350 т технологического сланца. По теоретическим расчетам пропускная способность туннельных печей может быть доведена до 1000 т сланца в сутки [130].

Управление туннельными печами осуществляется централизованно. Гидравлические механизмы зажима шиберов, их подъем и опускание, передвижение печных вагонеток приводятся в действие через переключательные клапаны с центрального пульта управления. Ручной труд во время работы туннельной печи почти не применяется, но много затрачивается его во время остановок печей на чистку, продолжающуюся в среднем 7—9 рабочих смен.

Средние затраты ручного труда на чистку туннельных печей характеризуются крайней неравномерностью по разным сменам. В некоторые смены требуется иногда до 50 человек для выполнения работ, связанных с чисткой отдельных узлов печи. Примерная затрата рабочей силы в человеко-днях на чистку туннельной печи, полученная на основе опытных работ, приводится по данным комбината «Кивиыли» в табл. 72.

Таблица 72

Затраты рабочей силы на чистку туннельной печи по сменам (средние опытные данные) на сланцехимическом комбинате «Кивиыли»

Показатели	Смена							Всего
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
В человеко-днях на одну печь . . . . .	1,0	22,5	50,0	43,8	37,5	18,8	1,3	184,9
В человеко-днях за год . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	3146,5

Как видно, наибольшие затраты труда приходятся на III, IV и V смены. В эти дни печь значительно остывает и работы осуществляются в максимальной степени.

Конденсационная система туннельных печей позволяет собирать фракции смолы раздельно: легкую, среднюю, тяжелую и самую тяжелую. Кроме этих фракций туннельная печь дает и наиболее легкую фракцию смолы, так называемый печной бензин, а при глубоком охлаждении или улавливании поглотительным маслом — газовый бензин.

Несмотря на то, что конденсационная система сложная, ее использование дает возможность в процессе перегонки получить значительный экономический эффект. Это обусловлено тем, что:

во-первых, при фракционной конденсации парогазовой смеси почти отпадает необходимость дистиллировать смолу. На дистилляцию направляются только те фракции, из которых можно извлечь бензин, как, например, легкое масло.

Поскольку количество тяжелых фракций в сырой сланцевой смоле составляет примерно 60% общего выхода конденсата, то экономическая целесообразность и эффективность дробной конденсации становятся очевидными;

во-вторых, из общей смеси различных фракций смолы отделение воды наталкивается на большие трудности, которые не встречаются при отделении воды из отдельных фракций. Если, например, взять смесь фракций тяжелого и среднего масел, то она имеет плотность, очень близкую к единице. Эти фракции поэтому важно получать отдельно и не смешивать.

Туннельные печи комбината им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве были пущены в ход в 1956 г. и после освоения в октябре 1957 г. приняты в промышленную эксплуатацию. Обе печи сконструированы более мощными, чем печи типа «Кивиыли». Их пропускная способность установлена в 450 т сланца в сутки каждая.

Конструкция туннельных печей типа «Кохтла-Ярве» в основном аналогичная печам типа «Кивиыли» (рис. 37). Различия состоят в том, что в печах типа «Кохтла-Ярве» число рабочих мест увеличено до 21, повышена емкость технологической вагонетки с 2 до 2,5 т сланца. Для отопления печей использовался газ, вырабатываемый шахтными генераторами. Изменена также система обогрева печей по принципу противотока отопительных газов. С целью достижения более гибкого регулирования температурного режима в печах типа «Кохтла-Ярве» сооружено пять топок. Конденсационная система построена общей для двух печей и не предусматривает фракционного улавливания смоляных продуктов.

В табл. 73 приводятся сопоставимые технико-экономические показатели работы туннельных печей комбинатов «Кивиыли» и им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве.

Экономичность туннельных печей различных типов определяется сопоставлением цеховой себестоимости 1 т сырой сланцевой смолы. Как видно из табл. 73, затраты на переработку

**Технико-экономические показатели работы туннельных печей  
комбинатов «Кивиыли» и им. В. И. Ленина**

Показатели	Сланцеперерабатывающие комбинаты	
	«Кивиыли»*	Им. В. И. Ленина
Содержание органического вещества в перерабатываемом горючем сланце на сухую массу, %	30,0	35,7
Средняя влажность рабочего сланца, % . . . . .	8,9	8,7
Проектная пропускная способность печи по сланцу, т/сут . . . . .	350	450
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	128,0
Фактическая пропускная способность печи по рабочему сланцу, т/сут . . . . .	372	369,8
То же, по сухому сланцу, т/сут . . . . .	339	338
Фактическая пропускная способность печи, % к «Кивиыли»:		
по сухому сланцу . . . . .	100,0	99,5
по органической массе . . . . .	100,0	119,0
Среднечасовой съём смолы с одной печи, т . . . . .	2,754	3,080
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	111,8
Годовая производительность печи по смоле, тыс. т . . . . .	20,7	22,9
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	110,6
Технический выход сырой смолы с 1 т переработанного сланца, % . . . . .	17,75	20,0
То же, в пересчете на сухой сланец, % . . . . .	19,55	21,9
Выход смолы от органической массы, % . . . . .	65,4	61,3
Коэффициент использования календарного фонда времени, % . . . . .	86,0	85,0
Коэффициент использования проектной годовой мощности печей, % . . . . .	107,6	82,4
Расчетная цеховая себестоимость 1 т сланцевой смолы в сравнимых условиях, руб.-коп/т . . . . .	4,19	4,19
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	100,0
в том числе эксплуатационные затраты (без сырьевой составляющей), руб.-коп/т . . . . .	2,13	1,91
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	89,7
Удельные капитальные вложения на 1 т сланцевой смолы при сопоставимом качестве сланца, руб. . . . .	28,8	30,0
То же, % к «Кивиыли» . . . . .	100,0	105,2

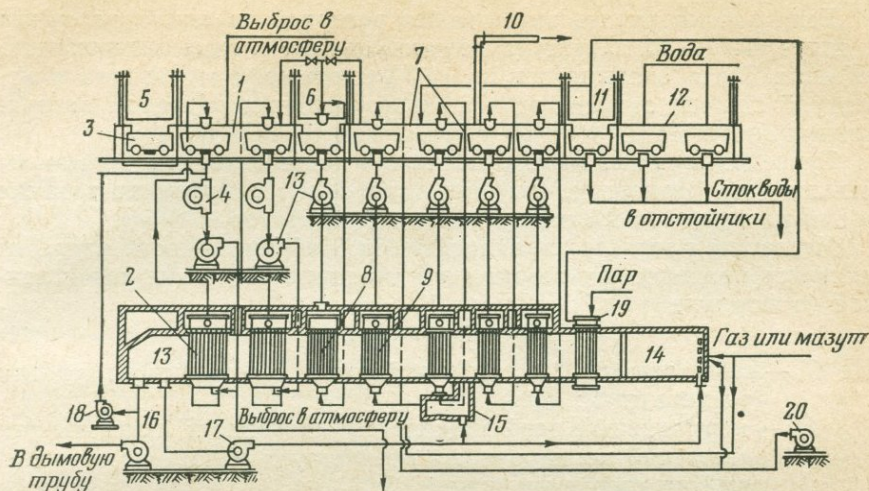


Рис. 37. Технологическая схема туннельной печи «Кохтла-Ярве»:

1 — камера сушки; 2 — перегреватели камеры сушки; 3 — технологические вагонетки с горючим сланцем; 4 — пылеуловитель; 5 — первый шлюз; 6 — второй шлюз; 7 — камера полукоксования; 8 — перегреватель второго шлюза; 9 — перегреватель камеры полукоксования; 10 — газоотводы; 11 — третий шлюз; 12 — камера тушения; 13 — вентиляторы; 14 — главная топка; 15 — дополнительные топки; 16 — дымосос, отводящий дым в атмосферу; 17 — рециркуляционный дымосос; 18 — дымосос; 19 — пароперегреватель; 20 — воздуходувки

при сопоставимых условиях на комбинатах им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве и «Кивиыли» оказываются одинаковыми. Структура себестоимости 1 т смолы приведена в табл. 74.

Таблица 74

Цеховая себестоимость 1 т сырой смолы, полученной в туннельных печах комбинатов «Кивиыли» и им. В. И. Ленина (условно сопоставимый расчет)

Статьи затрат	Сланцеперерабатывающие комбинаты		
	«Кивиыли»*	Им. В. И. Ленина.	
		руб. — коп.	руб. — коп.
Сланец . . . . .	21—72	22—75	105,1
Вспомогательные материалы . . . . .	0—04	0—01	25,0
Топливо . . . . .	3—26	3—11	95,5
Электроэнергия . . . . .	3—38	3—90	115,4
Пар . . . . .	1—72	0—74	43,0
Вода . . . . .	0—16	0—16	100,0
Заработная плата с начислениями . . . . .	4—99	4—32	86,5
Цеховые расходы . . . . .	6—95	6—95	100,0
Итого цеховая себестоимость	41—86	41—94	100,0

Если рассматривать затраты без расходов на сырье, то сумма эксплуатационных затрат на полукоксование сланца в печах типа «Кохтла-Ярве» оказывается на 10,3% меньше. Эта разница в известной степени зависит от величины удельных расходов материальных средств.

Туннельные печи типа «Кивиыли» потребляют на 1 т смолы меньше электроэнергии, чем печи типа «Кохтла-Ярве», но в то же время расходуют в 2,3 раза больше водяного пара.

Итоговым показателем экономической эффективности является минимум приведенных затрат на 1 т сланцевой смолы, вычисленной по формуле<sup>1</sup>

$$C_1 + E_n K_1 = \min, \quad (12)$$

где  $C_1$  — себестоимость 1 т сланцевой смолы по каждому варианту расчета, руб.;

$E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений по народному хозяйству в целом, установленный на уровне не ниже 0,12;

$K_1$  — удельные капитальные вложения на 1 т сланцевой смолы по каждому варианту расчета, руб.

Приведенные затраты на 1 т сланцевой смолы, полученной в туннельных печах комбината «Кивиыли», составляют

$$Z_{тп1} = 4,19 + 0,12 \cdot 28,8 = 7,65 \text{ руб.}$$

и на 1 т сланцевой смолы, полученной в туннельных печах комбината им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве —

$$Z_{тп2} = 4,19 + 0,12 \cdot 30,3 = 7,83 \text{ руб.}$$

Как видно, приведенные затраты на 1 т сланцевой смолы, полученной в туннельных печах комбината «Кивиыли», на 0,18 руб. оказываются меньше.

Годовой экономический эффект по приведенным затратам, при условии переработки горючего сланца с одинаковым содержанием органического вещества, выразится суммой

$$Э_{тп1} = 24\,600 \cdot 0,18 = 4,43 \text{ тыс. руб.}$$

На основании технико-экономического сравнения туннельные печи комбината «Кивиыли» оказываются более эффективными по сравнению с печами комбината им. В. И. Ленина, которые были законсервированы и демонтированы.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ШАХТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

На комбинатах в Кохтла-Ярве и Сланцах были построены генераторы системы «Ленгипрогаз». Кроме того, на комбинате им. В. И. Ленина работают шахтные генераторы мощностью 35—40 т сланца в сутки [17, 40, 66].

<sup>1</sup> Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. — «Экономическая газета», № 39, 1969.

В шахтных генераторах в настоящее время перерабатывается около половины технологического горючего сланца, добываемого в Прибалтийском бассейне. На их долю приходится около 60% вырабатываемой в СССР сланцевой смолы.

Шахтные генераторы применяются также и для переработки высокосернистых горючих сланцев Кашпирского месторождения, осуществляемой в сравнительно небольшом масштабе. В 1969 г. на Кашпирском сланцеперерабатывающем заводе термическому разложению было подвергнуто всего лишь 3% добытого на Кашпирском месторождении горючего сланца. Получаемые жидкие продукты полукоксования горючего сланца перерабатываются главным образом на химические продукты и медицинские препараты.

В шахтных генераторах процесс полукоксования сланца сочетается с догазовыванием полукокса, в результате чего происходит сжигание органического вещества твердого остатка.

Конструкция шахтных генераторов повышенной мощности системы «Ленгипрогаз», работавших с 1951 г. на комбинате им. В. И. Ленина и с 1952 г. на комбинате в г. Сланцы, показана на рис. 38.

Шахтный генератор состоит из трех основных технологических узлов: шахты полукоксования, пережигателя и газификатора. Сланец периодически загружается сверху в шахту полукоксования. При спуске вниз он последовательно подвергается сушке, термической подготовке и полукоксованию за счет тепла встречного потока газового теплоносителя. Последний представляет собой смесь продуктов горения кокса и догазовывания полукокса, с добавкой

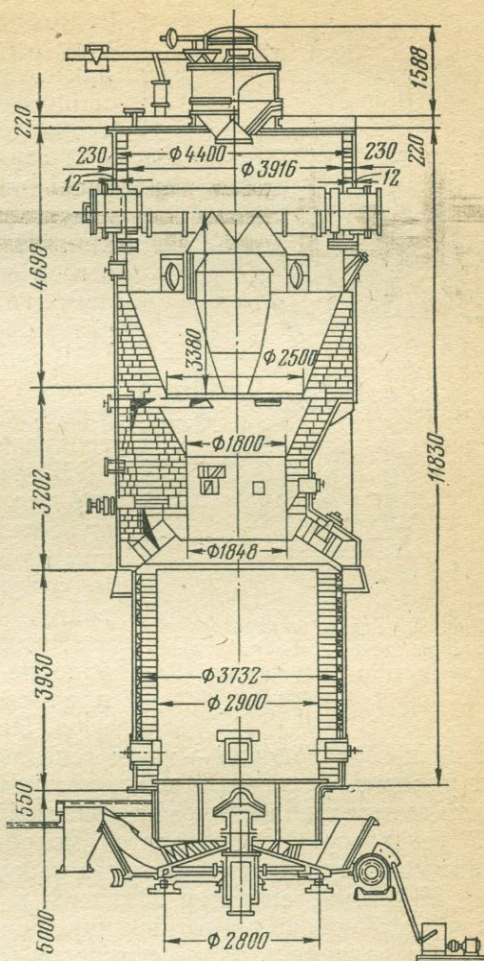


Рис. 38. Схема шахтного генератора системы «Ленгипрогаз»

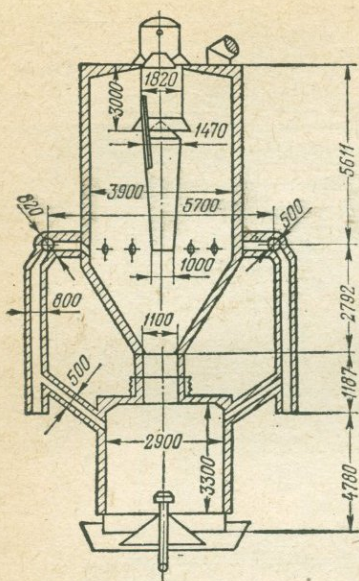


Рис. 39. Схема шахтного генератора системы «Пинч» сланце-химического комбината «Кивиыли»

циркулирующего обратного генераторного газа. Температура теплоносителя при входе в шахту полукоксования около  $640\text{--}650^\circ\text{C}$ , а на выходе из нее около  $150\text{--}190^\circ\text{C}$ .

Пережим — суженная цилиндрическая горловина — служит для разделения зон полукоксования и газификации. Из пережима полукокс сходит в газификатор, в котором осуществляется его дококсовывание при температуре  $750\text{--}850^\circ\text{C}$ .

В нижней части газификатора происходит сжигание органической массы в полукоксе за счет подаваемого паровоздушного дутья.

В крышке шахты перегонки и в ее корпусе, по периферии, расположены шуровочные лючки с герметически закрывающимися дверцами для шуровки и удаления крупных шлакообразований.

Разгрузочное устройство смонтировано на самостоятельном фундаменте и не связано с кожухом газогенератора. Это устройство состоит из вращающегося поддона — чаши генератора. Он служит для приема и удаления сланцевой золы, поступающей из газификатора. Поддон вместе с колосниковой решеткой вращается на кольцевой опоре. В генераторах производится мокрое золоудаление, устраняющее антисанитарные условия труда рабочих.

Шахтный генератор заключен в железный герметический корпус и футерован шамотным кирпичом.

Отвод газов и паров сланцевой смолы из шахты перегонки осуществляется через газослив, сделанный сбоку генератора в его верхней части. Газ, обогащенный парами смолы, направляется из генератора в конденсационную систему.

На комбинате «Кивиыли» с 1953 г. работают шахтные генераторы повышенной мощности типа «Пинч» (рис. 39). По своей конструкции они мало отличаются от шахтных генераторов системы «Ленгипрогаз».

С целью сравнительной оценки шахтных генераторов типа «Пинч» комбината «Кивиыли» и типа «Ленгипрогаз» комбината им. В. И. Ленина произведено сопоставление технико-экономических показателей их работы [64]. Результаты сравнения приведены в табл. 75.

Как видно из табл. 75, пропускная способность и коэффициент использования календарного фонда времени у шахтных генераторов

**Сравнительные технико-экономические показатели работы шахтных генераторов комбинатов им. В. И. Ленина и «Кивийли»**

Показатели	Типы шахтных генераторов	
	„Ленгипрогаз“	„Пинч“
Содержание органического вещества в перерабатываемом горючем сланце на сухую массу, %	37,6	29,9
Средняя влажность рабочего сланца, % . . . . .	10,0	7,8
Проектная пропускная способность по сланцу, т/сут . . . . .	100	100
Фактическая пропускная способность, т/сут:		
по рабочему сланцу . . . . .	92,5	101,5
по сухому сланцу . . . . .	83,2	93,6
Фактическая пропускная способность, % к «Ленгипрогаз»:		
по сухому сланцу . . . . .	100,0	109,9
по органической массе . . . . .	100,0	90,5
Годовая производительность одного генератора по газу с теплотой сгорания 700 ккал/м <sup>3</sup> , тыс. м <sup>3</sup> . . . . .	31 300	15 065
То же, % к «Ленгипрогаз» . . . . .	100,0	48,3
Годовая производительность одного генератора по смоле, тыс. т . . . . .	4,4	4,0
То же, % к «Ленгипрогаз» . . . . .	100,0	91,0
Выход из 1 т переработанного сланца:		
смолы, % . . . . .	14,44	11,26
газа с теплотой сгорания 700 ккал/м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /т . . . . .	1030	428
Выход смолы с 1 т сухого сланца, % . . . . .	16,0	12,28
Выход смолы от органической массы, % . . . . .	42,5	41,0
Коэффициент использования календарного фонда времени, % . . . . .	90,0	95,0
Коэффициент использования годовой производственной мощности генераторов, % . . . . .	85,9	99,5
Содержание органического вещества в золе, % . . . . .	8,0	8,0
Расчетная цеховая себестоимость в сравнимых условиях, руб/т . . . . .	3,50	4,16
То же, % к «Ленгипрогаз» . . . . .	100,0	119,0
в том числе эксплуатационные затраты, руб./т . . . . .	1,45	1,78
То же, % к «Ленгипрогаз» . . . . .	100,0	123,0
Удельные капитальные вложения на 1 т сланцевой смолы при сопоставимом качестве сланца, руб. . . . .	29,2	29,4
То же, % к «Ленгипрогаз» . . . . .	100,0	101,0

ров типа «Ленгипрогаз» значительно ниже, чем у генераторов типа «Пинч».

Интегральный коэффициент нагрузки шахтных генераторов на комбинате «Кивиыли» составляет 83,2%, или на 13,3% ниже, чем на комбинате им. В. И. Ленина.

Более низкая в сравнении с комбинатом «Кивиыли» степень освоения годовой мощности генераторов на комбинате им. В. И. Ленина в большой степени обусловлена тем, что на этом комбинате перерабатывается более богатый сланец. Содержание органического вещества в нем на сухую массу на 7,7% было больше, чем в сланце, перерабатываемом в генераторах комбината «Кивиыли».

Отрицательные стороны переработки богатого сланца в генераторах, с точки зрения их использования, усиливаются с возрастанием мощности агрегата, ибо условия схода сланца и регулирования процесса полукоксования при этом ухудшаются. Поэтому общий коэффициент использования проектной годовой производственной мощности генераторов «Ленгипрогаз» оказался на 13,6% ниже, чем генераторов «Пинч».

Однако оценка эффективности работы шахтных генераторов только по количеству перерабатываемого в них сланца является неполной. Для выработки смолы и газа имеет значение не столько интенсивность переработки сланца вообще, сколько переработка органического вещества, заключенного в нем. Поэтому при оценке агрегатов целесообразно сопоставить показатели их пропускной способности по органической массе. Как свидетельствуют данные табл. 75, этот показатель на комбинате им. В. И. Ленина на 9,5% выше, чем на комбинате «Кивиыли», в связи с чем годовая производительность одного шахтного генератора типа «Ленгипрогаз» по смоле на 9% выше, чем генератора типа «Пинч».

Себестоимость 1 т генераторной смолы приведена в табл. 76.

Как видно, себестоимость 1 т смолы, полученной из генераторов комбината «Кивиыли», оказывается выше, чем из генераторов комбината им. В. И. Ленина.

Если рассматривать затраты производства без расходов на сырье, то сумма эксплуатационных затрат на 1 т генераторной смолы на комбинате «Кивиыли» оказывается на 23% выше, чем на комбинате им. В. И. Ленина. Превышение суммы эксплуатационных затрат на 1 т генераторной смолы на комбинате «Кивиыли» обусловлено более высокими удельными расходами электроэнергии и пара. На 1 т генераторной смолы на комбинате «Кивиыли» расходы электроэнергии на 22% и пара в 2 раза больше, чем на комбинате им. В. И. Ленина. Затраты заработной платы и цеховые расходы оказываются больше соответственно на 48 и 18%.

Из анализа показателей работы шахтных генераторов типа «Ленгипрогаз» комбината им. В. И. Ленина и типа «Пинч» комбината «Кивиыли» следует, что генераторы первого комбината обладают явным преимуществом. Они дают более высокие сьем

Структура цеховой себестоимости 1 т генераторной смолы на комбинатах им. В. И. Ленина и «Кивиыли» (условно сопоставимый расчет)

Статья затрат	Комбинат		
	им. В. И. Ленина	«Кивиыли»	
	руб. — коп.	руб. — коп.	в % к комбинату им. В. И. Ленина
Сланец . . . . .	20—70	21—60	104,3
Топливо . . . . .	—	0—05	—
Электроэнергия . . . . .	2—28	2—79	122,2
Пар . . . . .	3—36	4—78	142,3
Вода технологическая . . . . .	0—37	0—35	94,5
Заработная плата с начислениями . . . . .	3—29	4—91	149,2
Цеховые расходы . . . . .	6—03	7—14	118,4
Итого . . . . .	35—03	41—62	118,7

смолы, выход газа и пропускную способность по органическому веществу за счет использования более богатого сланца. При этом содержание органической массы в золе шахтных генераторов на обоих комбинатах одинаковое.

Цеховая себестоимость 1 т генераторной смолы и удельные капитальные затраты на комбинате им. В. И. Ленина также ниже, чем на комбинате «Кивиыли».

Вместе с тем опыт эксплуатации показал, что генераторы конструкции «Ленгипрогаз» не обеспечивали постоянно растущей потребности комбината им. В. И. Ленина в отопительном газе.

Решение проблемы увеличения производства отопительного газа настоятельно требовало дальнейшего совершенствования генераторов.

Основными причинами, ограничивавшими пропускную способность шахтных генераторов и приводившими к получению невысоких технических показателей их работы, являлась недостаточная обеспеченность процесса воздухом, неравномерность распределения теплоносителя в шахте полукоксования, прогары, перекосы уровня зон, засорение газоходов, подводов холодного газа. Простой генераторов без дутья в период шурования топлива составляли 10—13% рабочего времени. Как следствие, условия труда в генераторных цехах были тяжелыми, а попытки механизировать и автоматизировать процесс практически оказались безуспешными.

В 1957 г. на комбинате им. В. И. Ленина один шахтный генератор был перестроен на центральный ввод теплоносителя.

Реконструированный шахтный генератор представлен на рис. 40.

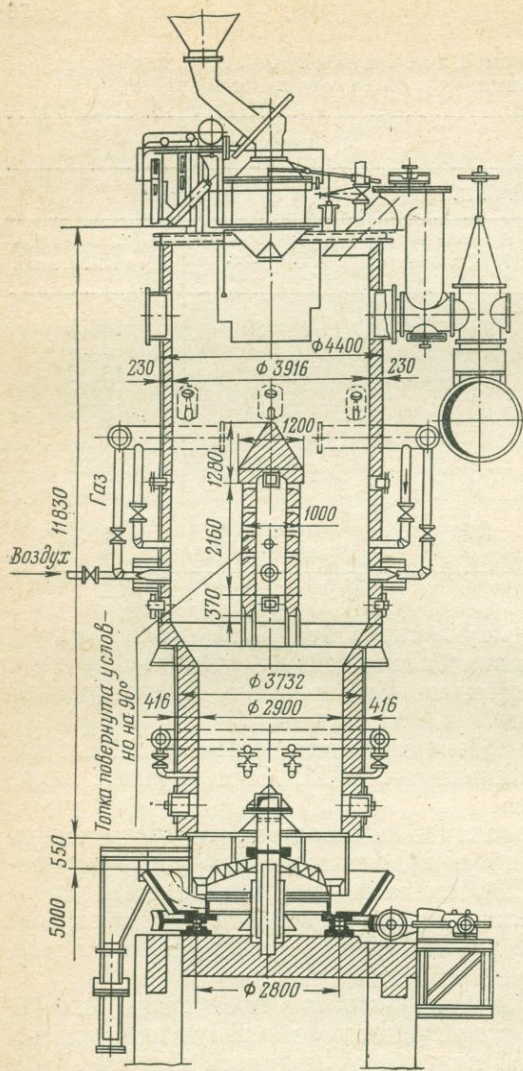


Рис. 40. Схема шахтного генератора с центральным вводом теплоносителя

пустот. Средняя пропускная способность за время работы достигала 109 т сланца в сутки.

После отработки процесса по типу генераторов с центральным вводом теплоносителя были реконструированы генераторы на всех трех комбинатах Прибалтийского сланцевого бассейна. В результате внедрения шахтных генераторов с центральным вводом теплоносителя их пропускная способность по сланцу увеличилась до

Топочное устройство в этом генераторе установлено в его средней части для приготовления и равномерного распределения теплоносителя в зоне полукоксования. Приготовление теплоносителя осуществляется с помощью газовых горелок, к которым подводится генераторный газ и воздух. В верхнюю часть топочного устройства подведен также обратный газ (после системы конденсации) для снижения температуры теплоносителя. Газ-теплоноситель из топочного устройства поступает в шахту полукоксования через четыре ряда дюз, расположенных в стенках топочного устройства.

Шахтный генератор снабжен загрузочной юбкой. Новый генератор имеет прямоугольное сечение шахты полукоксования, обеспечивающее блочную компоновку газогенераторов и увеличение их пропускной способности.

Реконструированный генератор показал хорошие результаты работы. Сход топлива по всей высоте стал нормальным без образования завесий и

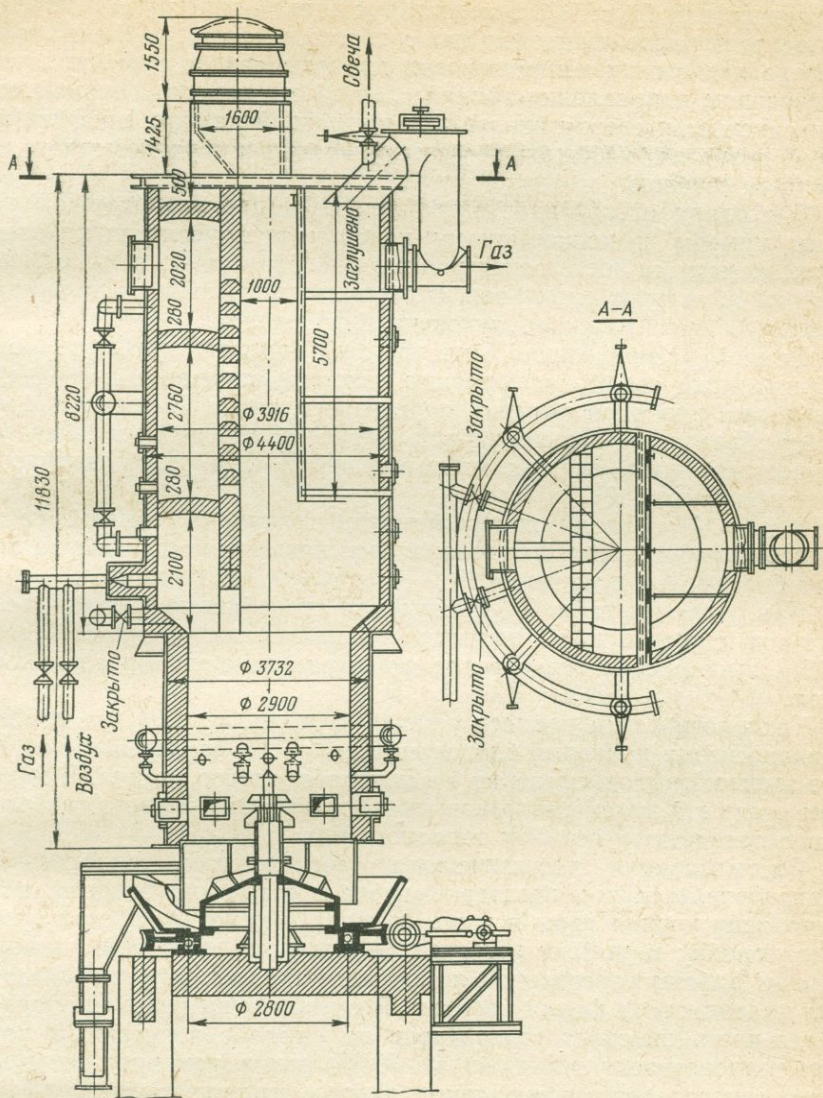


Рис. 41. Схема шахтного генератора с горизонтальным вводом теплоносителя

144 т в сутки. Возросла производительность генераторов по смоле и газу. В генераторных цехах улучшились санитарно-гигиенические условия труда и появилась возможность для полной автоматизации процесса термического разложения сланца.

В 1956 г. на комбинате им. В. И. Ленина проводились опыты на шахтном генераторе новой конструкции — с поперечным вводом

теплоносителя (рис. 41). В генераторе данной конструкции газ-теплоноситель после смешения его с обратным газом в специальной камере подготовки теплоносителя пронизывает в горизонтально-поперечном направлении тонкий слой (1 м) сланца. Горячий сланец спускается сверху вниз в прямоугольной камере, профиль которой позволяет избежать сегрегации сланца и неравномерного его схода по сечению.

Благодаря отсосу парогазовой смеси с противоположной стороны камеры и непрерывному подводу теплоносителя по всему сечению камеры достигается полный прогрев сланца и максимальный отбор летучих продуктов. В газофикатор поступает полностью подготовленный или прополукоксованный сланец.

Камеры распределения теплоносителя горячей стороны и отсоса представляют собой своеобразные циклоны, служащие для отделения пыли, уносимой потоком парогазовой смеси. Благодаря большому объему этих камер скорость парогазовой смеси уменьшается, и уносимая пыль оседает на движущийся вниз слой полукокка в газофикаторе [40].

В табл. 77 приводятся сопоставимые технико-экономические показатели работы шахтных генераторов новых конструкций по данным балансовых испытаний.

Как видно из табл. 77, пропускная способность шахтных генераторов с поперечным потоком теплоносителя оказывается на 23,5% выше, чем у генераторов с центральным вводом теплоносителя.

Технологический процесс у генераторов с поперечным потоком теплоносителя проходит благоприятнее, о чем свидетельствует более высокий выход смолы из 1 т переработанного сланца. В конечном счете это значительно повысило производительность генераторов с поперечным потоком теплоносителя.

Автоматизация регулирования температуры теплоносителя в распределительном простенке, пуска и остановки поддона, регулирования уровня воды в чаше поддона, подачи пара в загрузочную коробку в момент загрузки ее сланцем позволила удлинить период работы генераторов и повысить коэффициент использования календарного фонда времени. В связи с этим годовая производительность шахтных генераторов по смоле с поперечным потоком теплоносителя оказалась на 39,6% выше, чем производительность генераторов с центральным вводом теплоносителя.

Важным преимуществом шахтных генераторов с поперечным потоком теплоносителя является меньшее потребление пара, что благотворно отразилось на величине текущих затрат, приходящейся на 1 т смолы.

Данные табл. 78 показывают, что цеховая себестоимость 1 т смолы, условно рассчитанная для сопоставимых целей, у шахтных генераторов с поперечным потоком теплоносителя на 15,5% ниже, чем у шахтных генераторов с центральным вводом теплоносителя.

**Технико-экономические показатели работы шахтных генераторов  
с центральным и поперечным вводом теплоносителя комбината  
им. В. И. Ленина**

Показатели	Шахтные генераторы с вводом теплоносителя	
	центральным	поперечным
Содержание органического вещества в перерабатываемом горючем сланце на сухую массу, %	36,8	36,6
Средняя влажность рабочего сланца, %	9,1	8,7
Пропускная способность генератора по рабочему сланцу, т/сут	144,0	177,0
То же, по сухому сланцу, т/сут	130,9	161,6
Пропускная способность, % к генератору с центральным вводом теплоносителя:		
по сухому сланцу	100,0	123,5
по органической массе	100,0	123,0
Годовой съем смолы с одного генератора, тыс. т	6,8	9,5
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	100,0	139,6
Годовое производство смолы на одного трудящегося, обслуживающего генераторы в цехе, т	680	1150
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	100,0	169,0
Годовая производительность по газу с фактической теплотой сгорания, тыс. м <sup>3</sup>	25 014	32 854
То же, в пересчете на теплоту сгорания 700 ккал/м <sup>3</sup>	33 894	42 415
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	100,0	125,0
Технический выход из 1 т переработанного сланца:		
смолы, %	15,24	15,90
газа, м <sup>3</sup>	562	548
Выход смолы с 1 т сухого сланца, %	16,75	17,45
Выход смолы от органической массы, %	45,6	47,7
Коэффициент использования календарного фонда времени, %	84,7	92,8
Содержание органического вещества в золе, %	5,85	2,17
Условно сопоставимая цеховая себестоимость 1 т сланцевой смолы, руб.	30,86	26,16
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	8,33	7,98
в том числе эксплуатационные затраты, руб/т	100,0	85,2
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	100,0	95,7
Удельные капитальные вложения на 1 т переработанного сланца, руб.	27,6	26,4
То же, % к генератору с центральным вводом теплоносителя	100,0	96,0

Структура цеховой себестоимости 1 т генераторной смолы на комбинате им. В. И. Ленина (условно сопоставимый расчет)

Статья затрат	Шахтные генераторы с вводом теплоносителя		
	центральным	поперечным	в % к генераторам с центральным вводом теплоносителя
	руб. — коп.	руб. — коп.	
Сланец за вычетом отходов (газ генераторный $Q = 700$ ккал/м <sup>3</sup> ) . . . . .	22—53	18—18	81,1
Электроэнергия . . . . .	1—44	1—44	100,0
Пар . . . . .	1—83	1—48	81,2
Вода . . . . .	0—31	0—31	100,0
Заработная плата с начислениями . . . . .	1—23	1—23	100,0
Амортизация . . . . .	1—88	1—88	100,0
Цеховые расходы . . . . .	1—64	1—64	100,0
Цеховая себестоимость . . . . .	30—86	26—16	85,2

Как видно из табл. 78, при переработке сланца практически с одинаковым содержанием органического вещества затраты на сырье в себестоимости смолы, полученной в генераторах с поперечным потоком теплоносителя, оказываются на 19% меньше. Это в конечном счете имело важное значение при обеспечении экономичности новой конструкции шахтных генераторов как по удельным капитальным вложениям, так и по текущим затратам на 1 т смолы.

В 1963—1966 гг. на комбинате им. В. И. Ленина все шахтные генераторы повышенной мощности были реконструированы на поперечный поток теплоносителя.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГАЗИФИКАЦИИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В КАМЕРНЫХ ПЕЧАХ

На сланцеперерабатывающих комбинатах им. В. И. Ленина и в г. Сланцы переработка сланца осуществляется в камерных печах [93].

Схема камерной печи представлена на рис. 42.

Камеры, в которых происходит газификация сланца, покоятся на железобетонном основании и выкладываются из динасового огнеупорного кирпича. 23 камеры соединяются в батареи, а последние — в блоки; при каждом блоке имеется самостоятельная система конденсации. Параметры камеры следующие: длина 4 м; ширина загрузочного проема 0,352 м, низа — 0,514 м; высота — около 10 м.



ный короб, находящийся непосредственно над камерой и вмещающий 4 м<sup>3</sup> сланца.

Загрузка печей осуществляется периодически, однако в камеру сланец поступает непрерывно. Постоянное движение сланца в камере сверху вниз осуществляется за счет непрерывного удаления снизу камеры сланцевого кокса с помощью разгрузочного устройства — экстрактора.

Сланец, проходя по камере, нагревается теплом ее стенок и подвергается термическому разложению с последующим пиролизом первичных продуктов.

По характеру протекающих процессов сланец последовательно проходит следующие, условно принимаемые, зоны камеры: коксования, пиролиза и охлаждения.

В верхней зоне сланец сначала подсушивается, а затем нагревается до выделения смоляных паров. Выделение парогазовой смеси из сланца происходит очень бурно, поэтому на концах камер устроены отводные каналы.

В зону пиролиза сланец поступает при температуре около 900—850° С. Парогазовая смесь, выделившаяся в результате разложения сланца, проходя через раскаленный кокс, подвергается крекингу и пиролизу. В результате количество смолы резко уменьшается, а количество газа увеличивается.

В нижней части зоны крекинга и пиролиза имеются специальные окна. Через них газ поступает в сборный газовый канал, соединенный с газопроводом — барельетом.

Из зоны крекинга и пиролиза остаток сланца — кокс с температурой 750° С поступает в самую нижнюю часть камеры. Здесь происходит догазовка кокса с помощью подачи воздуха через штуцера экстракторов. В нижней зоне температура кокса понижается до 300° С.

Из зоны охлаждения кокс ссыпается в экстрактор, а затем — в два бункера, расположенные внизу под камерами. Из них кокс разгружается в специальный электровагон и отвозится к приемному бункеру, устроенному над галереей, соединяющей все блоки камерных печей, а затем по горизонтальному ленточному конвейеру направляется в бункер подвесной канатной дороги и выдается на отвал.

Обогрев камер газификации осуществляется через обогревательные простенки, в которых расположено девять вертикальных огневых отопительных каналов — вертикалов. Вертикалы вверху имеют окно, выходящее в верхний сборный канал, а внизу — два косых хода. С их помощью они соединяются с подовыми каналами печи и с регенераторами. В подовые каналы введены патрубки клапанов вольверов, с помощью которых регенераторы, а следовательно, и вся отопительная система печи соединяются с внешними коммуникациями. Поверхность нагрева каждой камеры 40 м<sup>2</sup>, толщина обогреваемой стенки 90 мм. Обогрев печей регенеративный, газоздушные клапаны переключаются автоматически через каж-

дые 30 мин. В вертикалах сжигается газ, вырабатываемый в шахтных генераторах.

Как показывает опыт, выход и состав продуктов, выдаваемых камерными печами, существенно изменяются в зависимости от температуры переработки горючего сланца. В свою очередь, температура нагрева горючего сланца обуславливается температурой обогрева камер и количеством сланца, загружаемого в них. При постоянстве температуры обогрева температура внутри камеры зависит исключительно от количества загружаемого горючего сланца. С повышением температуры в камере возрастает выход газа и уменьшается выход жидких продуктов — смолы и газбензина.

Примерная зависимость выхода продуктов переработки горючего сланца от величины загрузки камер при неизменной температуре обогрева 1300°С характеризуется данными табл. 79 [93].

Таблица 79

Зависимость выхода продуктов переработки горючего сланца от величины загрузки камер при постоянной температуре обогрева 1300°С

Показатели	Вариант режима работы камерных печей				
	I	II	III	IV	V
Количество загружаемого в камеру горючего сланца, т/сут . . . . .	19	17	15	13	11
Температура в камере, °С . . . . .	700	750	800	850	900
Выход с 1 т переработанного горючего сланца:					
газа, м <sup>3</sup> . . . . .	300	350	400	450	500
смолы, % . . . . .	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
газбензина, % . . . . .	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Камерные печи имеют существенные недостатки, к числу которых относятся: во-первых, небольшая производительность отдельной камеры, составляющая 15—19 т/сут, что связано с необходимостью строительства громадных батарей и блоков камерных печей и больших капитальных вложений; во-вторых, камерные печи требуют строительства шахтных генераторов для выработки газа, необходимого для их обогрева, а это также ведет к увеличению капитальных вложений при строительстве газосланцевого завода.

#### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Для технико-экономического сопоставления были приняты данные о работе туннельных печей типа «Кививыли», шахтных генераторов с поперечным потоком теплоносителя и камерных печей.

Технические показатели работы камерных печей для сопоставления приняты по относительно низкотемпературному режиму (см. табл. 79, вариант II). Это обусловлено тем, что при низкотемпературном режиме повышается выход смолы и газбензина — ценного сырья для развивающейся сланцехимии. Вместе с тем с понижением температуры в камере уменьшается содержание в газбензине ароматических углеводородов и в том числе бензола.

Основные данные, характеризующие промышленные агрегаты термического разложения сланца, приведены в табл. 80.

Таблица 80

Технические показатели работы промышленных агрегатов термического разложения горючего сланца

Показатели	Тип агрегатов		
	туннельная печь	шахтный генератор	камерная печь
Содержание органического вещества в перерабатываемом горючем сланце на сухую массу, % . . . . .	35,7	35,7	35,7
Средняя влажность рабочего сланца, % . . . . .	8,7	8,7	8,7
Пропускная способность одного агрегата, т/сут . . . . .	372,0	177,0	17,0
Технический выход с 1 т переработанного сланца:			
смолы, % . . . . .	21,1	15,9	5,0
газбензина, % . . . . .	1,1	—	2,5
газа фактической теплоты сгорания, м <sup>3</sup> . . . . .	34	548	350
Выход с 1 т сухого сланца:			
смолы, % . . . . .	23,1	17,4	5,5
газбензина, % . . . . .	1,2	—	2,7
газа фактической теплоты сгорания, м <sup>3</sup> . . . . .	37	600	374
Коэффициент использования календарного фонда времени, % . . . . .	86,0	92,8	96,7
Удельный расход на 1 т переработанного сланца:			
электроэнергия, кВт·ч . . . . .	56,8	17,4	2,95
пар, Гкал . . . . .	0,31	0,118	0,07
вода, м <sup>3</sup> . . . . .	3,7	0,9	1,03
газ на отопление с теплотой сгорания 1000 ккал/м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup>	156	—	498

При сопоставлении для всех агрегатов качество сланца условно принимается одинаковым. В соответствии с этим выход смолы скорректирован пропорционально изменению содержания органиче-

ского вещества в технологическом сланце. Выход газа с 1 т полезного ископаемого при этом оставлен неизменным.

Удельные расходы электроэнергии, пара, воды и топлива приняты для всех вариантов режима работы агрегатов одинаковыми по данным комбинатов.

Промышленные агрегаты перерабатывают кусковой сланец. Его гранулометрический состав должен быть строго выдержан в определенных регламентом пределах [32, 33, 76, 94, 120].

Присутствие крупных кусков, как и мелочи, в технологическом сланце отрицательно влияет на процесс полукоксования. Так, при попадании крупных кусков в агрегаты затрудняется доступ тепла в середину куска, в силу чего в них остается большое количество нетронутой органической массы, что ведет к увеличению потерь конечного продукта в остатке.

Результаты исследований [32, 76] показывают, что по мере уменьшения величины кусков сланца качество полукоксования улучшается. Данные технологического анализа полукоксованного сланца показывают, что, несмотря на нагрев образцов крупного сланца в течение 2,4 ч при температуре от 20 до 460°С, ядро большинства кусков максимальным размером 300 мм совершенно не подвергается термическому воздействию; условное содержание органического вещества в ядре куска сланца остается неизменным по сравнению с исходным материалом.

Требования регламента относительно гранулометрического состава сланца в промышленных условиях, как правило, не соблюдаются. Повышенное содержание мелочи и крупных кусков в технологическом сланце является одной из причин несоответствия технологии подготовки сланца методам полукоксования кускового топлива. Для сравнения различных агрегатов предусматривается переработка сланца выдержанного гранулометрического состава, что обеспечивает нормальное течение процесса термического разложения топлива.

Качество жидких продуктов до последнего времени из-за недостаточного изучения вопросов использования сланцевых смол и отсутствия промышленных методов их переработки оценивалось лишь по содержанию низкокипящих бензиновых фракций и степени загрязнения смолы механическими примесями.

В табл. 81 приведена сравнительная характеристика среднего состава сланцевых смол, получаемых при термической переработке горючего сланца в различных промышленных агрегатах.

Как свидетельствуют данные табл. 81, наименьшими вязкостью, плотностью и коксуемостью обладает смола, выдаваемая туннельными печами. Она содержит наибольшее количество бензиновой фракции, выкипающей до 200°С,— от 16 до 20% суммарного выхода смолы. В смоле, выдаваемой шахтными генераторами, бензиновой фракции очень мало.

Исследования, проведенные Н. И. Зелениным и С. С. Семеновым [43], показывают, что различия в составе сланцевых смол,

Характеристика среднего состава сланцевой смолы при термической переработке горючего сланца в различных агрегатах

Показатели	Тип агрегата		
	туннельная печь *	шахтный генератор	камерная печь
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,967	0,9998	1,080
Молекулярная масса . . . . .	217	250	267
Вязкость условная, сСт при:			
20° С . . . . .	33,0	—	—
50° С . . . . .	8,5	—	1,75
75° С . . . . .	—	18,7	—
Зольность, % . . . . .	0,07	0,9	0,12
Содержание серы, % . . . . .	0,68	0,726	0,5
Объемная доля фенолов, % . . . . .	35,0	28,0	12,4
Коксуюемость, % . . . . .	4,7	6,1	—
Начало кипения, °С . . . . .	75	170	177
Выкипает до:			
200° С . . . . .	18,0	2,0	2,5
300° С . . . . .	38,0	19,0	35,5
350° С . . . . .	—	46,0	54,0
Доля бензиновой фракции до 200° С, % . . . . .	15,6	1,6	2,4
Теплота сгорания, ккал/кг:			
высшая . . . . .	9830	9410	9200
низшая . . . . .	9260	8930	8700

\* Смолa без газбензина.

выдаваемых шахтными генераторами, туннельными и камерными печами, после отделения от смолы, выдаваемой туннельными печами, бензиновой фракции, исчезают. Содержание серы в смолах колеблется в пределах 0,5—0,7%.

Обращает на себя внимание более высокое содержание фенолов в смоле, выдаваемой туннельными печами, по сравнению с другими сланцевыми смолами. В смоле, выдаваемой камерными печами, фенолов содержится в 2,3 раза меньше, чем в смоле, выдаваемой генераторами.

Термическая переработка сланца в промышленных агрегатах, за исключением переработки в туннельных и камерных печах, сопровождается относительно большим выносом твердых частиц спарогазовой смеси с последующим высживанием их в продуктах конденсации. Поэтому зольность сланцевой смолы, выдаваемой шахтными генераторами, все еще довольно высокая.

Высшая теплота сгорания сланцевых смол находится в пределах 9200—9830 ккал/кг.

Данные о составе и физических свойствах газа термического разложения сланца в агрегатах представлены в табл. 82 [68, 69].

Таблица 82

Характеристика среднего состава газа, полученного при термической переработке горючего сланца в различных агрегатах (объемная доля, %)

Состав газа и показатели	Тип агрегата					
	туннельная печь		шахтный генератор		камерная печь	
	натуральный	безвоздушный	натуральный	безвоздушный	натуральный	безвоздушный
CO <sub>2</sub> . . . . .	16,0	21,9	22,4	62,5	15,5	20,8
H <sub>2</sub> S . . . . .	7,9	10,8	0,3	0,7	0,6	0,8
CO . . . . .	7,4	10,1	3,2	9,1	9,4	12,7
H <sub>2</sub> . . . . .	5,3	7,3	5,4	15,0	25,1	33,9
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> . . . . .	9,8	13,4	0,7	1,9	6,3	8,5
C <sub>n</sub> H <sub>n</sub> +2 . . . . .	26,7	36,5	3,9	10,8	17,5	23,3
O <sub>2</sub> . . . . .	1,1	—	0,5	—	0,8	—
N <sub>2</sub> . . . . .	25,8	—	63,6	—	24,8	—
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Нижшая теплота сгорания, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	6000	8200	840	4600	3630	4890
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	—	1,460	—	0,850	—	0,898

Из данных, приведенных в табл. 82, обращает на себя внимание генераторный газ, который представляет собой смесь генераторного газа и газа полукоксования. В его составе содержится значительное количество балласта в виде продуктов горения. Теплота сгорания генераторного газа поэтому самая низкая по сравнению с газами, вырабатываемыми в других агрегатах. В нем также много содержится СО и Н<sub>2</sub> (в безвоздушном газе — 67,2%). Крайне мало генераторный газ содержит непредельных и особенно насыщенных углеводородов. Относительно невелико в нем и количество сероводорода.

Газ, вырабатываемый в камерных печах, наиболее свободен от балласта. В его составе имеются непредельные и предельные углеводороды. Теплота сгорания (по низшему пределу) достигает 3630 ккал/м<sup>3</sup>. Наличие N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в газе, получаемом в камерных печах, обусловлено применением догазовки кокса за счет подачи в камеру воздуха.

Газ, получаемый в туннельных печах, более насыщен непредельными и особенно предельными углеводородами.

Экономическая оценка промышленных агрегатов осуществляется по следующим критериям: 1) приросту производства исходных сырых продуктов из одного и того же количества перерабатываемого сырья; 2) величине капитальных вложений; 3) текущим расходам; 4) производительности труда промышленно-производственного персонала.

Интересы развития сланцевой промышленности требуют высоких темпов наращивания производства продуктов, необходимых народному хозяйству. При этом особое внимание уделяется величине начальных капитальных вложений в промышленные предприятия, срокам строительства и темпам роста производительности труда.

Таблица 83

Условный годовой объем производства продукции сланцеперерабатывающих цехов

Показатели	Сланцеперерабатывающие цехи		
	туннельных печей	шахтных генераторов	камерных печей
Количество перерабатываемого сланца в год, тыс. т . . . . .	1 000	1000	1000
Содержание органического вещества в сланце, % . . . . .	35,7	35,7	35,7
Технический выход с 1 т рабочего сланца:			
смолы, % . . . . .	21,1	15,9	5,0
газбензина, % . . . . .	1,1	—	2,5
газа, м <sup>3</sup> . . . . .	34	548	350
Годовой объем продукции:			
смола, тыс. т . . . . .	211,0	159,0	50,0
газбензин, тыс. т . . . . .	11,0	—	25,0
газ фактической теплоты сгорания, млн. м <sup>3</sup> . . . . .	34	548	350
Высшая теплота сгорания:			
смолы, ккал/кг . . . . .	9 830	9410	9 200
газбензина, ккал/кг . . . . .	11 035	—	11 035
газа, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	8 700	922	4 030
Суммарное тепло в продукции, тыс. Гкал . . . . .	2 491,3	2001,5	2 146,4
Суммарное потенциальное тепло в горючем сланце, тыс. Гкал . . . . .	3 180	3180	3180
Химический коэффициент полезного использования горючего сланца, % . . . . .	78,4	62,9	67,7
Распределение суммарного тепла между продуктами, %:	100,0	100,0	100,0
смола . . . . .	83,1	74,8	21,4
газбензин . . . . .	5,0	—	12,9
газ . . . . .	11,9	25,2	65,7

Сравнительная оценка технико-экономических показателей переработки горючего сланца в промышленных агрегатах производится в цехах с условной мощностью 1 млн. т технологического сланца в год.

В табл. 83 приводятся максимально сопоставимые расчетные данные об объеме продукции сланцеперерабатывающих цехов, оснащенных промышленными агрегатами термического разложения сланца.

Данные табл. 83 показывают, что самый высокий химический коэффициент полезного использования сырья имеет цех туннельных печей. Этот коэффициент рассчитан нами по формуле [64].

$$\eta_{\text{хим}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}}{\sum Q_{\text{с}}} \cdot 100, \quad (13)$$

где  $\eta_{\text{хим}}$  — химический коэффициент полезного использования горючего сланца в агрегате, %;

$\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}$  — теплота сгорания в продуктах термического разложения горючего сланца в агрегате, Гкал;

$i=1, 2, 3, \dots, n$  — число продуктов термического разложения горючего сланца;

$\sum Q_{\text{с}}$  — суммарная теплота сгорания в переработанном горючем сланце, Гкал.

Менее всего потенциального тепла использованного сланца содержится в продукции цеха шахтных генераторов — 62,9%. Следует также отметить, что в продуктах туннельных печей содержится 78,4% суммарного тепла сланца. В камерных печах на смолу и газ приходится 67,7% химического тепла сланца.

При условной годовой производственной мощности сланцеперерабатывающих цехов 1 млн. т технологического сланца примерная потребность в капитальных вложениях и их сумма на единицу продукции приведены в табл. 84.

Данные табл. 84 свидетельствуют о том, что наименьшая сумма капитальных вложений требуется на строительство цеха, оборудованного шахтными генераторами, а наибольшая — камерными печами. Сумма капитальных вложений в строительство цеха шахтных генераторов на 43,8% меньше, чем для цеха туннельных печей, и в 2,8 раза меньше, чем для цеха камерных печей.

Высокие капитальные вложения в строительство сланцеперерабатывающих цехов, оборудованных камерными печами, обусловлены тем, что при одинаковой производственной мощности цехов требуется большее число печей. Так, для переработки 1 млн. т сланца в год необходимо 17 шахтных генераторов или 167 камерных печей.

**Ориентировочные капитальные вложения на строительство  
сланцеперерабатывающих цехов с условной мощностью 1 млн. т горючего сланца  
в год в сопоставимых ценах, капиталометалло- и энергоемкость  
1 Гкал тепла продукции**

Показатели	Сланцеперерабатывающие цехи		
	туннельных печей	шахтных генераторов	камерных печей
Пропускная способность одного агрегата по горючему сланцу в год, тыс. т . . . . .	116,8	60,0	6,0
Число агрегатов на годовую пропускную способность цеха 1 млн. т технологического горючего сланца . . . . .	9	17	167
Капитальные вложения на строительство цеха (топливоподача, печное и конденсационное отделения, золоудаление), млн. руб. . . . .	6,06	3,41	9,55
Капиталоемкость на единицу тепла и продукции, руб/Гкал	2,43	1,70	4,44
Металлоемкость на единицу тепла продукции, кг/Гкал	2,12	2,19	1,03
Энергоемкость (потребление электроэнергии) на единицу тепла продукции, кВт·ч/Гкал	19,7	9,1	1,2

Среди промышленных установок туннельная печь имеет самую высокую пропускную способность и производительность, что обусловлено высокой скоростью нагрева сланца. Продолжительность полукоксования сланца в туннельных печах в 2—3 раза меньше, чем в других установках. Однако капитальные вложения на сооружение туннельных печей довольно высокие.

С целью уменьшения удельных капитальных вложений на 1 т сланца проводится работа по дальнейшему повышению интенсивности технологических процессов, ибо недостаточная скорость термического разложения горючего сланца приводит к малой мощности отдельных агрегатов, а следовательно, к большим начальным капитальным вложениям и эксплуатационным расходам.

Высокие капитальные вложения в строительство цехов камерных и туннельных печей вызывают значительную большую капиталоемкость 1 Гкал суммарного тепла продукции, вырабатываемой в этих цехах, в сравнении с цехом шахтных генераторов. Например, капиталоемкость 1 Гкал тепла продукции цеха камерных печей на 82% больше, чем 1 Гкал тепла продукции цеха туннельных печей, и в 2,6 раза больше, чем 1 Гкал продукции цеха шахтных генераторов.

С точки зрения металлоемкости единицы суммарного тепла в продуктах переработки сланца преимущественное положение занимают камерные печи.

Энергоемкость, приходящаяся на 1 Гкал тепла продукции, определяется по расходу электроэнергии. Как видно из табл. 84, наименее электроемкой является 1 Гкал тепла в продукции цеха камерных печей.

При этом следует отметить, что лишь шахтные генераторы не потребляют для переработки сланца дополнительное топливо. Все другие агрегаты используют для энергетических целей сланец и газ. В связи с этим целесообразно определить также объем капитальных вложений на строительство сланцеперерабатывающих цехов, оборудованных различными агрегатами, в целом для промышленного комплекса, т. е. с учетом капитальных вложений в сопряженные производства: добычу сланца и получение газа.

Цех туннельных печей мощностью 1 млн. т технологического сланца требует дополнительно для энергетических нужд 156 млн. м<sup>3</sup> газа с теплотой сгорания 1000 ккал/м<sup>3</sup>. Для производства отопительного газа необходимо добыть и переработать в шахтных генераторах примерно 290 тыс. т горючего сланца.

По данным проекта шахты «Эстония» треста Эстонсланец удельные капитальные вложения на добычу 1 т горючего сланца с теплотой сгорания 3300 ккал/кг на сухое вещество составляют 8,05 руб. На дополнительную добычу 290 тыс. т горючего сланца сумма капитальных вложений оказывается равной 2,34 млн. руб. Для переработки этого количества горючего сланца и получения 156 млн. м<sup>3</sup> энергетического газа для отопления туннельных печей необходимо построить цех с пятью шахтными генераторами с поперечным потоком теплоносителя. (Выход газа с 1 т переработанного сланца 548 м<sup>3</sup>.) Сумма капитальных вложений на сооружение подобного цеха составит ориентировочно 1,05 млн. руб. В целом сумма сопряженных капитальных вложений на цех шахтных генераторов и добычу сланца для переработки на газ будет составлять примерно 3,39 млн. руб.

В шахтных генераторах вместе с газом получают смолу. Поэтому капитальные вложения на сооружение цеха и добычу сланца для переработки в шахтных генераторах распределяются между газом и смолой пропорционально их теплосодержанию. На газ переходит 25,2% суммарного тепла продукции. В результате на долю газа приходится 0,9 млн. руб. капитальных вложений. Общая сумма капитальных вложений на цех туннельных печей в промышленном комплексе составит около 7 млн. руб.

Капиталоемкость 1 Гкал суммарного тепла в продукции цеха туннельных печей в составе промышленного комплекса будет равна 2,81 руб., с учетом капитальных вложений в сопряженные производства — 6,1 руб. Со строительством генераторного цеха для снабжения туннельных печей газом увеличиваются затраты

металла. Металлоемкость единицы тепла продукции туннельных печей в промышленном комплексе повышается до 2,75 кг.

Цех камерных печей мощностью 1 млн. т технологического сланца потребляет 498 млн. м<sup>3</sup> энергетического газа с теплотой сгорания 1000 ккал/м<sup>3</sup>. Для выработки этого количества газа необходимо переработать 900 тыс. т горючего сланца. Сумма капитальных вложений в добычу составит 7,25 млн. руб.

Для производства отопительного газа требуется сооружение цеха с 16 шахтными генераторами. Сумма капитальных вложений на сооружение этого цеха будет равна примерно 3,2 млн. руб. Общие капитальные вложения в газогенераторную станцию и добычу сланца для переработки на газ выразятся суммой 10,45 млн. руб. Из этой суммы на газ приходится 25,2%, или 2,63 млн. руб. Общая сумма капитальных вложений в строительство цеха камерных печей в промышленном комплексе с цехом шахтных генераторов и добычей сланца будет равна 12,18 млн. руб.

Капиталоемкость 1 Гкал суммарного тепла в продукции цеха камерных печей в промышленном комплексе составит 5,67 руб., а с учетом капитальных вложений в сопряженные производства — 9,4 руб.

Металлоемкость единицы суммарного тепла продукции цеха камерных печей в промышленном комплексе увеличится за счет металла, расходуемого на генераторный цех, до 2,52 кг.

В условиях промышленного комплекса увеличивается также и энергоемкость единицы суммарного тепла продукции сравниваемых цехов.

По отчетным данным треста Эстонсланец в среднем по шахтам сланцевого бассейна расход электроэнергии на 1 т добычи горючего сланца составляет примерно 6,5 кВт·ч.

Для цеха туннельных печей на добычу 290 тыс. т горючего сланца для переработки его на газ затраты электроэнергии составят 1900 тыс. кВт·ч. Кроме того, для производства из этого сланца 156 млн. м<sup>3</sup> генераторного газа расход электроэнергии составит 5100 тыс. кВт·ч. Из общего количества расход электроэнергии на производство газа составит 1800 тыс. кВт·ч.

Затраты электроэнергии на 1 Гкал суммарного тепла продукции цеха туннельных печей в промышленном комплексе с учетом сопряженных производств увеличиваются до 20,4 кВт·ч.

Для цеха камерных печей на добычу 900 тыс. т горючего сланца и производство из него 498 млн. м<sup>3</sup> генераторного газа потребуется 21500 тыс. кВт·ч электроэнергии, в том числе на производство газа — 5400 тыс. кВт·ч.

При дополнительных затратах электроэнергии в промышленном комплексе с учетом сопряженных производств энергоемкость 1 Гкал суммарного тепла продукции цеха камерных печей составит 3,7 кВт·ч (табл. 85).

Себестоимость продукции, как комплексный показатель, отражающий все факторы производственной деятельности, представ-

**Ориентировочные капитальные вложения на строительство цехов переработки горючего сланца в комплексе с добычей сланца и производством газа для энергетических нужд, капитало-, металло- и энергоёмкость единицы суммарного тепла продукции**

Цех	Капитальные затраты, млн. руб.			Капиталоёмкость 1 Гкал, руб.		Металлоёмкость 1 Гкал в промышленном комплексе, кг	Энергоёмкость 1 Гкал, кВт·ч	
	на добычу 1 млн. т технологического сланца	на переработку в промышленном комплексе	всего	для промышленного комплекса	с добычей технологического сланца		для промышленного комплекса	с добычей технологического сланца
Туннельных печей	8,05	7,00	15,05	2,81	6,10	2,75	20,4	23,0
Шахтных генераторов	8,05	3,40	11,45	1,70	5,73	2,19	9,1	11,7
Камерных печей	8,05	12,18	20,23	5,67	9,4	2,52	3,7	6,3

ляет собой известный интерес с точки зрения сравнительной экономической оценки агрегатов термической переработки горючего сланца.

Таблица 86

**Структура условно сравнимой цеховой себестоимости 1 Гкал тепла в продукции переработки горючего сланца в различных агрегатах**

Статьи затрат	Сланцеперерабатывающие цехи					
	туннельных печей		шахтных генераторов		камерных печей	
	руб. — коп.	%	руб. — коп.	%	руб. — коп.	%
Сырье	1—77	47,3	2—20	70,8	2—04	63,6
Электроэнергия	0—29	7,7	0—10	3,2	0—02	0,6
Пар	0—50	13,3	0—24	7,7	0—01	0,3
Топливо	0—08	2,1	—	—	0—35	10,9
Вода технологическая	0—08	2,1	0—02	0,6	0—02	0,6
Заработная плата с отчислениями на социальное страхование	0—57	15,2	0—28	9,0	0—25	7,8
Амортизация	0—22	5,9	0—13	4,3	0—30	9,3
Содержание оборудования и текущий ремонт	0—14	3,7	0—07	2,2	0—16	5,0
Прочие цеховые расходы	0—10	2,7	0—07	2,2	0—06	1,9
Цеховая себестоимость	3—75	100,0	3—11	100,0	3—21	100,0

В табл. 86 дана структура цеховой себестоимости 1 Гкал суммарного тепла в продукции термической переработки сланца в промышленных агрегатах.

Из данных табл. 86 видно, что в структуре себестоимости 1 Гкал тепла продукции преобладают затраты на сырье. При этом доля затрат на сырье наибольшая в себестоимости 1 Гкал тепла продукции цеха шахтных генераторов (70,8%).

Доля затрат на топливо в себестоимости 1 Гкал тепла продукции цеха камерных печей в 4,3 раза больше, чем в себестоимости единицы тепла цеха туннельных печей. Это объясняется тем, что камерные печи гораздо больше используют генераторного газа для термического разложения сланца в сравнении с туннельными печами. Шахтные генераторы топлива не потребляют.

Затраты на электроэнергию в себестоимости 1 Гкал тепла наибольшие в продукции цеха туннельных печей. Их величина более, чем в 10 раз превышает энергозатраты в 1 Гкал тепла продукции цеха камерных печей и примерно в 3 раза больше, чем в 1 Гкал продукции цеха шахтных генераторов. Как видно из приведенных данных, туннельная печь является агрегатом, потребляющим наибольшее количество электроэнергии.

В связи с малой пропускной способностью камерных печей затраты на амортизацию в себестоимости 1 Гкал тепла продукции этих агрегатов самые высокие.

В себестоимости 1 Гкал тепла продукции цеха туннельных печей доля заработной платы самая большая в сравнении с другими цехами, что обусловлено расходами на оплату труда ремонтных рабочих.

Самую низкую себестоимость имеет 1 Гкал суммарного тепла продукции цеха шахтных генераторов — 3,11 руб., что на 4% ниже себестоимости единицы тепла продукции цеха камерных печей и на 12% ниже себестоимости единицы тепла продукции цеха туннельных печей.

Для определения цеховой себестоимости исходных продуктов эксплуатационные затраты каждого сланцеперерабатывающего цеха распределяются пропорционально теплу, заключенному в смоле, газбензине и газе [64]. Расчетная цеховая себестоимость основных сырых продуктов для сопоставимых условий приведена в табл. 87.

Как свидетельствуют данные табл. 87, наиболее дешевой является продукция цеха шахтных генераторов. Самую дорогую продукцию дает цех туннельных печей.

Экономическая эффективность переработки горючего сланца в различных агрегатах определяется минимумом приведенных затрат в целом по промышленному комплексу.

Приведенные затраты на 1 Гкал тепла продукции:  
для цехов туннельных печей

$$Z_{т.п} = 3,75 + 0,12 \cdot 2,81 = 4,09 \text{ руб.};$$

шахтных генераторов

$$Э_{ш. г} = 3,11 + 0,12 \cdot 1,70 = 3,31 \text{ руб.};$$

камерных печей

$$Э_{к. п} = 3,21 + 0,12 \cdot 5,67 = 3,89 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты на 1 Гкал тепла продукции оказываются больше для цеха туннельных печей на 0,78 руб. и для цеха камерных печей на 0,58 руб. по сравнению с затратами на 1 Гкал тепла продукции цеха шахтных генераторов.

Годовой экономический эффект переработки горючего сланца в цехе шахтных генераторов составляет по сравнению:  
с цехом камерных печей

$$Э_{ш. г} = 2\,001\,500 \cdot 0,58 = 160,9 \text{ тыс. руб.};$$

с цехом туннельных печей

$$Э_{ш. г} = 2\,001\,500 \cdot 0,78 = 1561,2 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 87

Условно сравнимая цеховая себестоимость сырых продуктов термического разложения горючего сланца в промышленных агрегатах

Продукты	Сланцеперерабатывающие цехи		
	туннельных печей	шахтных генераторов	камерных печей
Смола, руб/т . . . . .	36,87	29,27	29,53
Газбензин, руб/т . . . . .	41,38	—	35,42
Газ фактической теплоты сгорания*, руб/м <sup>3</sup> . . . . .	0,33	0,03	0,12
Газ в пересчете на стандартную калорийность, руб/м <sup>3</sup> , Q <sub>в</sub> =4000 ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	0,15	0,12	0,13

\* Высшая теплота сгорания туннельного газа 8700 ккал/м<sup>3</sup>, генераторного — 922 ккал/м<sup>3</sup>, камерного — 4030 ккал/м<sup>3</sup>.

В табл. 88 приведены данные, позволяющие судить о затратах труда на производство тепла продукции в промышленных агрегатах переработки горючего сланца.

Из табл. 88 видно, что самая низкая производительность труда у рабочих, занятых обслуживанием туннельных печей.

В среднем на одного рабочего, обслуживающего камерные печи, выработка суммарного тепла на 11% выше по сравнению с выработкой рабочего, обслуживающего шахтные генераторы, и в 2,5 раза выше, чем у рабочего, обслуживающего туннельные печи.

**Производительность труда рабочих, обслуживающих туннельные печи,  
шахтные генераторы и камерные печи**

Показатели	Сланцеперерабатывающие цехи		
	туннельных печей	шахтных генераторов	камерных печей
Годовая выработка суммарного тепла в продукции:			
на одного рабочего, Гкал	2840	6450	7180
то же, %	100,0	227,0	253,0
на одного трудящегося, Гкал	2750	6230	6780
то же, %	100,0	226,0	246,3

Анализ производительности труда рабочих, обслуживающих туннельные печи, шахтные генераторы и камерные печи, следует дополнить рассмотрением производительности труда рабочих с учетом всего промышленного комплекса, т. е. с учетом затрат труда на добычу сланца и его переработку в газ, используемый на энергетические нужды технологических цехов.

Затраты труда на добычу горючего сланца для отопления технологических агрегатов определяются, исходя из проектного уровня производительности труда горнорабочего очистного забоя на шахте «Эстония» треста Эстонсланец. Среднемесячная выработка одного рабочего составляет 231,9 т товарного сланца.

Для цеха туннельных печей на добычу сланца с целью получения отопительного газа требуется при этой производительности труда 100 рабочих, а для цеха камерных печей — 320.

Производство энергетического газа для цеха туннельных печей потребует дополнительно 180 человек списочных трудящихся, а для цеха камерных печей — 300 человек.

В итоге для выпуска суммарной продукции с учетом сопряженных производств потребуется для цеха туннельных печей 1100 трудящихся, а для цеха камерных печей — 710.

Таким образом, годовая выработка одного трудящегося по цеху туннельных печей составит 2260 Гкал, а по цеху камерных печей — 3040 Гкал (табл. 89).

Анализ капитальных вложений и затрат труда по различным цехам свидетельствует о значительных преимуществах шахтных генераторов перед другими промышленными агрегатами термической переработки горючих сланцев.

Однако шахтные генераторы практически не выпускают такого ценного химического сырья, как газбензин. Из-за малой концентрации его в газе он не улавливается. Газ, производимый генераторами, не содержит в себе ценных химических компонентов.

**Производительность труда рабочих, обслуживающих туннельные печи, шахтные генераторы и камерные печи в условиях промышленного комплекса**

Сланцеперерабатывающие цеха	Годовая выработка суммарного тепла в продукции на 1 трудящегося, Гкал	В % к выработке одного рабочего, обслуживающего шахтные генераторы
Шахтных генераторов . . . . .	6230	100,0
С добычей технологического сланца	2940	100,0
Туннельных печей в комплексе с шахтой и шахтными генераторами, поставляющими сланец и газ для отопления . . . . .	2260	36,4
С добычей технологического сланца	1700	57,8
Камерных печей в комплексе с шахтой и шахтными генераторами . .	3040	49,8
С добычей технологического сланца	2300	78,3

Туннельные печи имеют самую низкую эффективность. Однако газ, полученный в них, наиболее богат непредельными и насыщенными углеводородами. При использовании полукокса в качестве топлива для нагрева теплоносителя эффективность туннельных печей может возрасти.

Экономичность переработки горючего сланца в камерных печах ниже в сравнении с шахтными генераторами и выше, чем туннельных печей. Они также выдают высокоароматизированный газбензин. Газ, полученный в них, содержит мало непредельных углеводородов и может быть использован для отопления.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

В послевоенные годы в сланцевой промышленности ведутся работы по опытно-промышленной проверке новой системы переработки горючего сланца. Термическое разложение мелкозернистого горючего сланца осуществляется в потоке твердого теплоносителя — сланцевой золы, — получающего тепло в специальной топке.

Новая система переработки горючего сланца призвана разрешить проблему использования сланцевой мелочи для технологических целей, поскольку в настоящее время сланец III сорта используется только теплоэлектростанциями.

Вместе с тем следует отметить, что мелкозернистый горючий сланец как объект для термического разложения обладает в сравнении с крупнокусовым сланцем рядом преимуществ:

во-первых, мелкий горючий сланец размером 0—25 мм, выдаваемый шахтой, наименее загрязнен породой и содержит 34—35% органического вещества на сухую массу. При добыче

горючего сланца наибольшее разубоживание по содержанию керогена претерпевают классы 60—38 и 38—25 мм [116]. Объясняется это тем, что куски породы размером 70—60 мм почти не удаляются из горной массы. Содержание органического вещества в сланце II сорта в связи с этим понижается;

во-вторых, при переработке больших кусков горючего сланца с горячими газами или другим теплоносителем соприкасаются только поверхностные части куска, а к внутренним частицам горючей массы сланца доступ тепла затруднен. В отличие от крупных кусков горючая масса в мелочи распределяется более равномерно, вследствие чего мелкие частицы сланца быстрее прогреваются и выделяют летучие вещества из органической массы. Как показывает практика переработки крупнокускового сланца, в полукосе туннельных печей остается примерно 8—9% органического вещества, заключенного в исходном сырье, в золе шахтных генераторов — 6—8% и в коксе камерных печей — 14—15%;

в-третьих, мелкозернистый горючий сланец обладает наиболее развитой реакционной поверхностью, что является решающим фактором при сжигании или переработке топлива. Применение для термической переработки измельченного сланца с сильно развитой суммарной реакционной поверхностью частиц является одним из передовых и перспективных направлений повышения интенсивности процесса переработки и создания высокопроизводительных установок, отвечающих требованиям развития современной техники.

Основы новой системы переработки мелкозернистого топлива, по которой термическое разложение сланца осуществляется в установке с твердым теплоносителем, были разработаны Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского. Полупромышленные испытания и конструктивно-технологическая доработка установок применительно к переработке сланцевой мелочи осуществлена в содружестве с Институтом термофизики и электрофизики АН Эстонской ССР [110, 122, 123].

В течение 1950—1952 гг. на заводе «Ильмарине» в Таллине проводились исследования низкотемпературного (смоляного) режима переработки мелкого сланца с твердым теплоносителем. На полузаводской установке были испытаны некоторые конструкции реакторов (камер термического разложения сланца): бункерного и барабанного типов для низкотемпературного режима. Результаты испытаний подтвердили преимущества новых агрегатов переработки горючего сланца, позволили получить технологические показатели процесса полукосования, а также выяснить вопросы качества продуктов и необходимые данные для проектирования опытно-промышленной установки.

В 1953—1956 гг. было осуществлено исследование по термической переработке сланцевой мелочи при высоких (до 750°С) температурах.

Для высокотемпературного (газового) режима при температурах свыше 500—750°С применялись вертикальные реакторы с системой разгрузки в виде качалки, конический реактор с мешалкой и турникетной разгрузкой.

Наряду с этим была проведена большая работа по исследованию процесса при различных режимах, по разработке конструкций и освоению аппаратов, деталей и узлов, приспособленных к специфике нового высокотемпературного процесса.

Проведенные балансовые испытания работы установки в газовом режиме показали, что выход газа по сравнению с работой установки в смоляном режиме, как правило, возрастает с повышением температуры процесса, а выход смолы соответственно понижается.

Использование газового режима переработки мелкого сланца с твердым теплоносителем дает возможность добиться превращения основной доли органического вещества сланца в газ и газбензин при сравнительно невысоком температурном потенциале процесса. Причем уже при температурах около 650°С достигается значительное повышение содержания углеводородных (особенно непредельных) компонентов в газе, а также ароматических соединений в смоле и газбензине.

Положительные результаты, полученные при освоении новой технологии на установке завода «Ильмарине», и изучение процесса термической переработки сланцевой мелочи при различных температурных режимах позволили перейти к внедрению этого метода в промышленных масштабах.

В 1951 г. было начато строительство на сланцехимическом комбинате «Кивийыли» опытно-промышленной установки с пропускной способностью 250 т сланцевой мелочи в сутки. В 1953 г. были начаты работы по освоению установки.

Результаты работы опытно-промышленной установки подтвердили целесообразность нового метода переработки сланцевой мелочи с твердым теплоносителем, позволили проверить главные узлы и аппараты, обеспечивающие проведение процесса переработки сланцевой мелочи, освоить технологический процесс термического разложения твердым теплоносителем измельченного сланца и регулирование процесса, а также сжигание с высокой интенсивностью сланцевого полуккокса в смеси с инертным теплоносителем — сланцевой золой.

Опыты показали, что преимуществом нового метода переработки сланцевой мелочи с твердым теплоносителем может стать возможность работы установки не только в смоляном, но и в газовом режиме. При газовом режиме основным продуктом термической переработки сланцевой мелочи является высококалорийный газ. Кроме того, качество продуктов значительно улучшается: резко возрастает содержание ароматических углеводородов и относительный выход легких фракций в смоле (бензиновые фракции в смоле составляют 25—30%).

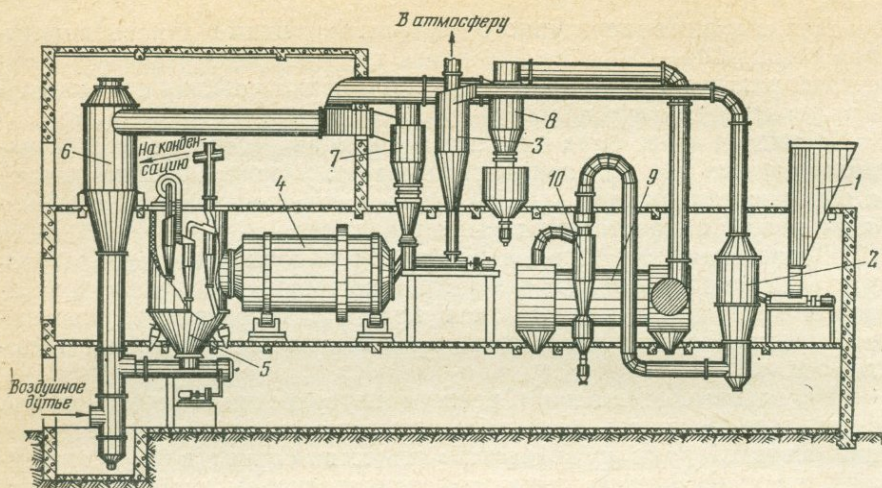


Рис. 43. Технологическая схема опытно-промышленной установки с твердым теплоносителем для переработки горючего сланца на сланцехимическом комбинате «Кививыли»:

- 1 — бункер для сухого сланца; 2 — сушилка; 3 — сепаратор для сухого сланца; 4 — реактор; 5 — пылеотделительное устройство; 6 — технологическая топка; 7 — циклоны теплоносителя; 8 — первые зольные циклоны; 9 — котел-утилизатор; 10 — вторые зольные циклоны

В 1962 г. на сланцехимическом комбинате «Кививыли» было завершено строительство промышленной установки с пропускной способностью 500 т сланца в сутки, выполнено исследование ее экономичности [65] и подготовлен эскизный проект более мощного агрегата с пропускной способностью 1000 т и более сланца в сутки.

Принципиальная технологическая схема промышленного агрегата переработки сланцевой мелочи с твердым теплоносителем типа «Кививыли» показана на рис. 43.

Сырой сланец III сорта предварительно проходит грохочение, дробление на грохоте и в дробилке, после чего подается в аэрофонтанную сушилку.

Сухой сланец, выделенный из аэросмеси с топочными газами в сепараторе, направляется в реактор, представляющий собой горизонтальный вращающийся барабан. Топочные газы из сепаратора проходят дополнительную очистку (сухую или мокрую) во втором сепараторе, после чего выбрасываются в атмосферу.

В реактор из сепаратора золы поступает горячий теплоноситель с температурой 800—850°С. Затем из реактора смесь теплоносителя и сланцезольного остатка через пылевую камеру выводится в технологическую топку, в которую турбокомпрессором нагнетается воздух, обеспечивающий горение полукокса. Смесь теплоносителя и свежей золы вместе с топочными газами попадает из технологической топки в сепаратор, в котором выделяется основ-

ная часть выведенной из процесса золы, а горячий теплоноситель подается в реактор.

В промышленных условиях можно будет топочные газы подавать в котел-утилизатор, служащий для снижения температуры перед сушилкой и использования избыточного тепла процесса, и после дополнительной очистки от летучей золы в сепараторе направлять в сушилку.

Парогазовые продукты термического разложения сланца проходят грубую очистку от пыли в пылевой камере и во вмонтированном в нее циклоне. Затем они поступают на тонкую очистку.

На установке предусматривается гидравлическое удаление золы, выделенной в сепараторах и котле-утилизаторе, а также из сушилки и технологической топки. В случае необходимости использования зольного остатка для производства цемента гидравлическое удаление золы заменяется пневматическим.

Начиная с 1960 г. были исследованы возможности увеличения содержания непредельных углеводородов в сланцевом газе, производимом в установках с твердым теплоносителем, с помощью изменения режима термического разложения сланца и аппаратурного разделения зон полукоксования и пиролиза с сочетанием обоих звеньев в едином технологическом цикле. Эти исследования были осуществлены Институтом химии АН Эстонской ССР, Энергетическим институтом им. Кржижановского, сланцехимическим комбинатом «Кивиыли» и Институтом сланцев. Были определены пять вариантов переработки горючего сланца для получения газа различного химического состава:

I вариант. Газификация мелкого сланца размером 0—12 мм осуществляется в установке с твердым теплоносителем типа «Кивиыли» (одноступенчатый процесс при температуре 720—750°С);

II вариант. Полукоксованию подвергается мелкий сланец в установке типа «Кивиыли» при смоляном режиме;

III вариант. Двухступенчатая переработка горючего сланца в установке типа «Кивиыли» при смоляном режиме работы с дополнительным термоконтактным пиролизом среднего и тяжелого масел;

IV вариант. Двухступенчатая переработка горючего сланца в установке типа «Кивиыли» при смоляном режиме работы, с окислительным пиролизом легко-средней части парогазовой смеси;

V вариант. Трехступенчатая переработка горючего сланца в установке типа «Кивиыли» при смоляном режиме работы с окислительным пиролизом легко-средних и термоконтактным пиролизом тяжелых жидких продуктов термического разложения сланца.

На основе опытов, проведенных Всесоюзным научно-исследовательским институтом по переработке нефти и газа и получению искусственно жидкого топлива, в 1949 г. институтом «Гипрогазтоппром» выполнено проектное задание опытно-промышленной установки для переработки мелкозернистого сланца с твердым

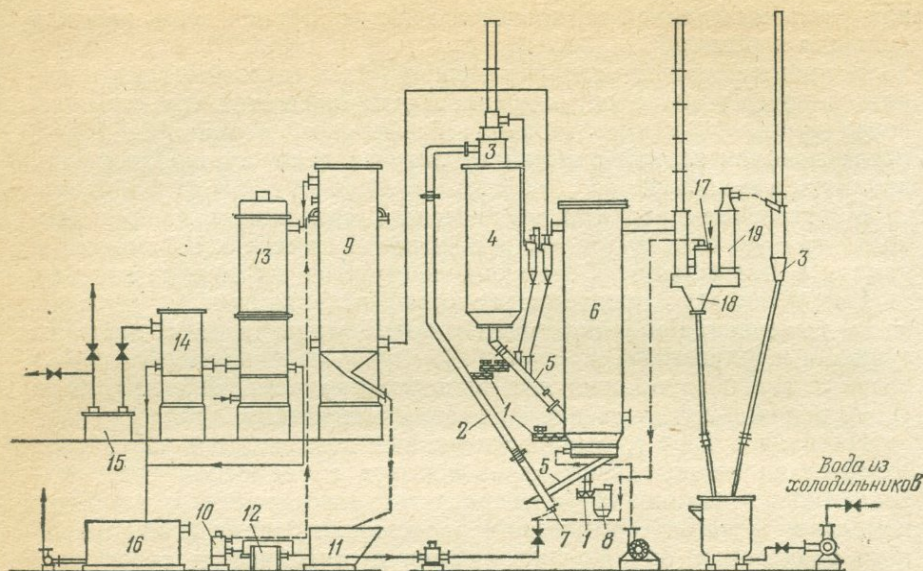


Рис. 44. Технологическая схема опытной установки для переработки горячего сланца на сланцеперерабатывающем комбинате в г. Сланцы Ленинградской области:

1 — шнеки подачи мелкозернистого горячего сланца; 2 — пневмотруба; 3 — циклон; 4 — вертикальный реактор-газификатор; 5 — тетки; 6 — топка с кипящим слоем; 7 — форсунка для подачи водяного пара; 8 — зольный бункер; 9 — скруббер-стояк; 10 — насосы; 11 — отстойник смолы; 12 — теплообменник; 13 — трубчатый холодильник; 14 — каплеуловитель; 15 — гидрозатвор; 16 — отстойник для отделения легкой смолы; 17 — пароперегреватель; 18 — пылевая камера; 19 — трубчатый холодильник

теплоносителем мощностью 50 т сланца в сутки для сланцеперерабатывающего комбината в г. Сланцы Ленинградской области.

В отличие от установки типа «Кивиыли» процесс газификации на этой установке заключается в термическом разложении сланца при температуре 600—650°С в присутствии водяного пара над твердым теплоносителем, представляющим собой мелкозернистую золу того же топлива. Нагрев теплоносителя осуществляется в топке с кипящим слоем за счет сжигания воздухом полукокса, поступающего с твердым теплоносителем, и дополнительного сланца, подаваемого в технологическую топку.

Опыты показали, что процесс термической переработки сланца в установке идет устойчиво и легко управляется. При этом была достигнута удовлетворительная степень очистки газа от пыли, получена легкая смола, не содержащая механических примесей. Принципиальная технологическая схема установки типа «Сланцы» представлена на рис. 44.

Горячий сланец крупностью 0—30 мм из приемного бункера лотковым питателем подается на эlevator. За питателем располагается подвесной магнитный сепаратор. Эlevator поднимает сланец и сбрасывает его на вибрационный грохот. Фракция сырья крупнее

5 мм поступает с грохота в молотковую дробилку и после дробления возвращается тем же элеватором на тот же грохот для контрольного отсева. Фракция сырья менее 5 мм идет в бункер сырого сланца. Отсюда сырой дробленый сланец подается шнеками в пневмотрубу, по которой транспортируется нагретый паром до 800°С мелкозернистый теплоноситель.

Наряду с сушкой в пневмотрубе осуществляется подъем сланца. Высушенный мелкозернистый сланец отделяется от потока дымовых газов в циклоне, являющемся верхней частью газификатора. Дымовые газы при этом отсасываются дымососом.

Система подготовки сырья обеспечивает подачу в установку мелкозернистого сланца крупностью 0,1—5 мм, подсушенного до 2,4% содержания влаги.

Теплоноситель и коксозольный остаток сходят из газификатора по течке в топку с кипящим слоем. Дополнительный сланец, необходимый для нагрева теплоносителя, подается в топку шнеком. В топке теплоноситель разогревается до 800°С.

Теплоноситель по течке сходит из топки к пневмотрубе. В нижней части ее располагается форсунка, через которую вводятся пар и тяжелая смола, получаемая на установке. Пар распыляет эту смолу, и образовавшаяся смесь транспортирует теплоноситель. В процессе транспортирования теплоносителя происходит пиролиз смолы. Полученный газ при этом будет представлять собой смесь двух газов: газа полукоксования сланца и газа, полученного при пиролизе тяжелой смолы. Мелкозернистая зола выдается шнеком в зольный бункер, откуда сбрасывается в отвал.

Из циклона парогазовая смесь направляется в два последовательно установленных циклона, где происходит выделение основной массы пыли, которая по течкам присоединяется к твердому теплоносителю, идущему из газификатора в топку. После циклонов парогазовая смесь направляется в скруббер-стояк. В него насосом подается также горячая циркулирующая вода, нагретая до температуры 75°С, очищающая газ от пыли и охлаждающая его до 87—92°С. Одновременно происходит конденсация тяжелой смолы. Затем циркулирующая вода, содержащая запыленную тяжелую смолу, поступает в отстойник, где осветляется и насосом подается вновь на циркуляцию. Понижение температуры воды происходит в теплообменнике. Смола из отстойника насосом через форсунку направляется на пиролиз.

Газ из скруббера выводится в трубчатый холодильник, где охлаждается до 20—30°С, а смоляные водяные пары конденсируются. Пройдя каплеуловитель и гидрозатвор, газ подается потребителю. Конденсат из холодильника, каплеуловителя и гидрозатвора сливается в отстойник, где легкая смола отделяется от воды.

Дымовой газ из топки поступает в пароперегреватель, нижняя часть которого является пылевой камерой. Из пароперегревателя дымовые газы направляются в котел-утилизатор, трубчатый холодильник, циклон и выбрасываются в атмосферу. Из пы-

левой камеры и циклона зола выводится системой гидрозолоудаления.

Показатели работы новых агрегатов термического разложения горючих сланцев при различных режимах работы приведены в табл. 90.

Для расчетов технический выход продуктов с 1 т горючего сланца и показатели расхода материальных и энергетических средств для установок типа «Кивиыли» приняты по данным Института химии АН Эстонской ССР. Как видно из табл. 90, при одноступенчатых процессах переработки сланца режим полукоксования обеспечивает наибольший коэффициент использования потенциального тепла технологического сланца. Самый высокий химический коэффициент полезного использования горючего сланца (83,1%) имеет установка типа «Кивиыли» при смоляном режиме работы. При этом получается газ, содержащий 70% непредельных и насыщенных углеводородов. Однако выход газа с 1 т сланца невелик. Газовые режимы работы установок с твердым теплоносителем позволяют в 2—3 раза увеличить выход газа.

В отличие от газа полукоксования газ высокотемпературного разложения сланца содержит в себе меньше олефиновых углеводородов, в частности пропилена (7,2% при газовом режиме вместо 13,4% при смоляном), являющегося наиболее ценным компонентом.

Многоступенчатые процессы переработки сланца в установках с твердым теплоносителем значительно повышают выход газа и содержание в нем олефиновых углеводородов. Причем наиболее сильно возрастает выход этилена.

При работе установки по одноступенчатой схеме помимо 112 м<sup>3</sup> газа с 1 т переработанного горючего сланца получают дополнительно 60 кг суммарной сырой смолы и 10 кг ароматизированного газбензина. Физико-химические свойства и химический состав смолы позволяют использовать ее для химической переработки с целью извлечения фенолов, олефинов (для синтеза моющих средств) и высокооктанового бензина.

При работе установки по двухступенчатой схеме получается большой выход смолы (118 кг с 1 т сланца), однако в ее составе фактически содержится только тяжелое масло — 87%.

При работе установки по трехступенчатой схеме обеспечивается максимальный выход газа (155 м<sup>3</sup>/т сланца) с самым большим содержанием этилена (25,5%). Наряду с технологическим газом получают наибольшее количество (21,2 кг из 1 т сланца) ароматизированного газбензина — сырья для производства бензола, ксилолов и других химических продуктов.

При переработке горючего сланца в установках избыточное тепло с горячими дымовыми газами (800—850°С), сланцевой пылью из сушилки возможно использовать в котлах-утилизаторах для выработки пара. Из 1 млн. т горючего сланца в агрегате «Кивиыли» может быть получено при смоляном режиме 161 тыс. Гкал

Годовой объем производства основной сырой продукции и суммарного тепла установками с твердым теплоносителем при различных режимах работы

Показатели	Одноступенчатый процесс				Многоступенчатые процессы		
	Газовый режим		Режим полукоксования		Двухступенчатый процесс («Кивиыли»)		Трехступенчатый процесс («Кивиыли»)
	Установка				Схема 1	Схема 2а	Схема 2б
	«Кивиыли»	«Сланцы»	«Кивиыли»	«Сланцы»			
	Варианты						
	I	II		III	IV	V	
Годовой объем перерабатываемого горючего сланца, тыс. т . . . . .	1000	1000	1000		1000	1000	1000
Содержание органического вещества в сланце (на сухую массу), % . . . . .	33,5	33,5	33,5		33,5	33,5	33,5
Технический выход с 1 т переработанного горючего сланца:							
смолы, % . . . . .	7,0	2,1	19,0	3,1	6,0	11,8	—
в том числе							
легкой, до 200° С . . . . .	2,2	2,1	3,7	3,1	3,7	—	—
средней, 200—300° С . . . . .	2,1	—	6,85	—	2,3	1,55	—
тяжелой, свыше 300° С . . . . .	2,7	—	8,45	—	—	10,25	—
газбензина, % . . . . .	1,05	1,5	1,0	1,4	1,0	1,5	2,12

Показатели	Одноступенчатый процесс				Многоступенчатые процессы			
	Газовый режим		Режим полукоксования		Двухступенчатый процесс («Кивиыли»)		Трехступенчатый процесс («Кивиыли»)	
	Установка						Схема 2а	Схема 2б
	„Кивиыли“	„Сланцы“	„Кивиыли“	„Сланцы“	Схема 1			
	Варианты							
	I	II		III	IV	V		
газа фактической калорийности, м <sup>3</sup> . . . . .	120	150	40	80	112	92	155	
Годовой объем производства:								
смолы, тыс. т . . . . .	70,0	21,0	190,0	31,0	60,0	118,0	—	
в том числе								
легкой . . . . .	22,0	21,0	37,0	31,0	37,0	—	—	
средней . . . . .	21,0	—	68,5	—	23,0	15,5	—	
тяжелой . . . . .	27,0	—	84,5	—	—	102,5	—	
газбензина, тыс. т . . . . .	10,5	15,0	10,0	14,0	10,0	15,0	21,2	
газа, млн. м <sup>3</sup> . . . . .	120	150	40	80	112	92	155	
Теплота сгорания:								
смолы, ккал/кг								
в том числе								
легкой . . . . .	10 370	9816	10 370	9816	10 370	—	—	
средней . . . . .	9 750	—	9 750	—	9 750	9750	—	
тяжелой . . . . .	9 250	—	9 250	—	—	9250	—	

Показатели	Одноступенчатый процесс				Многоступенчатые процессы		
	Газовый режим		Режим полукоксования		Двухступенчатый процесс («Кивиыли»)		Трехступенчатый процесс («Кивиыли»)
	Установка						
	„Кивиыли“	„Сланцы“	„Кивиыли“	„Сланцы“	Схема 1	Схема 2а	Схема 2б
	Варианты						
	I	II			III	IV	V
газбензина, ккал/кг . . .	11 750	11 035	11 750	11 035	11 750	11 750	11 750
газа, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	10 587	10 104	11 150	11 615	11 774	10 200	10 894
Суммарное тепло в годовом объеме продукции, тыс. Гкал:	2077	1 887	2 397	1 388	2 045	2 213	1 938
смолы . . . . .	683	206	1 833	304	608	1 099	—
в том числе							
газбензина . . . . .	228	206	384	304	384	—	—
легкой . . . . .	205	—	668	—	224	151	—
средней . . . . .	250	—	781	—	—	948	—
тяжелой . . . . .	123	165	118	155	118	176	249
газа . . . . .	1271	1 516	446	929	1 319	938	1 689
Потенциальное тепло в переработанном сланце, тыс. Гкал . . . . .	2890	2 890	2 890	2 890	2 890	2 890	2 890

Показатели	Одноступенчатый процесс				Многоступенчатые процессы				
	Газовый режим		Режим полукоксования		Двухступенчатый процесс («Кививыли»)		Трехступенчатый процесс («Кививыли»)		
	Установка						Схема 1	Схема 2а	Схема 2б
	«Кививыли»	«Сланцы»	«Кививыли»	«Сланцы»	Схема 1	Схема 2а			
	Варианты								
	I	II			III	IV	V		
Химический коэффициент полезного использования горячего сланца, % . . . . .	71,8	65,5	83,1	48,2	71,0	76,6	67,2		
Термический коэффициент полезного использования сланца, % . . . . .	84,4	74,3	88,5	57,2	75,5	82,1	72,8		
Энергетический к. п. д., % . . . . .	83,7	57,7	88,1	44,3	75,0	79,8	70,0		
Распределение суммарного тепла между продуктами, %:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
смолой . . . . .	32,9	10,9	76,4	22,2	29,8	49,7	—		
газбензином . . . . .	5,9	8,8	4,9	11,1	5,8	8,0	12,9		
газом . . . . .	61,2	80,3	18,7	66,7	64,4	42,3	87,1		
Условно сопоставимая цеховая себестоимость 1 Гкал тепла продукции, руб. . . . .	1,49	2,27	1,24	2,27	1,54	1,48	1,74		
Удельные капитальные вложения на 1 Гкал тепла продуктов переработки горячего сланца, руб. . . . .	1,33	1,90	0,84	2,59	1,25	1,08	1,34		

пара, при газовом — 362 тыс. Гкал; в агрегате «Сланцы» при смоляном и среднетемпературном режимах — 257 тыс. Гкал пара. Самый высокий термический коэффициент полезного использования горючего сланца имеет установка с твердым теплоносителем «Кивийли» при низкотемпературном режиме переработки сланца — 88,5%. Этот коэффициент исчисляется по формуле [64]

$$\eta_{\text{терм}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}} + \sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. п}}}{\sum Q_c} \cdot 100, \quad (14)$$

где  $\eta_{\text{терм}}$  — термический коэффициент полезного использования горючего сланца в агрегате, %;

$\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}$  — теплота сгорания продуктов термического разложения горючего сланца, Гкал;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  — число продуктов термического разложения горючего сланца;

$\sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. п}}$  — калорийность энергетических продуктов, выданных агрегатом переработки горючего сланца, Гкал;

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  — число энергетических продуктов, произведенных агрегатом переработки горючего сланца;

$\sum Q_c$  — суммарная теплота сгорания переработанного горючего сланца.

Для ведения процесса термического разложения горючего сланца все установки требуют затрат электроэнергии, пара и горючего сланца. На 1 млн. т горючего сланца агрегат «Кивийли» потребляет при работе в смоляном режиме и одноступенчатом процессе 15 тыс. Гкал, при работе в режиме — 18 тыс. Гкал; при работе по варианту I — 57 тыс. Гкал; варианту IV — 78 тыс. Гкал и варианту V — 113 тыс. Гкал. Увеличение расхода энергии при многоступенчатом процессе происходит за счет потребляемого пара. Агрегат «Сланцы» требует 831 тыс. Гкал энергии главным образом за счет использования сланца для отопительных целей.

Энергетический коэффициент полезного действия агрегатов может быть рассчитан по формуле [64]

$$\eta_{\text{эн}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}} + \sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. п}}}{\sum Q_c + \sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. п}}} \cdot 100, \quad (15)$$

где

$\eta_{\text{эп}}$  — энергетический коэффициент полезного действия агрегата переработки горючего сланца, %;

$\sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}}$  — теплота сгорания продуктов термического разложения горючего сланца, Гкал;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  — число продуктов термического разложения горючего сланца;

$\sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. п}}$  — калорийность энергетических продуктов, выданных агрегатом переработки горючего сланца, Гкал;

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  — число энергетических продуктов, произведенных агрегатом переработки горючего сланца;

$\sum_{j=1}^m Q_{\text{эн. р}}$  — калорийность различных энергетических продуктов; (электроэнергия, топливо, пар), потребленных агрегатом для переработки горючего сланца, Гкал;

$\Sigma Q_c$  — суммарная теплота сгорания переработанного горючего сланца в агрегате, Гкал.

Самый высокий энергетический коэффициент полезного действия имеет агрегат «Кивиыли» при смоляном режиме работы.

Данные табл. 90 свидетельствуют о том, что условно сопоставимая себестоимость 1 Гкал тепла наиболее низкая у установки «Кивиыли» при смоляном режиме работы (вариант II). В этом варианте наибольшая доля затрат на сырье обусловлена высоким коэффициентом перехода потенциального тепла, заключенного в сланце, в продукты его переработки — 88,5%.

Для расчета текущих затрат принята отпускная цена на горючий сланец с расходом на его транспортирование и дробление.

Оба режима работы установки «Сланцы» и трехступенчатый процесс термического разложения сланца в установке «Кивиыли» имеют самый низкий удельный вес сырьевой составляющей в структуре цеховой себестоимости 1 Гкал тепла продукции. При этих же режимах химический и термический коэффициенты использования полезного ископаемого также самые низкие в сравнении с другими режимами. Это обусловило наиболее высокий уровень себестоимости 1 Гкал тепла продукции установки «Сланцы» (варианты I и II) и установки «Кивиыли» (вариант III). Доля затрат на переработку сланца в связи с меньшим переходом тепла, заключенного в сырье, в продукцию, оказывается в вариантах I и III гораздо более значительной, чем в вариантах IV и V.

Пропускная способность установок с твердым теплоносителем и коэффициент использования потенциального тепла перерабатываемого сырья зависят от характера процесса термического разло-

жения сланца. Так, установка «Сланцы» требует дополнительного тепла, для чего используется сланец. Транспортирующим агентом в ней является пар, в силу чего затраты на топливо, пар, воду составляют наибольшую долю в структуре цеховой себестоимости 1 Гкал тепла продукции.

При многоступенчатых процессах пиролиз продуктов термического разложения сланца также требует дополнительного тепла. В варианте III на энергетические затраты приходится 12,2% всех затрат в цеховой себестоимости 1 Гкал тепла продукции, в варианте IV — 16% и в варианте V — 18,2%. При совмещении термоконтактного и окислительного пиролиза в трехступенчатом процессе переработки сланца (вариант V) расходуется пара гораздо больше, чем в других вариантах переработки горючего сланца.

В результате анализа прослеживается взаимозависимость изменения затрат на сырье и энергетические средства в себестоимости 1 Гкал тепла продуктов переработки горючего сланца: чем меньше доля сырьевой составляющей, тем больше расходуется средств на различные виды энергии. Вместе с тем общая доля затрат на сырье и энергетические средства при всех вариантах переработки сланца остается примерно одинаковой.

Все эти обстоятельства определяют рост издержек производства на 1 Гкал тепла в продуктах переработки горючего сланца с повышением доли затрат на энергию на установке «Сланцы» и установке «Кивиыли» при многоступенчатых процессах.

Изменение пропускной способности установок в зависимости от температурного режима их работы обуславливает различный уровень амортизационных отчислений, затрат на содержание оборудования и текущий ремонт. Максимальная сумма этих затрат имеет место при газовом режиме работы установок термического разложения сланца.

Затраты на заработную плату при всех вариантах переработки сланца остаются примерно одинаковыми.

В сравнении с вариантом II переработки сланца в установке «Кивиыли» себестоимость 1 Гкал тепла продукции в варианте I повышается по установке «Кивиыли» на 20% и по установке «Сланцы» на 83%. Сочетание полукоксования сланца в установке «Кивиыли» с термоконтактным пиролизом среднего и тяжелого масел (вариант III) увеличивает затраты на 1 Гкал тепла продукции на 24%, с окислительным пиролизом легко-средней части парогазовой смеси (вариант IV) — на 19% и с одновременным сочетанием обоих видов пиролиза (вариант V) — на 40% в сравнении с вариантом II.

Оценка экономической эффективности вариантов в конечном счете определяется минимумом приведенных затрат. Данные о приведенных затратах на 1 Гкал тепла продукции представлены в табл. 91.

**Экономическая эффективность различных вариантов термического разложения  
горючих сланцев в установках с твердым теплоносителем**

Варианты	Приведенные затраты на 1 Гкал тепла, руб.	Годовая экономия установок с твердым теплоносителем («Кивиыли») при смоляном режиме работы
Одноступенчатый процесс:		
Вариант I (газовый режим)		
«Кивиыли» . . . . .	1,65	743,1
«Сланцы» . . . . .	2,50	2780,5
Вариант II (режим полукоксования)		
«Кивиыли» . . . . .	1,34	—
«Сланцы» . . . . .	2,58	2972,3
Двухступенчатый процесс:		
Вариант III		
«Кивиыли» . . . . .	1,69	838,9
Вариант IV		
«Кивиыли» . . . . .	1,61	674,2
Трехступенчатый процесс:		
Вариант V		
«Кивиыли» . . . . .	1,90	1342,3

Сопоставление технико-экономических показателей (см. табл. 91) позволяет сделать определенный вывод о преимуществе установки «Кивиыли» при смоляном одноступенчатом процессе термического разложения горючего сланца.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ  
НОВЫХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ШАХТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ  
И УСТАНОВОК С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ**

В последние годы Институтом сланцев в Кохтла-Ярве проведена большая работа по совершенствованию конструкции шахтных генераторов как наиболее экономичных агрегатов термического разложения горючих сланцев, освоенных в промышленных масштабах [40].

Во время балансовой проверки процесса переработки горючего сланца в генераторах с газификацией полукокса пропускная способность их была доведена до 182 т сланца в сутки. Попытки еще больше увеличить при этом процессе мощность генератора без изменения его основных размеров не увенчались успехом.

В 1965 г. были проведены балансовые испытания генератора по новому процессу — без газификации полукокса.

Результаты балансовых испытаний шахтных генераторов по новым технологическим процессам приведены в табл. 92.

Усредненные показатели балансовых испытаний шахтного генератора комбината им. В. И. Ленина при различных технологических процессах

Показатели	Варианты технологического процесса термического разложения горючего сланца	
	с газификацией полукокса	без газификации полукокса
Содержание органического вещества в горючем сланце, % . . . . .	33,5	34,7
Теплота сгорания сланца на сухую массу, ккал/кг . . . . .	3000	3110
Лабораторный выход смолы, % . . .	23,0	23,4
Суточная пропускная способность шахтного генератора, т . . . . .	182	172,3
Технический выход смолы на рабочий сланец, % . . . . .	16,2	17,53
То же, на сухой сланец, % . . . . .	17,75	19,15
Выход смолы от лабораторного выхода, % . . . . .	77,0	82,0
Выход смолы от условного органического вещества, % . . . . .	53,0	55,2
Теплота сгорания сланцевой смолы по высшему пределу, ккал/кг . . . .	9400	9440
Выход газа с 1 т рабочего сланца при 20°С, 760 мм рт. ст., м <sup>3</sup> . . . .	507	386
Выход газа с 1 т рабочего сланца при 0°С, 760 мм рт. ст., м <sup>3</sup> . . . .	473	360
Теплота сгорания газа по высшему пределу, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	865	755

Как видно из табл. 92, во время балансовых испытаний генератора без газификации полукокса перерабатывался более качественный сланец, что оказало свое влияние на повышенный выход продуктов термического разложения полезного ископаемого. Это позволило увеличить выход смолы с 1 т сухого сланца на 7,9% по сравнению с выходом смолы с 1 т при переработке его с газификацией полукокса. Однако, если условно принять качество сланца во время испытаний одинаковым (содержание органического вещества 33,5%), то выход смолы без газификации полукокса составит 18,49%, или на 4% больше, чем при процессе с газификацией полукокса.

Увеличение выхода смолы во время испытания генератора без газификации полукокса сопровождалось уменьшением отбора газа примерно на 24% по сравнению с процессом с газификацией полукокса.

Характерной особенностью технологического процесса без газификации полукокса является более мягкий температурный режим термического разложения горючего сланца. При таком

режиме основная часть воздуха подается в топочное устройство и незначительная — в газификатор.

Технологический процесс термического разложения сланца в генераторе без газификации полукокса имеет следующие преимущества в сравнении с процессом с газификацией полукокса: повышается выход жидких продуктов переработки сланца, улучшается качество сланцевой смолы за счет уменьшения выноса золы из генератора, увеличивается пропускная способность агрегата по сланцу в связи с ликвидацией газификатора и увеличением шахты полукоксования, создаются более благоприятные условия для комплексной автоматизации управления технологическим процессом, упрощается работа конденсации за счет резкого уменьшения расхода пара, улучшаются условия труда на тракте золоудаления, поскольку полукокк легче удаляется из чаши поддона генератора, чем зола.

В табл. 93 приведены данные, характеризующие полезное использование потенциального химического тепла горючего сланца в генераторах при различных технологических процессах.

Таблица 93

Усредненные балансы химического тепла при переработке сланца в генераторах на 1 кг горючего сланца на сухое вещество

Показатели	Варианты технологического процесса термического разложения горючего сланца в генераторах			
	с газификацией полукокса		без газификации полукокса	
	ккал	%	ккал	%
Приход горючий сланец . . . . .	3000	100,0	3110	100,0
Расход:				
смола . . . . .	1670	55,7	810	58,2
легкая смола (газбензин) . . . . .	162	5,4	122	3,9
газ . . . . .	448	14,9	297	9,6
Итого в полезных продуктах . . . . .	2280	76,0	2229	71,7
зола . . . . .	394	13,1	525	16,8
потери и расходы на процесс (по разности) . . . . .	326	10,9	356	11,5
Всего . . . . .	3000	100,0	3110	100,0

Недостатком технологического процесса в генераторах без газификации полукокса является снижение химического коэффициента полезного использования горючего сланца и повышенное содержание горючей массы в полукоксе. Химический коэффициент полезного использования горючего сланца при ведении технологического процесса без газификации оказывается на 5% меньше, а со-

Объем производства продуктов термического разложения горючего сланца  
в новых шахтных генераторах и установках с твердым теплоносителем  
«Кивиыли» при смоляном режиме работы

Показатели	Агрегаты термического разложения горючего сланца	
	установки с твердым теплоносителем	новые шахтные генераторы
Годовой объем перерабатываемого горючего сланца, тыс. т . . . . .	1 000	1 000
Влажность рабочего горючего сланца, % . . . . .	10,2	10,2
Содержание органического вещества в горючем сланце на сухую массу, % . . . . .	34,7	34,7
Технический выход с 1 т рабочего сланца:		
смоли, % . . . . .	16,0	17,32
газбензина, % . . . . .	1,4	—
газа, м <sup>3</sup> . . . . .	36,4	356
Выход с 1 т сухого горючего сланца:		
смоли, % . . . . .	17,8	19,29
газбензина, % . . . . .	1,56	—
газа, м <sup>3</sup> . . . . .	42	396
Годовой объем производства:		
смоли, тыс. т . . . . .	160,0	173,2
газбензина, тыс. т . . . . .	14,0	—
газа, млн. м <sup>3</sup> . . . . .	36,4	356,0
Теплота сгорания по высшему пределу:		
смоли, ккал/кг . . . . .	9 580	9 440
газбензина, ккал/кг . . . . .	11 250	—
газа, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	10 965	955
Суммарное потенциальное химическое тепло в продуктах, тыс. Гкал в том числе:	2 089,4	1 975,0
смоле . . . . .	1 532,8	1 635,0
газбензине . . . . .	157,5	—
газе . . . . .	399,1	340,0
Суммарное потенциальное химическое тепло в переработанном горючем сланце, тыс. Гкал . . . . .	2 792,8	2 792,8
Химический коэффициент полезного использования горючего сланца, % . . . . .	74,8	70,7
Распределение суммарного тепла между продуктами, %:	100,0	100,0
смолой . . . . .	73,3	82,8
газбензином . . . . .	7,6	—
газом . . . . .	19,1	17,2
Термический коэффициент полезного использования горючего сланца, % . . . . .	83,3	79,6
Энергетический к. п. д. агрегата, % . . . . .	82,3	78,9

держание органического вещества в полукоксе на 28% больше, чем при ведении технологического процесса с газификацией полукокса.

В настоящее время Институтом сланцев совместно с комбинатом им. В. И. Ленина в Кохтла-Ярве разработана конструкция нового шахтного генератора с поперечным потоком теплоносителя с пропускной способностью 500 т горючего сланца в сутки.

Для выявления технико-экономической эффективности различных технологических процессов термического разложения горючего сланца произведено сопоставление показателей работы установок с твердым теплоносителем и новых шахтных генераторов. В табл. 94 приведены данные о годовом объеме продукции цехов с условной мощностью 1 млн. т горючего сланца, оборудованных различными агрегатами переработки полезного ископаемого.

Данные табл. 94 показывают, что в новых шахтных генераторах выход жидких продуктов всего лишь на 0,4% меньше, чем в установках с твердым теплоносителем. Выход газа в пересчете на стандартную калорийность ( $Q_v = 4000$  ккал/м<sup>3</sup>) в шахтных генераторах оказывается на 11,8% меньше.

Незначительные различия в выходе продуктов термического разложения горючего сланца обусловили довольно высокий химический коэффициент использования полезного ископаемого у шахтных генераторов. Для установок с твердым теплоносителем этот показатель при балансовых испытаниях опытно-промышленной установки на комбинате «Кивиыли» составил 78,8%.

Качественная характеристика сланцевой смолы, выдаваемой сравнимаемыми агрегатами переработки горючего сланца, приведена в табл. 95.

Данные табл. 95 свидетельствуют о том, что смола, выдаваемая установками с твердым теплоносителем, содержит большее количество легких фракций, необходимых для сланцехимии.

Газ, получаемый в установках с твердым теплоносителем, является ценным сырьем для химического синтеза, о чем свидетельствуют данные табл. 96.

В газе, получаемом в установках с твердым теплоносителем, на долю углеводов приходится 67,3%. Газ, получаемый в шахтных генераторах, на 84,1% насыщен балластными компонентами [68, 69]. В газе, получаемом в обоих агрегатах, сероводород отсутствует.

Данные об объеме капитальных вложений на строительство цехов с условной мощностью 1 млн. т горючего сланца приведены в табл. 97.

Как видно из табл. 97, удельные капитальные вложения на 1 т переработанного горючего сланца по цеху шахтных генераторов на 8% и капиталоемкость 1 Гкал тепла продукции на 13% выше, чем по цеху установок с твердым теплоносителем.

В табл. 98 приведена условно сопоставимая цеховая себестоимость 1 Гкал тепла продукции.

Характеристика сырой смолы термического разложения горючего сланца в установках с твердым теплоносителем и новых шахтных генераторах (по балансовым испытаниям)

Показатели	Агрегаты термического разложения горючего сланца	
	установка с твердым теплоносителем	новый шахтный генератор
Плотность при 20° С . . . . .	0,966—0,970	1,0046
Влажность, % . . . . .	0,4	5,7
Условная вязкость при 75° С . . . . .	1,27—1,46	2,7
Механические примеси, % . . . . .	0,8—1,0	1,03
Начало кипения, °С . . . . .	67—76	200
Выкипает (объемная доля) %, до		
100° С . . . . .	2,0	—
150° С . . . . .	12,0	—
200° С . . . . .	24,0	—
220° С . . . . .	—	3,0
250° С . . . . .	33,0	8,0
300° С . . . . .	44,0	21,0
350° С . . . . .	60,0	39,0
360° С . . . . .	75,0	48,0
Суммарные фенолы (массовые доли), % . . . . .	19,3	26,9
Элементарный состав, %:	84,80	79,85
С . . . . .	9,75	9,99
Н . . . . .	0,90	0,69
О+N (по разности) . . . . .	4,55	9,47
Теплота сгорания по высшему пределу, ккал/кг . . . . .	9580	9440

Таблица 96

Характеристика газа термического разложения горючего сланца в установках с твердым теплоносителем и новых шахтных генераторах (по балансовым испытаниям)

Показатели	Агрегаты термического разложения горючего сланца	
	установка с твердым теплоносителем	новый шахтный генератор
Содержание в газе компонентов		
сумма олефинов (объемная доля), %:	33,8	0,80
в том числе:		
этилен . . . . .	12,9	0,41
пропилен . . . . .	9,6	0,27
бутилен+С <sub>5</sub> . . . . .	11,3	0,12
сумма парафинов (объемная доля), %:	33,5	1,90
в том числе:		
метан . . . . .	18,5	1,45
этан . . . . .	8,2	0,29

Показатели	Агрегаты термического разложения горючего сланца	
	установка с твердым теплоносителем	новый шахтный генератор
пропан . . . . .	2,8	0,10
бутан+С <sub>5</sub> . . . . .	4,0	0,06
горючий остаток (объемная доля), %:	26,5	13,2
в том числе:		
окись углерода . . . . .	9,7	6,4
водород . . . . .	16,8	6,8
Балластные компоненты (объемная доля), %:	6,2	84,1
в том числе:		
двуокись углерода . . . . .	1,9	19,3
кислород . . . . .	0,4	0,3
азот . . . . .	3,9	64,5
сероводород . . . . .	Следы	Следы
Теплота сгорания по высшему пре- делу, ккал/м <sup>3</sup> . . . . .	10.965	955

Таблица 97

**Ориентировочные капитальные вложения на строительство  
сланцеперерабатывающих цехов с условной мощностью 1 млн. т  
горючего сланца**

Показатели	Агрегаты термического разложения горючего сланца	
	установка с твердым теплоносителем	новый шахтный генератор
Пропускная способность одного агре- гата по горючему сланцу в сут- ки, т . . . . .	1000	500
Коэффициент использования кален- дарного фонда времени, % . . . . .	82,5	90,4
Число агрегатов, необходимое для переработки 1 млн. т горючего сланца . . . . .	3	6
Ориентировочные капитальные вло- жения (подготовка сланца, перера- ботка, конденсация, золоудаление), млн. руб. . . . .	2,48	2,65
в том числе:		
здания и сооружения . . . . .	0,62	0,79
оборудование . . . . .	1,86	1,86
Удельные капитальные вложения на 1 т горючего сланца, руб. . . . .	2,48	2,65
Капиталоемкость 1 Гкал тепла про- дукции, руб. . . . .	1,19	1,34

Условно сопоставимая цеховая себестоимость 1 Гкал тепла продукции, полученной в установках с твердым теплоносителем и новых шахтных генераторах

Статья затрат	Агрегаты термического разложения горючего сланца			
	установка с твердым теплоносителем		новый шахтный генератор	
	руб. — коп.	%	руб. — коп.	%
Сырье . . . . .	1—48	78,7	1—64	79,6
Электроэнергия . . . . .	0—10	5,3	0—09	4,4
Пар . . . . .	0—01	0,5	0—02	0,9
Вода . . . . .	0—02	1,1	0—01	0,5
Зарботная плата с отчислениями на социальное страхование . . . . .	0—10	5,4	0—12	5,8
Амортизация . . . . .	0—09	4,8	0—10	4,9
Содержание оборудования и текущий ремонт . . . . .	0—06	3,2	0—06	2,9
Цеховые расходы . . . . .	0—02	1,0	0—02	1,0
Цеховая себестоимость 1 Гкал тепла продукции . . . . .	1—88	100,0	2—06	100,0

Из табл. 98 видно, что затраты на производство 1 Гкал тепла продукции в цехе новых шахтных генераторов оказываются на 10% выше, чем в цехе установок с твердым теплоносителем.

Обращает внимание значительно меньший расход электроэнергии и воды в цехе шахтных генераторов и более высокий расход пара, чем в цехе установок с твердым теплоносителем, что обусловлено характером технологических процессов термического разложения горючего сланца.

Приведенные затраты на 1 Гкал тепла продукции составляют для цеха установок с твердым теплоносителем

$$Z_{\text{ут. т}} = 1,88 + 0,12 \cdot 1,19 = 2,02 \text{ руб.}$$

и для цеха шахтных генераторов.

$$Z_{\text{ш. г}} = 2,06 + 0,12 \cdot 1,34 = 2,22 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты на 1 Гкал тепла продукции в цехе установок с твердым теплоносителем оказываются на 0,2 руб. меньше, чем в цехе шахтных генераторов. Годовой экономический эффект переработки 1 млн. т горючего сланца в цехе установок с твердым теплоносителем составляет

$$Z_{\text{ут. т}} = 2089400 \cdot 0,2 = 417,9 \text{ тыс. руб.}$$

При переработке горючего сланца в установках с твердым теплоносителем избыточное тепло процесса может быть использо-

вано в котлах-утилизаторах для производства водяного пара. Годовой объем пара с 1 млн. т переработанного горючего сланца составит 228,8 тыс. Гкал.

При этом условно сопоставимая цеховая себестоимость 1 Гкал тепла продукции цеха установок с твердым теплоносителем понижается с 1,88 до 1,76 руб. Приведенные затраты в таком случае, оказываются равными

$$З_{ут. т} = 1,76 + 0,12 \cdot 1,20 = 1,90 \text{ руб.}$$

При переработке горючего сланца в новых шахтных генераторах тепло с полукоксом теряется. Институт сланцев предлагает сжигать под котлами-утилизаторами полукоксы крупностью до 25 мм с целью получения водяного пара. В процессе грохочения выход фракции до 25 мм от всей массы полукокса достигает примерно 55%, или 0,374 т на 1 т сухого сланца, переработанного в шахтных генераторах. Теплота сгорания этой фракции полукокса равна 1065 ккал/кг. Физическое тепло полукокса — 450°С. В цехе шахтных генераторов с 1 млн. т переработанного горючего сланца может быть получено примерно 248 тыс. Гкал тепла.

Производство пара снижает текущие затраты на 1 Гкал тепла продукции цеха шахтных генераторов с 2,06 до 1,90 руб. Приведенные затраты на 1 Гкал тепла при этом составляют

$$З_{ш. г} = 1,90 + 0,12 \cdot 1,35 = 2,06 \text{ руб.}$$

Разница в приведенных затратах на 1 Гкал тепла продукции цеха установок с твердым теплоносителем составляет 0,16 руб.

Годовой экономический эффект при этом будет равен

$$Э_{ут. т} = 2\,318\,200 \cdot 0,16 = 370,9 \text{ тыс. руб.}$$

Технико-экономический анализ показателей работы установок с твердым теплоносителем и новых шахтных генераторов повышенной мощности свидетельствует о том, что в сопоставимых условиях больший эффект достигается при переработке горючего сланца в установках с твердым теплоносителем.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС  
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

---

Глава I

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ  
И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Обзор развития добычи и переработки горючих сланцев свидетельствует о том, что в настоящее время сланцевая промышленность в западноевропейских странах и в Америке переживает известный кризис. Во многих странах добыча и переработка горючих сланцев прекращена, а в ряде стран, где сланцевая промышленность существует, наблюдается спад ее активности. Основные факторы, обусловившие подобное состояние, следующие:

во-первых, все еще недостаточно высок уровень технологического развития сланцевой промышленности. Основными в этой отрасли являются малоинтенсивные агрегаты, перерабатывающие кусковой сланец, в результате чего термическое разложение органического вещества в сланце длится часами. Агрегаты громоздки и требуют больших вложений капитала. Обслуживанием агрегатов занимается довольно большое число промышленно-производственного персонала, что вызывает значительные затраты на оплату рабочей силы. В ряде европейских стран горючий сланец обладает невысоким качеством и залегают не всегда в благоприятных горно-геологических условиях;

во-вторых, важную роль в развитии сланцевой промышленности играют конкурирующие с ней отрасли: нефтяная и газовая. Опыт переработки сланца в зарубежных странах свидетельствует о том, что производство сланцевой смолы оказывалось невыгодным всякий раз, как только на мировом топливном рынке укрепляла свои позиции нефть.

Современный этап развития зарубежной энергетики характеризуется истощением запасов нефти. Ее приходится добывать со все более глубинных горизонтов и в труднодоступных районах, что требует увеличения капитальных вложений [131].

В связи со сложившейся конъюнктурой на мировом нефтяном рынке в ряде стран в последние годы наблюдается оживление

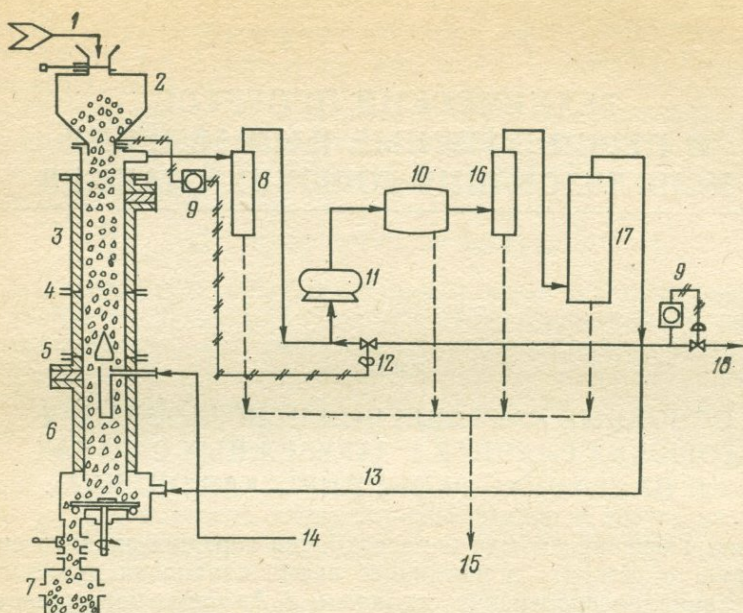


Рис. 45. Схема газосжигательного процесса переработки горючего сланца [96]:

1 — горючий сланец; 2 — загрузочная коробка; 3 — зона сушки и нагрева горючего сланца; 4 — зона перегонки; 5 — зона дожигания полукокса; 6 — зона нагревания обратного газа; 7 — выгрузчик твердого остатка; 8 — сепаратор сланцевой смолы; 9 — прибор, регистрирующий давление; 10 — угнетатель пульсации; 11 — газодувка; 12 — обход; 13 — обратный газ; 14 — воздух; 15 — товарная смола; 16 — сепаратор смолы; 17 — электростатический фильтр; 18 — товарный газ

интереса к горючим сланцам. Особенно это относится к США, где в связи с ростом потребления нефтепродуктов современная добыча нефти уже не покрывает запросов нефтепереработки и приходится ввозить ее в страну десятками миллионов тонн. Перевозка нефти из стран Малой Азии также требует больших расходов металла, что удорожает и усложняет ее доставку. Вместе с тем одна только формация Грин-Ривер на западе страны вмещает запасы сланцевой смолы от 300 до 600 млрд. т [36]. Горным Бюро США проделана большая работа по определению направлений использования горючих сланцев, изысканию наиболее эффективных методов их добычи и переработки.

Наиболее прогрессивным методом термического разложения горючих сланцев в США, по данным Горного Бюро США, считается газосжигательный [96]. Технологической основой его служит вертикальная реторта (рис. 45) для переработки сланца. Реторта облицована внутри огнеупорами. По ней сверху вниз под действием силы тяжести движется дробленый горючий сланец. Из загрузочной коробки сланец поступает в зону сушки, где твердые частицы

его нагреваются почти до температуры перегонки за счет тепла газа, поднимающегося из нижней зоны. Затем нагретый горючий сланец спускается вниз в зону перегонки, в которой происходит термическое разложение органического вещества и выделение смоляных паров и газа. Углеродистый остаток от этой реакции входит в состав полукокса. Последний направляется в зону горения. Тепло, необходимое для поддержания технологического процесса, получается здесь за счет совместного сжигания полукокса и обратного газа.

Из зоны горения сланцевая зола сходит вниз через зону возврата тепла, где ее тепло передается поднимающемуся потоку обратного газа. Охлажденная зола выбрасывается из реторты механически. Вблизи от центра реторты расположена горелка, в которую вводится воздух для сжигания обратного газа, нагретого горячей золой. В результате реакции горения образуется горячий топочный газ, который смешивается с избыточным обратным газом и проходит через зону перегонки, нагревая при этом горючий сланец до температуры, необходимой для термической реакции.

Парогазовая смесь из зоны перегонки поднимается в зону сушки, где она контактирует в противопотоке с поступающим в реторту сырым сланцем. В этой зоне одновременно с подсушкой сланца происходит охлаждение парогазовой смеси и частичная конденсация паров смолы с образованием смоляного мелкодисперсного тумана. Охлажденная парогазовая смесь выводится из реторты в верхней ее части в сепаратор смолы. В нем улавливаются капельки смолы, а газ поступает дальше в газодувку. После нее газ под высоким давлением делится на три потока: один (газ-разбавитель) вместе с воздухом вводится в центр реторты, другой (обратный газ) подается вниз реторты, третий (чистый газ—продукт) выводится из системы.

Поскольку опытная реторта имела пропускную способность 136 т горючего сланца в сутки, то одновременно испытывалась более мощная вертикальная реторта, разработанная «Юнион ойл компани оф Калифорния». Отличительной особенностью этой реторты является нижний отбор продуктов разложения и движение сланца по реторте снизу вверх с помощью уникального загрузочного устройства — скального насоса. Такое решение вызвано стремлением полностью отказаться от потребления охлаждающей воды, ресурсы которой в штате Колорадо практически отсутствуют. Парогазовая смесь охлаждается сланцем, а сконденсировавшаяся смола стекает вниз реторты. Зола из верхней части реторты удаляется и разрыхляется вращающимися скребками, охлаждаемыми расплавленным натрием. Установка полностью автоматизирована. Пропускная способность ее за полугодовой период работы составляла 907—1088 т горючего сланца в сутки. В настоящее время разработан проект подобной установки мощностью 3000 т/сут.

Ориентировочные прогнозы показывают, что газосжигательный процесс является высокоэкономичным. Расчет производился

для специального комплекса предприятий, включающего добычу, термическую переработку горючего сланца и производство товарной топливной и химической продукции [97]. Выемка горючего сланца осуществляется методом «подземного карьера». Завод оснащен газосжигательными ретортами с пропускной способностью 7736 т горючего сланца в сутки. Одна реторта за сутки выдает 916 м<sup>3</sup> смолы и 1449,2 тыс. м<sup>3</sup> газа. Мощность завода — 6316 м<sup>3</sup> смолы в сутки.

С сланцеперегонного завода смолу по трубопроводу направляют на смолеперерабатывающий завод близ Дебека, штат Колорадо. На заводе сланцевую смолу загружают в агрегат замедленного коксования, где она разлагается на кокс и пары различной летучести, разделяемые на фракционной колонне. Нижний продукт подают обратно в коксовые камеры, а верхний после охлаждения и депропанализации, представляющий собой дистиллят коксования, подвергают гидрокрекингу. Гидрированный продукт содержит около 60% бензина. Установка первичной перегонки сланцевой смолы в Дебеке должна давать в сутки гидрированного продукта 5568 м<sup>3</sup>, кокса — 956 т, аммиака — 84,4 т, серы — 39,7 т, избыточного газа — 88 795 м<sup>3</sup>.

Гидрированный продукт по трубопроводу диаметром 250 мм перекачивается в Форт Ларами, штат Вайоминг, расположенный на расстоянии 650 км от Дебека, где имеются емкости для хранения 11-дневного поступления сырья. Из Форта Ларами гидрированный продукт транспортируется по трубопроводу на расстояние около 1300 км в Сан-Луис, штат Миссури. Здесь гидрированный продукт подается в атмосферную дистилляционную установку, где разделяется на три фракции, которые затем подвергаются дальнейшей обработке.

Смолеперегонный завод в Сан-Луисе выдает в сутки: бензина (октановое число 100 при условии смешения с тетраэтиловым свинцом в количестве 3 мл/галон) — 2545 м<sup>3</sup>, высококачественного дизельного топлива с цетановым числом 58 — 2227 м<sup>3</sup>, сжиженного газа — 473 м<sup>3</sup>, остаточного газа — 168,78 тыс. м<sup>3</sup> (суммарное содержание потенциального тепла 2570 млн. британских тепловых единиц). В табл. 99 приведены данные, характеризующие общие вложения капитала и годовые эксплуатационные расходы по стадиям производства всего промышленного комплекса [97].

Как видно, общие затраты составляют 185,48 млн. долл., и годовые эксплуатационные расходы — 40 млн. долл.

Из всех стадий производства наиболее капиталоемкой является первичная обработка сланцевой смолы на установке в Колорадо, а наибольшие эксплуатационные расходы связаны с добычей горючего сланца. Указанные средние удельные затраты на производство бензина и дизельного топлива (22,96 долл. на 1 м<sup>3</sup>) сопоставимы со средневзвешенной ценой этих продуктов, составляющей 32,40 долл. за 1 м<sup>3</sup>. Однако эти показатели не характеризуют еще прибыльности производства, поскольку они не учитывают

Общая потребность капитала, годовые эксплуатационные затраты, средние суммарные затраты в расчете на 1 т добытого горючего сланца и на 1 м<sup>3</sup> получаемой продукции, при переработке 54 700 т колорадских сланцев в сутки применительно к 1966 г. [97] (в тыс. долл.)

Показатели	Стадии производства						Всего
	добыча сланца	переработка сланца	первичная переработка смолы в Колорадо	транспортиро- вание смолы по трубопро- воду до Форта Ларамии	транспортиро- вание смолы по трубопроводу	конечная переработка в Сан-Луисе	
<b>Капитальные вложения</b>							
Оборудование . . . . .	17 585,2	32 688,4	39 141,6	9 341,6	—	14 584,3	113 341,1
Устройство и средства обслужи- вания . . . . .	—	7 360,0	14 222,4	—	—	6 114,6	27 697,0
Исходный катализатор . . . .	—	—	3 124,0	—	—	2 309,1	5 433,1
Плата за проценты на капита- л в период строительства и пусковые расходы . . . .	1 480,0	3 369,3	4 752,0	786,2	—	1 936,0	12 323,6
Оборотный капитал . . . . .	15 889,7	3 445,4	3 949,7	304,2	—	3 098,4	25 687,4
Общая потребность капитала	34 955,0	46 863,1	65 189,7	10 432,0	—	28 042,4	185 482,2
<b>Годовые эксплуатационные расходы</b>							
Энергия на транспортирование смолы . . . . .	—	—	—	210,2	—	—	210,2
Свежая вода (Сан-Луис) . . . .	—	—	—	—	—	47,5	47,5
Налог за пользование водой (Колорадо) . . . . .	3,7	1,0	29,5	—	—	—	34,2
Энергия (Сан-Луис) . . . . .	—	—	—	—	—	554,4	554,4
Катализаторы и химикаты . . . .	—	2,0	1 132,7	—	—	3 395,2	4 529,9
Плата за пользование трубо- проводом . . . . .	—	—	—	—	3 962,5	—	3 962,5
Заработная плата основного персонала . . . . .	3 008,5	748,3	984,6	111,7	—	338,4	5 191,5

Показатели	Стадии производства						Всего
	добыча сланца	переработка сланца	первичная переработка смолы в Колорадо	транспортиро- вание смолы по трубопро- воду до Форта Ларам	транспортиро- вание смолы по трубопроводу	конечная переработка в Сан-Луисе	
Заработная плата вспомога- тельного персонала . . . . .	774,4	372,9	377,7	—	—	485,0	2 010,0
Ремонтные материалы . . . . .	736,6	335,1	339,9	—	—	434,2	1 845,8
Накладные расходы по зараб- отной плате . . . . .	945,7	280,3	340,6	27,9	—	205,9	1 800,4
Материалы для горных раз- работок . . . . .	3 960,0	—	—	—	—	—	3 960,0
Эксплуатационные материалы	—	194,8	234,2	14,3	—	142,9	586,2
Административные и общие накладные расходы . . . . .	624,1	240,2	184,7	10,5	—	483,0	1 542,5
Налоги и страхование . . . .	409,0	891,8	1257,8	208,0	—	536,9	3 303,5
Амортизация . . . . .	1 851,0	2713,6	3827,6	473,7	—	1559,0	10 424,9
<b>Итого эксплуатационные расходы . . . . .</b>	<b>12 313,0</b>	<b>5780,0</b>	<b>8709,3</b>	<b>1056,3</b>	<b>3962,5</b>	<b>8182,4</b>	<b>40 003,5</b>
<b>Итого затраты:</b>							
в расчете на 1 т добыто- го сланца . . . . .	0,63	0,29	0,44	0,05	0,20	0,41	2,01
в расчете на 1 м <sup>3</sup> сырой сланцевой смолы . . . . .	5,28	2,45	3,71	0,44	1,70	3,46	17,04
в расчете на 1 м <sup>3</sup> бензина и дизельного топлива . . . . .	7,04	3,33	4,97	0,63	2,26	4,72	22,96

дополнительного дохода от реализации побочной продукции, стоимость которой входит в сумму производственных затрат. В табл. 100 [97] приведены данные, характеризующие цены на реализацию и стоимость продукции за год, составляющей 64,94 млн. долл. Финансовый результат представлен цифрами табл. 101 [97]. Как видно из табл. 101, чистая прибыль от производства за вычетом налогов составляет в год 11,54 млн. долл., а годовая сумма денежного дохода — 23,82 млн. долл. в год. Норма прибыли равняется примерно 10%. Для 1967 г. эта норма принимается как минимальная. По уточненным расчетам норма прибыли может быть увеличена до 12—15% [97].

Таблица 100

Цены на реализацию и стоимость продукции, получаемой при переработке 54 700 т колорадских горючих сланцев в сутки, применительно к 1966 г. [97]

Продукция	Суточный выпуск продукции в натуральных единицах	Цена единицы, долл.	Стоимость суточной продукции, долл.
Избыточный газ газосжигательных реторт, теплота сгорания 44 735 британских тепловых единиц на 1 м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> (шт. Колорадо) . . . . .	88 975	0,40 за 1 млн. британских тепловых единиц	1 952
Избыточный газ переработки смолы, теплота сгорания 15 230 британских тепловых единиц на 1 м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> (шт. Миссури) . . . . .	168 781	0,40 за 1 млн. британских тепловых единиц	1 028
Дизельное топливо, м <sup>3</sup> . . . . .	2 227,0	27,07	60 304
Жидкий газ, м <sup>3</sup> . . . . .	472,9	13,21	6 245
Бензин (премиальный), м <sup>3</sup> . . . . .	2 545,0	35,00	89 079
Кокс, т . . . . .	955,5	10,48	10 008
Аммиак, т . . . . .	84,4	101,43	8 565
Сера, т . . . . .	39,7	27,56	1 094
Всего стоимость продукции, долл.:			
за сутки . . . . .	—	—	177 915
за год . . . . .	—	—	64 939 000

В связи с тем, что термическая переработка горючего сланца в современных агрегатах является наиболее капиталоемкой,

Анализ финансовых показателей добычи и переработки колорадских горючих сланцев применительно к 1966 г. (производственная мощность предприятия 54 700 т сланца в сутки) [97]

Показатели	Величина показателя
Общие капитальные вложения, тыс. долл. . . . .	185 482,2
Стоимость реализуемой продукции, тыс. долл. за год . . . . .	64 939,0
Годовые эксплуатационные расходы, тыс. долл. . . . .	40 003,5
Валовой доход, тыс. долл. . . . .	24 935,5
Резерв на истощение недр, тыс. долл. . . . .	1 848,8
Облагаемый налогом доход, тыс. долл. . . . .	23 086,7
Федеральный подоходный налог (предполагаемая норма налога 50%), тыс. долл. . . . .	11 543,35
Чистый доход (за вычетом подоходного налога), тыс. долл. . . . .	11 543,35
Амортизационные отчисления за год, тыс. долл. . . . .	10 424,9
Резерв на истощение недр, тыс. долл. . . . .	1 848,8
Годовая сумма денежного прихода, тыс. долл. . . . .	23 817,05
Дисконтированная норма прибыли (по денежному приходу), подсчитанная проф. Соломоном по данным правительствен- ного исследования, % . . . . .	9,84
Возможный диапазон дисконтированной нормы прибыли с учетом сокращения размера подоходного налога за счет корректировки данных правительственного исследования в направлении сокращений капитальных вложений, а также уточнения расходов и амортизации, % . . . . .	12—15

за рубежом проводят исследования, направленные на удешевление производства смолы. В ФРГ фирмой «Лурги» разработаны два новых процесса, применимых главным образом для переработки мелкозернистого горючего сланца. Один из этих способов известен под названием процесс Рорбах-Лурги и другой — Лурги-Рургаз (ЛР — процесс).

Процесс Лурги-Рургаз разработан совместно фирмами «Лурги Гезельшафт фюр Верметехник» (Франкфурт-на-Майне) и «Рургаз» [86]. Одной из особенностей этого процесса является использование в качестве теплоносителя горячей сланцевой золы, если по размеру частиц и их прочности она оказывается пригодной для этой цели. Другой — одновременный нагрев и пневматический транспорт твердого теплоносителя, благодаря чему отпадает необходимость в отдельной системе нагрева. Когда твердый теплоноситель оказывается нагретым до заданной температуры, он непосредственно контактирует с мелкозернистым сланцем. На рис. 46 представлена принципиальная схема технологического процесса Лурги-Рургаз.

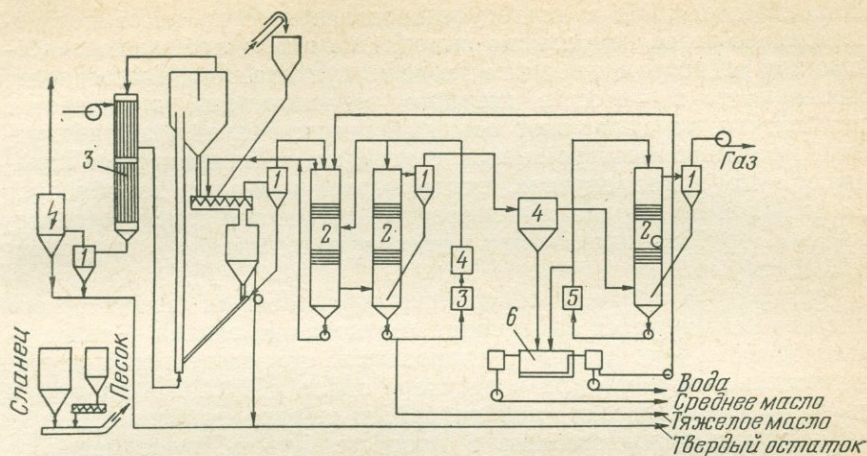


Рис. 46. Технологическая схема установки Лурги—Рургаз для горючих сланцев, измельченных в средней и высокой степени (по Р. Раммлеру):

1 — горячий циклон; 2 — скруббер; 3 — котел-утилизатор; 4 — воздушный холодильник; 5 — трубчатый холодильник; 6 — отстойник

Из бункера сланцевая мелочь и нагретый твердый теплоноситель подаются смесителем в реактор, где мелкие зерна горючего сланца подвергаются термической обработке путем контактирования с горячей сланцевой золой. Благодаря непосредственному контакту между сланцем и твердым теплоносителем, а также большой поверхности нагрева теплообмен происходит с очень высокой скоростью в течение нескольких секунд.

Парогазовая смесь выводится из процесса через верх реактора и направляется в горячий циклон, в котором происходит обеспыливание смоляных паров. Затем парогазовый продукт реакции разделения подается в конденсационную установку для последующей обработки. Из нижней части реактора эвакуируемая смесь полукочка и золы непрерывно поступает в пневмоподъемник. В пневмоподъемнике смесь твердого теплоносителя и полукочка одновременно поднимается и нагревается газами сгорания, образующимися в пневмоподъемнике при догазовке полукочка. В том случае, если органического вещества в полукочке оказывается недостаточно для покрытия потребности в тепле, применяется подача в нижнюю часть пневмоподъемника дополнительного количества топлива.

Газы сгорания отделяют от твердых частиц золы в специальном бункере, расположенном в верхней части пневмоподъемника. Дополнительно газы очищаются от пыли в циклоне и подаются на установку регенерации тепла и удаления оставшейся пыли, а затем выбрасываются в атмосферу. Твердые частицы собираются в нижней части бункера и непрерывно возвращаются в реактор для обеспечения замкнутого цикла. Для предотвращения образо-

вания избытка золы в период технологического процесса некоторое количество ее непрерывно выводят из цикла либо непосредственно под реактором, либо на выходе из бункера. Когда материала, используемого в качестве твердого теплоносителя, оказывается недостаточно, то добавляют обычный песок. Результаты эксплуатации промышленных установок с твердым теплоносителем показывают, что в тех случаях, когда горючий сланец не образует остатка, пригодного для использования в качестве твердого теплоносителя, требуется добавлять песок в количестве 1% переработанного сырья.

Температура процесса термического разложения органического вещества регулируется изменением соотношения сланец — твердый теплоноситель. Чем больше теплоносителя, тем выше температура. Оптимальная температура в реакторе около 530°С. Выход смолы при этом достигает 93% лабораторного выхода по Фишеру.

Благодаря использованию в процессе Лурги-Рургаз твердого теплоносителя газ оказывается не разбавленным продуктами горения. В зависимости от содержания органического вещества выход газа при температуре в реакторе около 500°С составляет 2—4% массы сланца; теплота сгорания газа — около 10 000 ккал/м<sup>3</sup>. Потребность промышленной установки с твердым теплоносителем в топливе соответствует приблизительно 250 ккал на 1 кг перерабатываемого горючего сланца.

Сложным в процессе Лурги-Рургаз является предотвращение проникновения значительных количеств пыли в конденсационную систему. Как показывает опыт промышленной эксплуатации установок с твердым теплоносителем, наилучшие результаты при соответствующих температурах достигаются при удалении пыли из парогазовой смеси с помощью высокоэффективных циклонов с последующим центрифугированием смолы.

Положительно влияет на уменьшение зольности смолы фракционная конденсация, при конденсации пыль осаждается в наиболее тяжелой фракции смолы, которая может быть использована в пневмоподъемнике в качестве дополнительного топлива или возвращена в смеситель для повторной перегонки. В последнем случае при пиролизе пылесодержащей тяжелой фракции происходит образование твердых частиц большого размера, которые отделяются при вторичном прохождении через циклон. Направление запыленной тяжелой фракции на пиролиз несколько снижает выход смолы, но это компенсируется увеличением выхода легких фракций — более ценного продукта.

Самая крупная установка с твердым теплоносителем может перерабатывать до 200 т сланцевой мелочи в час. Теоретически доказана возможность сооружения еще более мощных установок.

Исходя из цен, существовавших в ФРГ в 1968 г., установка с твердым теплоносителем с пропускной способностью 5000 т мелкозернистого сланца в сутки будет стоить примерно 16 млн. марок. Эта стоимость относится к полностью смонтированной установке.

В нее входит все оборудование, включая отделение улавливания газового бензина из газа. Стоимость смолы может быть исчислена, исходя из эксплуатационных расходов, рассчитанных на основе цен, существовавших в ФРГ в 1968 г. Расчет приведен в табл. 102.

Таблица 102

Экономические результаты термического разложения горючего сланца с применением процесса Лурги-Рургаз для установки мощностью 5000 т/сут, рассчитанные на основе цен 1968 г. в ФРГ [86]

Показатели	Величина показателя
Постоянные издержки на 1 т сырья, марок . . . . .	1,70
В том числе амортизация, % . . . . .	6,0
процент (на капитал) . . . . .	6,0
обслуживание и ремонт, % . . . . .	3,5
налоги, страхование, % . . . . .	1,0
Всего от капиталовложений, % . . . . .	16,5
Вспомогательные материалы на 1 т сырья (электроэнергия, вода), марок . . . . .	0,70
Зарплата персонала (включая администрацию), марок . . . . .	0,40
Размещение отработанного сланца, марок . . . . .	0,90
Итого эксплуатационные расходы на 1 т сырья, марок . . . . .	3,70
Прибыль от побочных продуктов на 1 т сырья, марок . . . . .	3,70
В том числе	
газ (оцениваемый) . . . . .	9,0
пар, получаемый за счет утилизации тепла (оцениваемый) . . . . .	6,0

Как видно из табл. 102, эксплуатационные расходы покрываются прибылью за счет получения побочных продуктов: газа и пара в процессе утилизации избыточного тепла. Следовательно, стоимость сланцевой смолы фактически эквивалентна затратам на добычу, подготовку и доставку горючего сланца на установку с твердым теплоносителем. Вместе с тем необходимо отметить, что если пропускная способность установки сможет быть удвоена или будут работать параллельно несколько установок по 5000 т/сут, то эксплуатационные расходы могут быть значительно снижены.

Стоимость сланцевой смолы зависит также от содержания органического вещества в перерабатываемом сланце. Чем качественнее переработка горючего сланца в установках, тем больше выход смолы и ниже ее себестоимость.

Накопленный опыт переработки горючих сланцев в наземных установках различных систем свидетельствует о том, что на себестоимость смолы переносятся расходы, связанные с добычей,

подготовкой и транспортированием сырья, достигающие примерно 60—70% всех затрат. Кроме того, при добыче остается под землей значительное количество горючего сланца. Например, камерно-столбовая выемка горючего сланца позволяет извлечь не более 75% полезного ископаемого. Можно ожидать, что выход горючих сланцев снизится в еще большей мере при разработке более глубоких и более мощных залежей. Дополнительные потери горючего сланца имеют место, кроме того, при дроблении и грохочении его, а также в самом процессе сухой перегонки. Как видно, в случае разработки глубоких и мощных пластов обычными методами выход горючего сланца может снизиться примерно до 50%. Все это выдвинуло проблему производства смолы непосредственно в сланцевом слое, минуя добычу полезного ископаемого.

Подземный метод перегонки сланца кроме исключения добычи из схемы имеет некоторые другие преимущества перед наземным: исчезает необходимость в уборке громадного количества коксоугольного остатка. Этот метод можно применять на месторождениях с различной мощностью пластов и качеством горючих сланцев, независимо от толщины покрывающих пород.

Успех любого метода подземной перегонки зависит от необходимой для потоков газа проницаемости, которая существует в пласте горючего сланца или может быть создана. В связи с этим Горным Бюро США вот уже более 10 лет изучаются методы создания проницаемости пласта горючего сланца. При этом было опробовано использование токов высокого напряжения для рыхления сланцевого пласта на определенных участках, приблизительно параллельных поверхности. Полевые опыты были проведены на месторождении Вайоминг в горизонтальных скважинах заброшенного разведочного туннеля, недалеко от Грин-Ривер, и в вертикальных скважинах, близ Рок-Спрингс. Цель опытов состояла в том, чтобы установить, действует ли ток высокого напряжения на пласт горючего сланца под давлением вскрышных пород так же, как и на блоки в лабораторных условиях, свободных от давления [111]. Во время полевых испытаний этого метода напряжение на электродах достигало 34 500 В, а начальное электросопротивление — 100 тыс. Ом.

Второй метод, который изучался на том же участке месторождения Вайоминг, состоял в том, чтобы разрушить пласт с помощью химических взрывчатых веществ. Цель опытов — установить, можно ли вызвать детонацию и распространение взрыва в тонкой пленке жидкого нитроглицерина, введенного в горизонтальную трещину или впитанного в пористые породы, как, например, в песчаники. Проведенные опыты показали, что детонация и распространение взрыва в нитроглицериновых взрывчатых веществах могут происходить в полостях с максимальной толщиной 0,8 мм и в пустотах, заполненных песком.

Третий метод предусматривает гидравлическое давление для создания разрыва пласта.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что опробованные методы разрушения пласта оказываются применимыми при разработке относительно маломощных залежей горючих сланцев. Для глубоких и мощных сланцевых пластов они оказываются нецелесообразными и неэкономичными. Перспективным в таких случаях считается применение подземных ядерных взрывов [60].

Проблемой использования ядерных взрывов для разрыхления сланцевого пласта Горное Бюро США начало заниматься с 1958 г. В 1966 г. ряд компаний образовали фирму «КЕР Геонуклеар корпорация», которая вошла в контакт с нефтяной и другими отраслями промышленности, заинтересованными в проведении опытов по подземной перегонке горючих сланцев с помощью ядерных взрывов по проекту Бронко. По этому проекту предусматривалось проведение полностью закрытого ядерного взрыва в пласте горючего сланца формации Грин-Ривер на глубине 900 м. Взрыв должен был создать трубку, содержащую примерно 1,15 млн. т разрыхленного горючего сланца. После взрыва должны были быть пробурены скважины для определения объема разрушенной породы и размера обломков, и затем проведена подземная перегонка горючего сланца. Первую попытку термического разложения горючего сланца предполагается сделать в трубке взрыва (рис. 47). С этой целью в верхнюю часть трубки пробурят скважины для закачки воздуха. Другую серию скважин пробурят через разрушенную зону в нижней части трубки для извлечения смолы.

Процесс подземной перегонки начинается с предварительного нагрева верхней части слоя разрыхленного горючего сланца с помощью закачки горючих газов: природного или продуктов горения, а затем будет закачан воздух с тем, чтобы воспламенить его равномерно над слоем. После воспламенения воздух должен

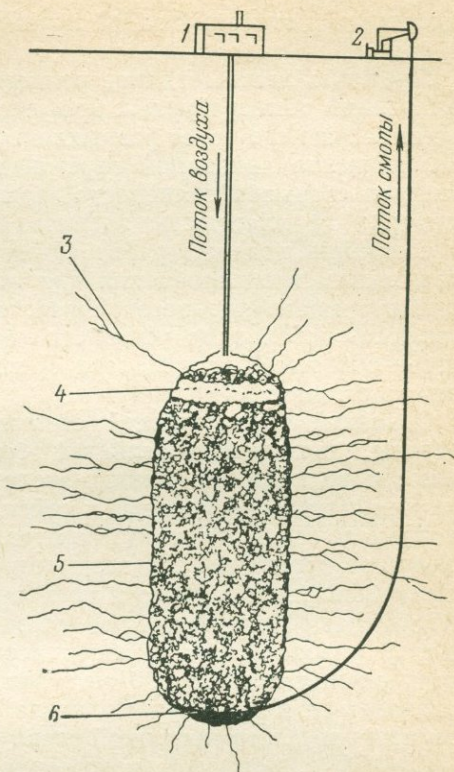


Рис. 47. Схема подземной перегонки горючего сланца с применением атомного взрыва (по Г. Ф. Кофферу и Г. Х. Хиггинсу):

1 — компрессорная; 2 — насос для сланцевой смолы; 3 — трещины; 4 — горение; 5 — разрушенная порода в трубке взрыва; 6 — смола

подаваться в огненный забой периодически, чтобы горение распространялось по зоне обломков.

Предполагается создание полного контроля фронта пламени по измерениям температурных профилей, чтобы обеспечить равномерное движение его через разрыхленную зону.

Экономика подземной перегонки по проекту Бронко обуславливается стоимостью ядерного взрыва. Она включает три главных фактора: 1) стоимость ядерного устройства и его установки; 2) стоимость полевых работ с техникой безопасности; 3) размер скважины и приспособления для ядерного устройства. Последний план стоимости ядерного устройства позволяет определить себестоимость небольшого устройства в 350 тыс. долл. и двухмегатонного — 600 тыс. долл. Но это ориентировочная, а не окончательная его стоимость.

Основной составляющей стоимости полевых работ являются затраты, связанные с техникой безопасности. К ним относятся также и расходы на технико-экономические исследования, изучение климатических условий и сейсмические исследования. С накоплением опыта в производстве ядерных взрывов вне ограниченных полигонов испытаний эта стоимость заметно снизится. Кроме того, при производстве второго и последующих ядерных взрывов на одной площади месторождений горючих сланцев расходы на многие из этих операций почти совсем исчезнут. Как только общая стоимость окажется ниже 500 тыс. долл., ядерные взрывы начнут использоваться в тех случаях, когда их применение окажется целесообразным с промышленной точки зрения.

С 1968 г. началась подготовка к промышленному освоению метода подземной перегонки горючих сланцев методом ядерного взрыва.

Горение продолжается год. В течение этого года осуществляется перегонка горючего сланца в трубке взрыва. После завершения перегонки сланца в трубке предполагалось затратить еще один-два года для экспериментов в зоне трещиноватости, так что полные экономические данные возможно получить после завершения всех экспериментальных работ.

Большой экономический интерес представляет энергоклинкерное направление использования горючих сланцев, о чем свидетельствует опыт, накопленный в ФРГ заводом по производству портландцемента в Доттернхаузене. На этом заводе восемь лет используется процесс Рорбах-Лурги с целью получения электроэнергии и производства цемента из посидонского горючего сланца, имеющего следующий состав: органические вещества — 11,2%,  $MgCO_3$  — 2,7%,  $CaSO_4$  — 0,5%,  $CaCO_3$  — 40,5%, глинистые вещества — 27,4%,  $SiO_2$  (в свободном состоянии) — 12%, щелочные (металлы) в смеси с глиной в форме окислов, хлоридов или сульфатов (только следы) — 1%. Теплота сгорания сланца определена в 930 ккал/кг при влажности сланца 4%. Точка плавления изменяется от 1080° до 1210°С.

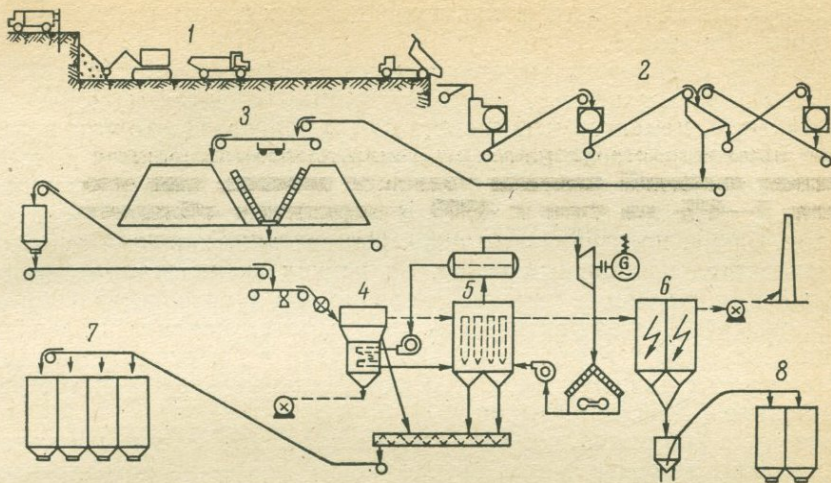


Рис. 48. Схема производства цемента с использованием горючих сланцев в качестве энергетического топлива (по Р. Рорбаху):

1 — сланцевый карьер; 2 — грохоты; 3 — штабеля гомогенного технологического горючего сланца; 4 — печь для сжигания мелкозернистого горючего сланца в кипящем слое; 5 — котел «Ла Монт»; 6 — электрофильтр; 7 — бункеры золы фракции более 0,5 мм; 8 — бункеры золы фракции до 0,5 мм

Принципиальная технологическая схема энергоклинкерного процесса в Доттернхаузене представлена на рис. 48 [88].

После дробления до размера зерен 0—7 мм горючий сланец в количестве около 3000 т складировается. Пополнение и отбор сланца организованы таким образом, что состав сырья всегда остается постоянным и гомогенным. Непременным условием этого является хорошее смешение горючего сланца из-за больших различий в содержании органического вещества в минеральных компонентах с целью гарантирования возможности поддержания неизменного технологического режима переработки и достаточно высококачественного остатка. Питание технологической установки осуществляется автоматически.

На заводе две установки, каждая из которых состоит из печи с кипящим слоем, котла «Ла Монт», турбогенератора, электрофильтра для улавливания пыли и аппарата охлаждения пылевидного минерального остатка. Кипящий слой в печи имеет высоту 1 м, теплонпряженность в расчете на площадь решетки составляет около 1,4 млн. ккал на 1 м<sup>2</sup>/ч. Температура в печи регулируется таким образом, чтобы зерна сланца находились в кипящем слое в течение примерно 15 мин при температуре 810°С. Пылевидные частицы горючего сланца проходят верхнюю часть печи за несколько секунд, где газы перегонки и пары смолы сжигаются и поддерживается постоянная температура на уровне 1000°С.

Основным способом регулирования температуры в кипящем слое, с поддержанием ее на заданном уровне для получения

клинкера, является ввод в кипящий слой змеевиков из котельной системы «Ла Монт».

Из 70% сланцевого пылевидного минерального остатка и 30% клинкера готовят цемент. Многочисленные испытания показали устойчивость цементов к воздействию сульфатов. Поскольку клинкер и пылевидная зола из электрофилтра размалываются вместе, последние достигают высокой степени тонкости помола, так что цемент с остатком 7—8% на сите с 4900 отверстиями обладает числом Блэна, превышающим 4000. Цемент дает хороший раствор и исключительно плотный бетон. За период эксплуатации завода около 1 млн. т цемента уже использовано для производства бетона.

Экономическая эффективность производства цемента на заводе мощностью 7200 т горючего сланца в сутки в Доттернхаузене характеризуется данными табл. 103. Капитальные вложения составляют около 7 млн. нем. марок.

Из табл. 103 видно, что завод достигает наиболее высокого экономического эффекта в том случае, когда мощность технологиче-

Таблица 103

**Экономические показатели производства портландцемента на станции завода в Доттернхаузене при использовании горючих сланцев в качестве энергетического топлива (по балансу 1966 г.) [88] (в тыс. марок)**

Показатели	Величина показателя
<b>Расходы</b>	
Стоимость добычи и переработки горючего сланца в количестве 246 тыс. т . . . . .	621
Заработная плата производственного персонала . . . . .	663
Эксплуатационные расходы и стоимость запасных частей . . . . .	122
Ремонт, уход, лаборатория, административный аппарат . . . . .	328
Амортизационные отчисления и проценты . . . . .	700
Всего . . . . .	2434
<b>Доходы</b>	
Производство электроэнергии (за вычетом потребляемой для собственных нужд); в количестве 32,3 млн. кВт·ч×0,0648 (стоимость электроэнергии, получаемой со стороны) . . . . .	2050
Остаток 190 000 т×15,0 марок/т (в соответствии с ценой на клинкер и частично с отпускной ценой) реализации . . . . .	2850
Снабжение завода паром для отопления . . . . .	60
Всего . . . . .	4960

ской установки определяется спросом на сланцевый минеральный остаток (золу), употребляемый в качестве гидравлического вяжущего. Следовательно, вне переработки горючих сланцев непосредственно в залежи, они даже с небольшим содержанием орга-

нического вещества могут быть экономично использованы, если их минеральные компоненты смогут быть полностью или частично утилизированы.

Перспективным является и прямое сжигание горючего сланца в котельных установках тепловых электростанций, особенно для стран и районов, располагающих значительными запасами горючих сланцев, стоимость добычи которых относительно невелика. Это тем более важно, что энергетическая карта земного шара характеризуется большой удаленностью известных энергетических ресурсов от существующих или потенциальных потребителей. Такие явления, как недостаток местных источников энергии, отрицательное влияние платежей за импортируемую энергию на торговый баланс, высокие расходы, исключаящие в ряде случаев целесообразность транспортирования энергии даже внутри некоторых стран, серьезно препятствуют экономическому развитию.

Использование местных ресурсов горючих сланцев для развития энергетики находится в центре внимания ряда стран мира, особенно развивающихся стран.

Республика Мали бедна энергетическими ресурсами и не имеет выхода к морю. В условиях экономического развития Республики Мали, с продвижением на восток к центру страны, стоимость энергии возрастает почти в геометрической прогрессии. В районе Агамора (около 1500 км от побережья) были открыты богатые залежи фосфоритов. Вследствие их удаленности практической возможностью разработки месторождения фосфоритов с экономической точки зрения является производство суперфосфата на месте. Но для этого нужна энергия. Единственно возможное решение в данном случае — использовать для производства энергии горючие сланцы, залегающие в этом районе. В настоящее время проводится исследование комплексного использования горючих сланцев и фосфоритов.

В Республике Сомали, где также до сих пор не обнаружено собственных запасов топлива, на севере страны, в Бербере, строится новый порт, который потребует большого количества энергии. В 16 км от Бербере находится месторождение горючего сланца, который может добываться открытым способом. Сланец залегает вблизи пластов гипса и ангидрита, что позволяет комплексно использовать залежи месторождения на базе энергии горючего сланца.

В западной части Турции предусмотрено снабжение тепловой электростанции мощностью 300 тыс. кВт углем месторождения в Сейтомер-Кютахья. Бурый уголь добывают здесь открытым способом. Вскрышной породой является горючий сланец с теплотой сгорания до 2800 ккал/кг. Стоимость сланца составляет 0,60 долл. за 1 т. В данном случае сжигание сланца в топках котельных агрегатов даст значительную экономию и позволит удвоить мощность местной тепловой электростанции [16].

Учитывая экономическую эффективность новых методов добычи и переработки горючих сланцев, в ближайшие годы следует ожи-

дать значительного прогресса в развитии сланцевой промышленности зарубежных стран.

Анализ научно-технических прогнозов позволяет определить основные перспективные направления использования горючих сланцев на современном этапе развития техники и технологии в зарубежных странах.

**Технологическое.** Это направление связано с деструктивными процессами, позволяющими в различных агрегатах с помощью термической обработки горючего сланца получать смолу и газ для дальнейшей углубленной их переработки с широким выпуском разнообразной топливной и химической продукции.

Особое место в технологическом направлении занимает выделение из экстракта размолотых горючих сланцев гомологического ряда дикарбоновых кислот (от  $C_{12}$  до  $C_{19}$ ) [142].

**Энергетическое.** Это направление предполагает прямое сжигание горючих сланцев в топках тепловых электростанций. Оно может стать особенно перспективным для стран и районов, располагающих запасами горючих сланцев. Условиями, позволяющими экономично использовать горючий сланец для получения электроэнергии, являются: низкая стоимость добычи ископаемого, использование его вблизи места добычи (по крайней мере на расстоянии не более 100 км), подходящий химический состав и удаленность от конкурирующих источников энергии.

**Энерготехнологическое.** Это направление намечается осуществить в США путем сочетания термического разложения горючих сланцев с последующим использованием сырой смолы и газа для производства комплекса продуктов и выработки электроэнергии на газомазутных электростанциях. Причем теплоэлектростанции могут располагаться как вблизи месторождений, так и на значительном расстоянии от них. Топливо на теплоэлектростанции в виде мазута и газа может подаваться по трубопроводам.

**Энергоклинкерное.** Это направление, хотя и в скромных масштабах, получило свое развитие на Доттернхаузенском заводе в ФРГ. В 1966 г. на заводе помимо сланцевозольного цемента было выработано 33 млн. кВт·ч электроэнергии и определенное количество пара для собственных нужд. Если учесть стоимость произведенной электроэнергии по установленному в настоящее время тарифу, то указанное направление использования горючих сланцев следует отнести к высокоприбыльным.

Как свидетельствует накопленный опыт, основным требованием перспективного развития сланцевой промышленности является комплексное использование полезных ископаемых на месторождениях горючих сланцев.

Промышленная ценность сланцевых месторождений, если они сочетаются с источниками другого минерального сырья, которое можно разрабатывать одновременно с горючими сланцами, значительно возрастает. В КНР и некоторых других странах горючие сланцы залегают вместе с угольными пластами или лигнитами.

В некоторых местах формации Грин-Ривер в США залежи горючих сланцев сочетаются с алюминиевым сырьем.

За счет комплексной разработки месторождений могут заметно снизиться капитальные вложения и эксплуатационные затраты. Поиск таких месторождений должен стать составной частью региональной геологоразведки.

С целью изучения возможностей расширения открытого способа добычи горючих сланцев, выбора схемы ведения вскрышных работ и восстановления отработанных площадей необходимо провести изучение покрывающих пород. В местах, где предполагается осуществить разработку подземным способом, надлежит большое внимание уделять исследованию трещиноватости пород, которую необходимо учитывать при организации добычных работ.

Одним из условий экономичности использования сланцевых месторождений является водоснабжение. Им часто пренебрегают при проведении геологоразведочных работ и тем резко снижают промышленную ценность месторождений полезного ископаемого.

Огромные запасы горючих сланцев и успехи в области их использования в различных странах, с одной стороны, и острый дефицит энергии в ряде стран и особенно в развивающихся странах, с другой стороны, обуславливают целесообразность концентрации усилий и капитальных затрат на расширение научно-исследовательских работ, полупромышленных и промышленных исследований по определению рациональных и оптимальных (по технико-экономическим параметрам) способов использования горючих сланцев в соответствии с их химическим составом и техническими свойствами.

## Глава II

### **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В СССР И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Перспективы развития сланцевой промышленности СССР определяются требованиями ускорения темпов создания материально-технической базы, рационального использования природно-экономических предпосылок.

Северо-Запад европейской части СССР обладает громадным промышленным потенциалом и в то же время беден энергетическими ресурсами. Месторождения каменного угля, нефти и природного газа находятся от Северо-Западного района страны на расстоянии более 2 тыс. км, и доставка этих видов топлива по железной дороге и трубопроводам во все возрастающем объеме требует значительных капитальных вложений в транспортные

## Баланс потребления горючего сланца Эстонского месторождения

Год	Потреблено							
	электростанциями		сланцеперерабатывающими заводами		прочими потребителями		Всего	
	млн. т	%	млн. т	%	млн. т	%	млн. т	%
1955	1,47	21,0	3,85	55,0	1,68	24,0	7,01	100,0
1960	2,40	28,2	4,70	55,4	1,40	16,4	8,50	100,0
1965	7,89	51,2	6,43	41,7	1,07	7,1	15,39	100,0
1966	8,60	53,1	6,11	37,6	1,51	9,3	16,22	100,0
1967	11,00	58,2	6,30	33,3	1,60	8,5	18,90	100,0
1968	11,05	59,8	6,13	33,0	1,26	7,2	18,44	100,0
1969	11,09	61,2	5,85	32,2	1,23	6,6	18,17	100,0
1970	12,08	62,8	5,87	30,8	1,15	6,4	19,10	100,0
1971	14,80	69,5	5,90	27,7	0,58	2,8	21,28	100,0
1972	16,91	72,0	5,95	25,4	0,62	2,6	23,48	100,0
При освоении мощности Прибалтийской и Эстонской ГРЭС	22,6	72,5	7,5	24,0	1,10	3,5	31,2	100,0

средства. Увеличиваются также и текущие затраты на добычу и транспортирование топлива. Запасы горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна стали в этом районе основной энергетической базой.

Использование горючих сланцев для производства электрической и тепловой энергии является в настоящее время в СССР главным направлением.

Как видно из табл. 104, в 1955 г. на технологические нужды расходовалось 55% и на энергетические — 21% горючего сланца Эстонского месторождения, потребленного народным хозяйством Северо-Западного района СССР (с учетом переработки горючего сланца Эстонского месторождения сланцеперерабатывающим комбинатом в г. Сланцы Ленинградской области). С вводом в эксплуатацию Прибалтийской ГРЭС в г. Нарве Эстонской ССР картина резко изменилась. Доля энергетического использования горючего сланца в 1965 г. повысилась до 51,2%. В настоящее время 72% горючего сланца Эстонского месторождения сжигается под котлами теплоэлектростанций. С пуском Эстонской ГРЭС на полную мощность доля расхода горючего сланца на энергетику в балансе потребления горючего сланца увеличится до 72,5%. Сланцеперерабатывающие комбинаты будут перерабатывать примерно 24% потребленного горючего сланца.

Аналогичная картина потребления горючих сланцев и в других бассейнах страны. В настоящее время для энергетических нужд

по Ленинградскому месторождению используется 48% и по Кашпирскому — 94% добытого сланца.

Перспективные направления переработки горючего сланца определяются уровнем технологии термического разложения полезного ископаемого и достижениями сланцехимической науки.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Развитие энергетики на базе горючего сланца имеет большую историю. Первые опыты по сжиганию горючих сланцев были проведены в Петроградском технологическом институте [63].

Использование горючего сланца в качестве топлива взамен каменного угля всемерно поощрялось на железнодорожном транспорте.

В 1917—1918 гг. Н. Ф. Погребов провел серию опытов по сжиганию сланца в печах цементных заводов «Порт-Кунда» (теперь «Пунане-Кунда») и «Ассери». Эти заводы затем стали первыми крупными потребителями горючего сланца.

В 1924 г. переводится на сжигание горючего сланца Таллинская теплоэлектростанция. В 1939 г. ее мощность была доведена до 22 МВт. Крупнейший парогенератор на этой электростанции имел часовую производительность 35 т. Горючий сланец сжигался в слоевой топке с наклонно переталкивающей решеткой.

Одновременно со строительством газсланцевого завода в г. Кохтла-Ярве Эстонской ССР были построены и постепенно расширены новые электростанции, работающие на сланцевом топливе: ТЭЦ «Ахтме», ТЭЦ «Кохтла-Ярве» и др. Производство электроэнергии и теплоэнергии резко возросло.

С увеличением мощности теплоэлектростанций начинается внедрение пылевидного сжигания горючего сланца. Основным типом парогенератора для сланцевых электростанций становится парогенератор с часовой производительностью 75 т. В сравнении с мощностью парогенератора на Таллинской ТЭЦ мощность нового парогенератора увеличилась в 2 раза.

Следующий этап в энергетическом использовании горючих сланцев начинается в 1959—1960 гг., когда была заложена близ г. Нарвы Прибалтийская ГРЭС проектной мощностью 1600 МВт. В 1965 г. ее мощность была освоена, и в балансе потребления горючего сланца доля энергетики поднялась до 51,2%. В 1965 г. производство электроэнергии на душу населения в Эстонской ССР составило 5555 кВт·ч, теплоэнергии — 1218 Мгкал.

За счет потребности Прибалтийской ГРЭС в топливе общая добыча сланцев в СССР в 1965 г. возросла до 21,3 млн. т.

В 1973 г. завершено строительство Эстонской ГРЭС проектной мощностью 1600 МВт. С пуском Эстонской ГРЭС на полную мощность производство электроэнергии на душу населения в Эстонской ССР достигнет 13300 кВт·ч, а теплоэнергии — 3400 Мгкал.

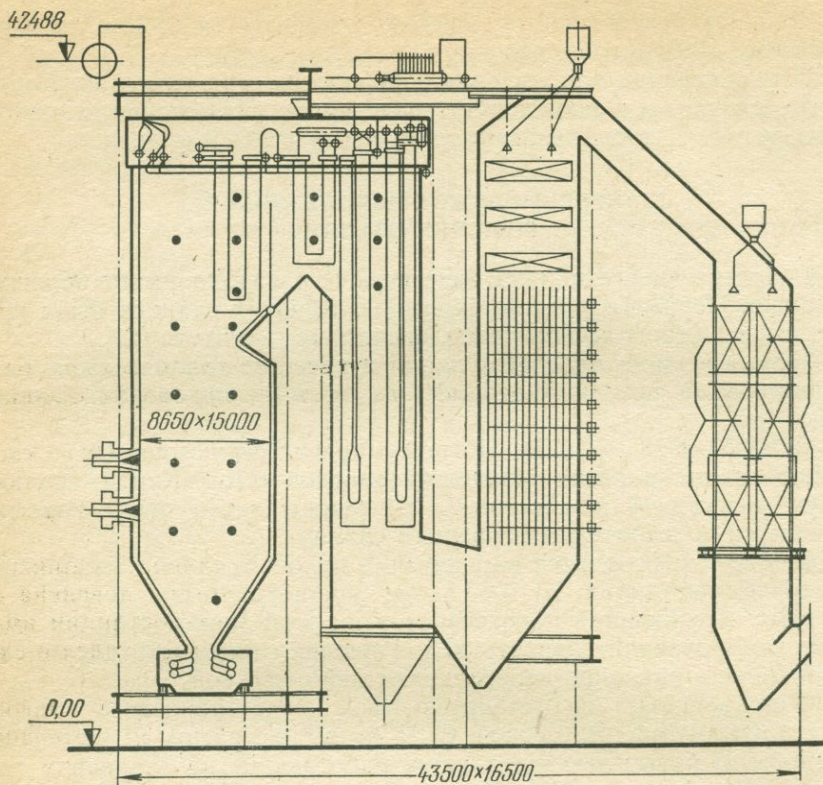


Рис. 49. Схема двухкорпусного парогенератора ТП-101 (ширина топки и агрегата дана для одного корпуса)

Сжигание горючих сланцев на Прибалтийской ГРЭС и Эстонской ГРЭС пылевидное. Прибалтийская ГРЭС спроектирована на сжигание горючих сланцев с низшей теплотой сгорания 2200 ккал/кг, а Эстонская ГРЭС — 2000 ккал/кг. Турбины Прибалтийской ГРЭС мощностью 100 МВт снабжаются паром от 18 парогенераторов ТП-17 с параметрами: паропроводительность — 220 т/ч, температура перегрева — 540°С. На этой же ГРЭС четыре блока имеют турбины по 200 МВт, которым поставляют пар 8 парогенераторов ТП-67 паропроводительностью 320 т/ч каждый и температурами основного и промежуточного перегревов 540°С.

На Эстонской ГРЭС установлены парогенераторы ТП-101 (рис. 49) паропроводительностью 640 т/ч и температурами основного и промежуточного перегревов 540°С. Сжигание горючего сланца на мощных теплоэлектростанциях гораздо экономичнее по сравнению с сжиганием его на электростанциях малой мощности. Так, себестоимость 10 кВт·ч на Прибалтийской ГРЭС составляет около 6,72 коп., на ТЭЦ «Кохтла-Ярве» — 8,48 коп., на ТЭЦ

## Структура себестоимости 10 кВт·ч электроэнергии на ТЭЦ Эстонской ССР, %

Статья затрат	Прибалтий- ская ГРЭС	ТЭЦ «Ахтме»	ТЭЦ «Кохтла Ярве»
Топливо . . . . .	64,3	57,8	53,3
Вспомогательные материалы и вода	1,4	3,8	2,1
Заработная плата с отчислениями на социальное страхование . . . . .	3,4	6,7	9,9
Услуги вспомогательных производств	1,7	1,4	1,9
Амортизация и текущий ремонт . .	26,9	24,3	27,1
Прочие производственные расходы	2,3	6,0	5,7
Итого . . . . .	100,0	100,0	100,0

«Ахтме» — 7,79 коп. В табл. 105 приведена структура себестоимости 10 кВт·ч электроэнергии, произведенной на ТЭЦ различной мощности.

Как видно из табл. 105, основным фактором, определяющим величину себестоимости электроэнергии на электростанциях, сжигающих горючий сланец, являются затраты на сырье. Стоимость 1 т условного топлива в горючем сланце, потребленного для производства электроэнергии на Прибалтийской ГРЭС, равна 9,54 руб., на ТЭЦ «Кохтла-Ярве» — 8,83 руб. и на ТЭЦ «Ахтме» — 8,32 руб. Увеличение стоимости 1 т условного топлива в горючем сланце обусловлено транспортными расходами на его доставку. Это обстоятельство отражается и на более высокой стоимости 1 т условного топлива на Прибалтийской ГРЭС в сравнении со стоимостью 1 т условного топлива на ТЭЦ «Кохтла-Ярве» или ТЭЦ «Ахтме», расположенных в районе сланцевых шахт.

На электростанциях меньшей мощности расходы на оплату рабочей силы также значительно выше, чем на Прибалтийской ГРЭС.

Сжигание горючего сланца имеет свою специфику.

Во-первых, горючие сланцы являются одним из наиболее низкокалорийных видов топлива, о чем свидетельствуют данные табл. 106.

Данные табл. 106 показывают, что горючий сланец обладает самыми низкими топливными качествами из всех указанных в ней видов топлива.

Во-вторых, поскольку содержание минеральной части в горючем сланце составляет более 50% (на рабочую массу), то при прямом сжигании его в топках электростанций требуется сложное и довольно большое зольное хозяйство. На Прибалтийской ГРЭС золоудаление потребовало более 8 млн. руб. капитальных вложений. В зольном хозяйстве занято около 100 рабочих.

В-третьих, у электростанций, работающих на горючих сланцах, большие собственные нужды в электроэнергии. Только на золоудаление расходуется около 55 млн. кВт·ч электроэнергии в год.

Топливные качества горючего сланца Эстонского месторождения сравнительно с другими видами топлива

Показатели	Вид топлива					
	нефть	антрацит	каменный уголь	бурый уголь	торф	сланец
Содержание органического вещества, % . . .	100	85	75	60	58	32
Теплота сгорания, ккал/кг . . . . .	10 500	6710	7300	3500	2860	2650
Температура в топках, °С . . . . .	1 500	1300	1200	1000	900	1000
Избыток воздуха против теоретически необходимого для горения, %	30	45	60	65	70	75

В-четвертых, сланцевая зола обладает абразивными свойствами, что обуславливает повышенную коррозию поверхностей нагрева котлов, а также вызывает ускоренное снашивание основных средств и необходимость крупных затрат на текущий и капитальный ремонты.

Несмотря на недостатки непосредственного сжигания горючего сланца в топках электростанций, себестоимость электроэнергии на Прибалтийской ГРЭС является самой низкой среди конденсационных электростанций на Северо-Западе СССР. При этом удельные капитальные вложения на электростанциях, работающих на горючих сланцах и других видах твердого топлива, оказываются приблизительно равными. Более низкая себестоимость электроэнергии на Прибалтийской ГРЭС обуславливается тем, что приведенные затраты на 1 т условного топлива в горючем сланце в сравнении с приведенными затратами на 1 т условного топлива в других видах топлива оказываются наименьшими. Так, например, приведенные затраты на 1 т условного топлива для горючего сланца, добытого открытым способом, составляют 9,3 руб., донецкого каменного угля — 18,9 руб., нефтяного мазута — 10,1 руб. и торфа — 11,7 руб. Лишь приведенные затраты на 1 т условного топлива для горючего сланца, добытого подземным способом (12,8 руб.), оказываются несколько выше в сравнении с затратами на нефтяной мазут и торф.

В 1919 г. в связи с постройкой Осташковского завода, работавшего на горючем сланце, начинается энергетическое использование сланцев Кашпирского месторождения.

Одновременно со строительством сланцеперерабатывающего комбината в г. Сланцы была построена ТЭЦ в Гдове.

В настоящее время кроме тепловых электростанций Эстонской ССР в Советском Союзе на горючем сланце работают Сызран-

ская ТЭЦ, потребляющая около 1,4 млн. т сланца в год и вырабатывающая 264,5 тыс. кВт·ч электроэнергии; ТЭЦ и ЦЭС сланцеперерабатывающего комбината в г. Сланцы, потребляющие более 1,2 млн. т сланца в год и вырабатывающие 424,2 тыс. кВт·ч электроэнергии.

Имеются предпосылки строительства ТЭЦ на базе Болтышского (Тясменского) месторождения сланцев. Интересны для энергетики сланцы Байсунского месторождения с теплотой сгорания 2200—2500 ккал/кг.

В Эстонском сланцевом бассейне намечается строительство Кохтла-Ярвской ТЭЦ ориентировочной мощностью 200 МВт. Целесообразность новой ТЭЦ обусловлена тем, что:

электростанции сланцевого бассейна — «Кохтла-Ярве» и «Ахтме» — являются одними из старых. Их технические и технико-экономические показатели ухудшаются и электростанции со временем будут закрыты;

возрастает потребность в тепле. В связи с этим необходимо сооружение электростанции с противоаварийными турбинами (ориентировочно 4×50 Мвт). Экономичность такой электростанции, по заключению экспертной комиссии, бесспорна. Резервом улучшения экономики ТЭЦ является возможность использования генераторного газа сланцеперерабатывающего комбината им. В. И. Ленина;

высокая экономичность такой электростанции будет способствовать улучшению показателей энергосистемы Эстонской ССР в целом.

В настоящее время теплоэлектростанции системы «Эстонэнерго» получают горючий сланец с теплотой сгорания ниже, чем предусмотрено ГОСТом. Как правило, электростанции потребляют сланец III сорта (крупность кусков 0—25 мм). Выход сланца этого сорта составляет примерно 40% общей добычи. Среднегодовая теплота сгорания сланца III сорта мало изменяется [116]. Пониженная теплота сгорания энергетического сланца не может не отразиться на экономике производства электроэнергии.

Одной из проблем при использовании сланцевого топлива на тепловых электростанциях является выбор оптимальной теплоты его сгорания.

С понижением теплоты сгорания горючего сланца уменьшается стоимость его добычи, но увеличиваются расходы, связанные с усложнением сжигания его на электростанциях.

Определение экономической эффективности повышения или понижения теплоты сгорания горючего сланца для энергетики должно основываться на взаимной зависимости как показателей добычи, обогащения полезного ископаемого, так и применения сланца. Количественно эта зависимость выражается в виде суммы затрат на 1 т пара, произведенного в котельной потребителя при сжигании небогатого и обогащенного горючего сланца. Оптимальная степень обогащения должна показать максимальную экономию

от сжигания более богатого горючего сланца, исчисленную на 1 т произведенного пара. Это условие описывается нами выражением

$$E = (S_d + S_T + S_c) \frac{1000\lambda}{Q_0 \eta_{0.ку}} - \left[ \frac{(S_d + S_0) \cdot 100}{\gamma} + S_T + S_c (1 - k) \right] \frac{1000\lambda}{Q_1 \eta_{1ку}} = \max, \quad (16)$$

- где
- $E$  — экономия от обогащения горючего сланца, приходящаяся на 1 т пара, получаемого при сжигании обогащенного горючего сланца вместо необогащенного, руб.;
  - $S_d$  — себестоимость добычи необогащенного горючего сланца франко-вагон станция у шахты, руб/кг;
  - $S_T$  — затраты на транспортирование горючего сланца от шахты до электростанции, руб/кг;
  - $S_c$  — эксплуатационные затраты на 1 т пара при сжигании необогащенного горючего сланца, включающие разمول топлива, сжигание его и золоудаление, руб.;
  - $k$  — коэффициент уменьшения эксплуатационных затрат за счет уменьшения зольности, расходов на текущий ремонт и других расходов, обусловленных сжиганием обогащенного горючего сланца, %;
  - $\gamma$  — выход обогащенного горючего сланца на 1 кг рядового сланца, %;
  - $Q_0, Q_1$  — теплота сгорания соответственно обогащенного и необогащенного горючего сланца, ккал/кг;
  - $\lambda$  — теплосодержание пара, кал/кг;
  - $\eta_{0.ку}, \eta_{1ку}$  — коэффициент полезного действия котельной установки при сжигании необогащенного и обогащенного горючего сланца.

В настоящее время пока еще отсутствует научно обоснованное решение проблемы установления оптимального уровня теплоты сгорания горючего сланца для энергетических нужд. Основная сложность заключается в том, что до сих пор еще недостаточно изучены вопросы сжигания горючих сланцев различной калорийности и особенно сланцев с пониженной теплотой сгорания. Одновременно должен быть исследован и вопрос об определении наилучшего качества золы, получаемой при сжигании горючего сланца с различной теплотой сгорания, для использования ее в качестве строительного материала. Практика показывает, что экономичность энергетического использования горючих сланцев значительно повышается с утилизацией сланцевой золы.

Из всех видов сланцевой золы, образующейся при энергетическом сжигании горючего сланца, наилучшими вяжущими свойствами обладает летучая зола. Количество этой золы, образующейся при сжигании горючего сланца, на Прибалтийской ГРЭС

составляет примерно 6 млн. т в год. В ее составе на долю электрофильной золы приходится 12%, циклонной золы — 52% и золы, выпадающей на дно топки, — 36%.

Первые два вида сланцевой золы разделяются на промышленные фракции методом воздушной сепарации, который оказался наиболее экономичным. При незначительных дополнительных затратах этот метод позволяет получать фракции летучей золы с заданным составом непосредственно в процессе золоулавливания [48, 52, 77, 102].

Качественная характеристика фракций летучей сланцевой золы приведена в табл. 107.

Таблица 107

Качественная характеристика фракций летучей сланцевой золы [48, 52]

Показатели	Фракции летучей золы		
	крупная	мелкая	мельчайшая
Крупность частиц, мк . . . . .	30—150	15—30	< 15
Величина удельной поверхности, см <sup>2</sup> /г . . . . .	500—1200	1800—2500	3200—5000
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	2,82—2,93	2,70—2,76	2,65—2,71
Объемная масса, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	1150—1250	900—1050	650—850
Водовязущее соотношение . . . . .	0,55	0,42	0,34
Прочность раствора на сжатие, кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	105	160	210
Химический состав, %			
CaO . . . . .	46—58	32—40	28—35
SiO <sub>2</sub> . . . . .	20—28	30—36	30—35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6—8	8—11	10—12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4—6	4—6	4—5
MgO . . . . .	3—4	2,5—3	2,5—3
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,5—2,5	2,5—4	4,5—6,5
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,10	0,20	0,20
П.П. . . . .	1,7—3,0	1,4—2,3	1,0—2,2
CaO <sub>своб</sub> . . . . .	20—32	11—15	7—11
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	4—7	9—12	14—17
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	4—7	3—5	2—5
C <sub>2</sub> S . . . . .	9—14	9—11	8—10
Стекловидная фаза . . . . .	32—36	28—33	27—32
Нерастворимый остаток . . . . .	12—18	24—33	25—35
Гидро модуль . . . . .	1,2—1,8	0,65—0,85	0,55—0,75

Как видно из табл. 107, чем крупнее фракция золы, тем она богаче известью и беднее SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Гидро модуль крупной фракции почти в 2 раза превышает гидро модуль мелких фракций.

Содержание минералов цемента во всех фракциях находится в пределах 10—15%. Однако в содержании свободной извести

и гипсового ангидрита наблюдаются большие различия. В крупной фракции золы содержание свободной извести наибольшее — 20—32%, а  $\text{CaSO}_4$  — наименьшее (4—7%). С укрупнением зерен золы плотность стекловидной фазы возрастает, а нерастворимого остатка — уменьшается.

По активности каждая фракция золы существенно отличается от других. Чем меньше размер частиц золы, тем выше ее активность: ниже водопотребность и выше прочность раствора на сжатие.

Из крупной фракции летучей золы возможно изготовление ячеистых бетонов и силикатных изделий, поскольку ангидрит и свободная известь содержатся в ней в оптимальном соотношении. Силикатные изделия из этой золы обладают большой долговечностью. Кроме того, наличие большого количества свободной извести позволяет увеличить добавку кварцевого песка в смеси.

Производство сланцезольного силикатного кирпича осуществляется на заводах строительных материалов «Мяннику» в Таллине и в г. Сланцы Ленинградской области.

Как показал опыт, оптимальным количеством на 1000 шт. кирпича является 0,8 т сланцевой золы и 0,15 т извести. Стоимость золы франко-завод «Мяннику» составляет 1,51 руб./т. Экономия в себестоимости производства 1000 шт. кирпича при этом достигает 1,11 руб.

Переход на применение сланцевой золы потребовал 2,84 руб. капитальных вложений на 1000 шт. кирпича. Сопоставление этой суммы с капитальными вложениями, приходящимися на экономленную известь, показывает, что производство золокирпича требует дополнительных капитальных вложений в размере 0,71 руб. на 1000 шт. кирпича. Экономия вычислена по формулам:

$$\mathcal{E} = S_3 - E_n \Delta K; \quad (17)$$

$$\mathcal{E} = S_3 + E_n K_3, \quad (18)$$

где  $\mathcal{E}$  — экономия при использовании сланцевой золы, руб.;

$S_3$  — экономия себестоимости, руб.;

$\Delta K$  — дополнительные капитальные вложения, руб.;

$K_3$  — экономия капитальных вложений, руб.;

$E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности.

Подставив в формулу числовые значения, получим сумму экономии на 1000 шт. кирпича

$$\mathcal{E} = 1,11 - 0,12 \cdot 0,71 = 1,03 \text{ руб.}$$

или

$$1,3 \text{ руб. } (1,03 : 0,8) \text{ на } 1 \text{ т золы.}$$

На Ахтмеском комбинате строительных материалов Эстонской ССР, сданном в эксплуатацию в 1961 г., производятся запариваемые газо- и пенобетонные изделия: крупные стеновые блоки, изоляционные и перегородочные плиты и другие детали [47, 72]. При

этом совместно используются молотый песок и сланцевая зола с добавлением алюминиевого порошка (газобетон) или пенообразователей (пенобетон). Эту же технологию применяет в работе Нарвский комбинат строительных материалов проектной мощностью около 500 тыс. м<sup>3</sup> изделий в год.

Экономический эффект от использования сланцевой золы в производстве газо- и пенобетонных изделий по текущим затратам получается главным образом за счет снижения стоимости материалов. Экономия в себестоимости производства газобетона на базе сланцевой золы в сравнении с использованием извести составляет в пределах Эстонской ССР 1,44 руб. на 1 м<sup>3</sup> или 3,6 руб. на 1 т золы. Экономия капитальных вложений при этом оказывается равной 1,28 руб. на 1 м<sup>3</sup> газобетона или 3,2 руб. на 1 т золы. Экономия по приведенным затратам на 1 т золы выражается примерно в сумме

$$\mathcal{E} = 3,6 + 0,12 \cdot 3,2 = 4,0 \text{ руб.}$$

Из мелкой фракции летучей сланцевой золы целесообразнее всего изготовлять местные вяжущие, отвечающие требованиям низких и средних марок: кукермит, кукермитцемент. Кукермит получается при дополнительном размоле мелкой фракции на мельнице, а кукермитцемент при размоле на той же мельнице, но с добавкой предварительно измельченного клинкера. Размол ведется до получения удельной поверхности фракции помола примерно 3500 см<sup>2</sup>/г. Состав кукермитцемента должен быть следующим: мелкой фракции летучей золы 65—80% и цементного клинкера — 20—35%.

Производство кукермитцемента осуществляется на Ахтмеском комбинате строительных материалов (проектная мощность 51 тыс. т кукермитцемента) и на Нарвском комбинате строительных материалов (проектная мощность 200 тыс. т кукермитцемента).

Себестоимость 1 т кукермитцемента, получаемого на комбинатах, примерно равна 4,9 руб. Экономия от применения кукермитцемента (примерно 80% общей потребности в растворах) при производстве вяжущих вместо портландцемента составляет ориентировочно 1,73 руб. на 1 т кукермитцемента. При этом требуется на 1 т кукермитцемента на 2,07 руб. меньше капитальных вложений. Экономический эффект по приведенным затратам при этом оказывается равным

$$\mathcal{E} = 1,73 + 0,12 \cdot 2,07 = 1,98 \text{ руб.}$$

на 1 т кукермитцемента, или примерно 2,5 руб. (1,98 : 0,8) на 1 т сланцевой золы.

Мельчайшая фракция сланцевой золы используется для получения нового вида быстротвердеющего и высокомарочного портландцемента. Цемент, получаемый при совместном помолу мельчайшей фракции летучей золы в количестве 20—30% и цементного клинкера в количестве 70—80%, получил название сланцезольного портландцемента.

Обычно в портландцементе гипс является обязательной добавкой, а в сланцезольном портландцементе его присутствие не обязательно, что обусловлено наличием в мельчайшей фракции золы примерно до 15% ангидрита.

На основе сланцезольного портландцемента в Эстонской ССР изготавливаются высокомарочные бетоны марок «300»—«500».

Экономическая эффективность производства и использования сланцезольного портландцемента выражается в увеличении объема производства вяжущего, снижении его себестоимости и уменьшении количества вяжущего при изготовлении бетонов в связи с повышением марки и качества вяжущего. Применение сланцезольного портландцемента в себестоимости бетонов и деталей не вызывает изменений, кроме уменьшения затрат на вяжущее. Производство сланцезольного портландцемента осуществляется на заводе «Пунане-Кунда» Эстонской ССР.

По сравнению с проектной себестоимостью портландцемента марок «400»—«500» (8,51 руб/т) себестоимость 1 т сланцезольного портландцемента марки «600» на заводе «Пунане-Кунда» оказывается примерно на 3,64 руб. меньше. Экономия в капитальных вложениях при этом достигает 20,3 руб. на 1 т сланцезольного портландцемента. Экономический эффект по приведенным затратам оказывается в данном случае равным

$$\mathcal{E} = 3,64 + 0,12 \cdot 20,3 = 6,08 \text{ руб.}$$

на 1 т сланцезольного портландцемента, или 24,3 руб. ( $6,08 : 0,25$ ) на 1 т сланцевой золы.

С использованием сланцезольного портландцемента в Эстонской ССР изготовлено около 1 млн. т сборного железобетона. При полном использовании мельчайшей фракции летучей золы можно ежегодно изготавливать около 3 млн. т сланцезольного портландцемента, что дает годовую экономию по приведенным затратам примерно 18—20 млн. руб.

Помимо производства строительных материалов коксозольные остатки перегонки горючего сланца применяются в дорожном строительстве для укрепления грунтов и устройства оснований дорожных покрытий.

Огромные возможности применения сланцевой золы имеются в земледелии [118]. Так, практика показала, что сланцевая зола в роли известкового удобрения для яровой пшеницы на дерново-слабопodzолистой почве дает лучшие результаты в сравнении с известковым туфом.

Большой интерес вызывает реакция картофеля на различные известковые удобрения. Известковый туф обычно мало повышает урожай картофеля, а крахмальность его при больших дозах известкового туфа понижается. Сланцевая зола оказывает благоприятное влияние не только на урожай картофеля, но и на содержание в нем крахмала.

Это объясняется тем, что сланец-кукерсит как органическое отложение содержит все элементы для питания растений, за исключением лишь азота.

Следует также отметить, что, как показали полевые опыты, эффективность сланцевой золы сравнительно мало зависит от степени извлечения органического вещества из сланца. Содержание несгораемых веществ в сланцевой золе не влияет на ее удобрительную эффективность.

Не имеет также значения и степень измельчения сланцевой золы, как это выяснилось в вегетационных опытах.

Известковые удобрения во время опытов вносили в различных дозах. Во всех случаях сланцевая зола оказалась наиболее эффективным средством повышения урожаев на кислых почвах. В отдельных опытах прибавка урожая колебалась от 2,4 до 5,4 ц с 1 га.

В настоящее время сланцевая зола в качестве удобрения на кислых почвах используется всеми колхозами и совхозами Эстонской ССР.

#### **ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЦЕМЕНТА НА БАЗЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

При сжигании сланцевой мелочи в топках электростанций с твердым золоудалением важнейшее значение приобрела проблема борьбы с загрязнением поверхностей нагрева котельных установок, обуславливающим интенсивный их износ. На поверхностях нагрева образуются плотные золотые отложения, которые не могут быть удалены обычными механическими средствами: обдувочными аппаратами, вибрационной или дробевой очисткой, поскольку все они вызывают разрушения поверхности нагрева котельных установок. При обдувке и дробевой очистке, например, наблюдается эрозия, а при вибрационной очистке — усталостные трещины в трубах.

Одним из вариантов решения данной проблемы является разработанный Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского метод сжигания горючего сланца с жидким шлакоудалением.

Новый метод сжигания горючего сланца предусматривает комплексное использование как органической, так и минеральной частей полезного ископаемого с целью получения энергии и цемента [6, 103, 106].

Принципиальной основой метода является совмещение процессов высокотемпературного сжигания горючего сланца с процессами образования необходимых для получения цемента минералов.

Преимущества разработанного метода заключаются в следующем:

во-первых, устраняется износ поверхностей нагрева котельных установок, поскольку основная масса сланцевой золы улавливается в топке в виде жидкого шлака. Отпадает необходимость в устройстве при электростанциях золоотвалов, сокращаются расходы, связанные с золоудалением;

во-вторых, при высокотемпературной обработке летучей золы в топке возможно качественное изменение ее состава и свойств, а следовательно, уменьшение плотных образований на трубах, продление срока службы котельных установок и снижение затрат на ремонт;

в-третьих, гранулированный шлак в зависимости от состава минеральной части горючих сланцев будет обладать свойствами портландцементного клинкера.

В Прибалтийском сланцевом бассейне при валовой выемке промышленного пласта горючего сланца минеральная часть его оказывается пригодной для производства портландцемента высокого качества без дошихтовки корректирующими добавками [50].

Промышленный опыт, накопленный заводом по переработке горючего сланца в Доттернхаузене (ФРГ), показывает, что для соблюдения технологического режима в заданных параметрах необходима довольно строгая стабилизация состава минеральной части. Это достигается системой гомогенизации. Для этого дробленый горючий сланец сыпается в штабель. Постоянство и гомогенность состава горючего сланца в штабеле достигается тщательным смешением полезного ископаемого. Питание печей из штабеля автоматическое, непрерывное.

Процессы сжигания прибалтийского горючего сланца валовой выемки с теплотой сгорания 1500 ккал/кг на рабочую массу или 1750 ккал/кг на сухое вещество еще в достаточной степени не освоены. Поэтому современные способы сжигания не позволяют еще эффективно использовать низкокалорийную горную массу в качестве топлива для нужд энергетики. Прибалтийская ГРЭС работает на сланце, имеющем теплоту сгорания около 2250 ккал/кг. В минеральной части такого сланца содержание СаО снижается от 60—63% (в горной массе) до 50—52%. При сжигании сланца с более высокой теплотой сгорания, чем небогатой горной массы, быстроохлажденные шлаки также обладают гидравлической активностью и могут с успехом использоваться для получения смешанных вяжущих типа шлакопортландцемента. Опытами установлено, что наиболее активные шлаки получают при содержании СаО около 43%. В этом случае доля портландцементного клинкера в смеси клинкер—шлак не превышает 30% и обеспечивает получение шлакопортландцемента с активностью исходного клинкера [70]. При содержании СаО в шлаке до 50—52% необходимая добавка клинкера должна быть увеличена. Такие шлаки вполне пригодны для изготовления высокопрочных автоклавных изделий при добавке к ним тонкомолотого песка, извести, гипса или других активизаторов.

Принципиальная технологическая схема комплексного производства электроэнергии и цемента на базе горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна должна обеспечить в первую очередь стабильность состава горючего сланца и минеральной его части с целью равномерного ведения технологического режима и получения достаточно высококачественного шлака. Технологическая схема должна предусмотреть также такой способ сжигания, который бы позволял эффективно использовать низкокалорийный пылевидный горючий сланец. На Доттернхаузенском заводе горючий сланец в мелкозернистом виде сжигается в печах с кипящим слоем толщиной 1 м. В этом слое зернистые частицы сланца находятся в течение примерно 15 мин.

При сжигании горючего сланца с жидким шлакоудалением интенсивность горения значительно возрастает. В топке достигается повышенное контактирование частиц между собою. Из газового потока в топке выделяются капли и пылинки, которые непрерывно попадают в пленку жидкого шлака, стекающую по шлакоулавливающим поверхностям топки. Подвижная пленка шлакового расплава является, таким образом, скоростным реактором. Время пребывания минеральных компонентов в топке не превышает 3 мин.

По сравнению с производством клинкера в цементных печах интенсификация производства клинкера по новому методу возрастает примерно в 100 раз.

Шлаковый расплав стекает непрерывно в гранулятор и транспортируется в помольные цехи, которые могут размещаться как на территории электростанции, так и за ее пределами.

Топки с жидким шлакоудалением неприменимы для сжигания прибалтийского горючего сланца с высоким содержанием и значительной тугоплавкостью золы.

Вполне удовлетворительные результаты получены в новой высокоинтенсивной топке прямоточного типа, разработанной Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского, что позволило в основном решить главные вопросы, связанные с практическим решением проблемы комплексного использования прибалтийского горючего сланца для производства электроэнергии и цемента.

Выполненные технико-экономические исследования позволяют ожидать, что осуществление комплексной технологии сжигания горючего сланца валовой выемки и получения энергоклинкера высоких марок по сравнению с отдельным производством энергии и цемента обеспечит экономию: капитальных вложений в размере 12,8%, эксплуатационных затрат — 19,3%, приведенных затрат — 22,4%. Новая технология позволяет сберечь 16,6% топлива. Количество промышленно-производственного персонала уменьшается примерно на 26,2% [103].

Принципиально новую установку для сжигания сланца создали ученые Института термодинамики и электрофизики АН Эстонской ССР.

По новой схеме мощные парогенераторы оборудуются установками для предварительной газификации сланца в кипящем слое. Топливо, измельченное до 4—5-миллиметровых гранул, продувается воздухом, и при температуре 800°С сгорает лишь коксующаяся часть сланца. При этом выделяются высококалорийные газы, составляющие около 90% органической части сланца, которые горят в топке уже при температуре 1400°С. Зола при таком нагреве плавится, что и обеспечивает надежный режим жидкого шлакоудаления. Важно и то, что в процессе горения сланца вредные сернистые соединения вступают в реакцию с минеральной его частью и выход их в атмосферу значительно уменьшается.

На опытной установке зола вообще не попадает в атмосферу и поэтому есть уверенность в том, что и в промышленных условиях на реконструированных парогенераторах выброс золы в атмосферу уменьшится в 3—4 раза.

Эта работа была выполнена по заказу сланцеперерабатывающего комбината в г. Сланцы. Реконструкция десяти работающих парогенераторов увеличит их производительность на  $\frac{1}{3}$  с лишним и позволит отказаться от строительства четырех новых установок.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Широкие перспективы развития имеет технологическое использование горючих сланцев с целью производства разнообразной химической продукции. В СССР технологическая переработка горючих сланцев осуществляется на комбинатах им. В. И. Ленина в г. Кохтла-Ярве и «Кивиыли» Эстонской ССР, комбинате в г. Сланцы Ленинградской области и на Сызранском сланцеперерабатывающем заводе.

Развитием технологического использования горючих сланцев успешно занималась группа инженеров во главе с И. М. Губкиным. Ею была разработана технология приготовления из сланцев различных продуктов, как-то: ихтиол, черный лак, различные мыла, парафины, сернокислый аммоний и т. д. Такое внимание к горючим сланцам объясняется тем, что, несмотря на низкие топливные качества, они и, в частности, сланец-кукерсит являются ценным химическим сырьем.

В табл. 108 представлены данные, характеризующие горючие сланцы Прибалтийского сланцевого бассейна как химическое сырье в сравнении с другими видами твердого топлива [4].

В процессе переработки горючего сланца получают жидкие продукты: смола, газбензин и газ.

Институтом химии АН Эстонской ССР разработаны несколько вариантов схемы переработки сланцевой смолы с целью получения таких химических продуктов, как синтетические моющие средства и высококачественные смазочные масла. Эта схема проходит промышленную проверку на сланцехимическом комбинате «Ки-

Характеристика прибалтийского горючего сланца-кукерсита  
как химического сырья

Показатель	Вид сырья				
	антрацит	каменный уголь	бурый уголь	торф	сланец
Выход летучих (смолы и газа), % к горючей массе	5	30	40	70	> 80

виюли», на котором в 1969 г. пущен в эксплуатацию цех моющих средств.

Технологическая последовательность переработки смолы и асортимент продукции, получаемой при этом, показаны на рис. 50, а, б, в, г.

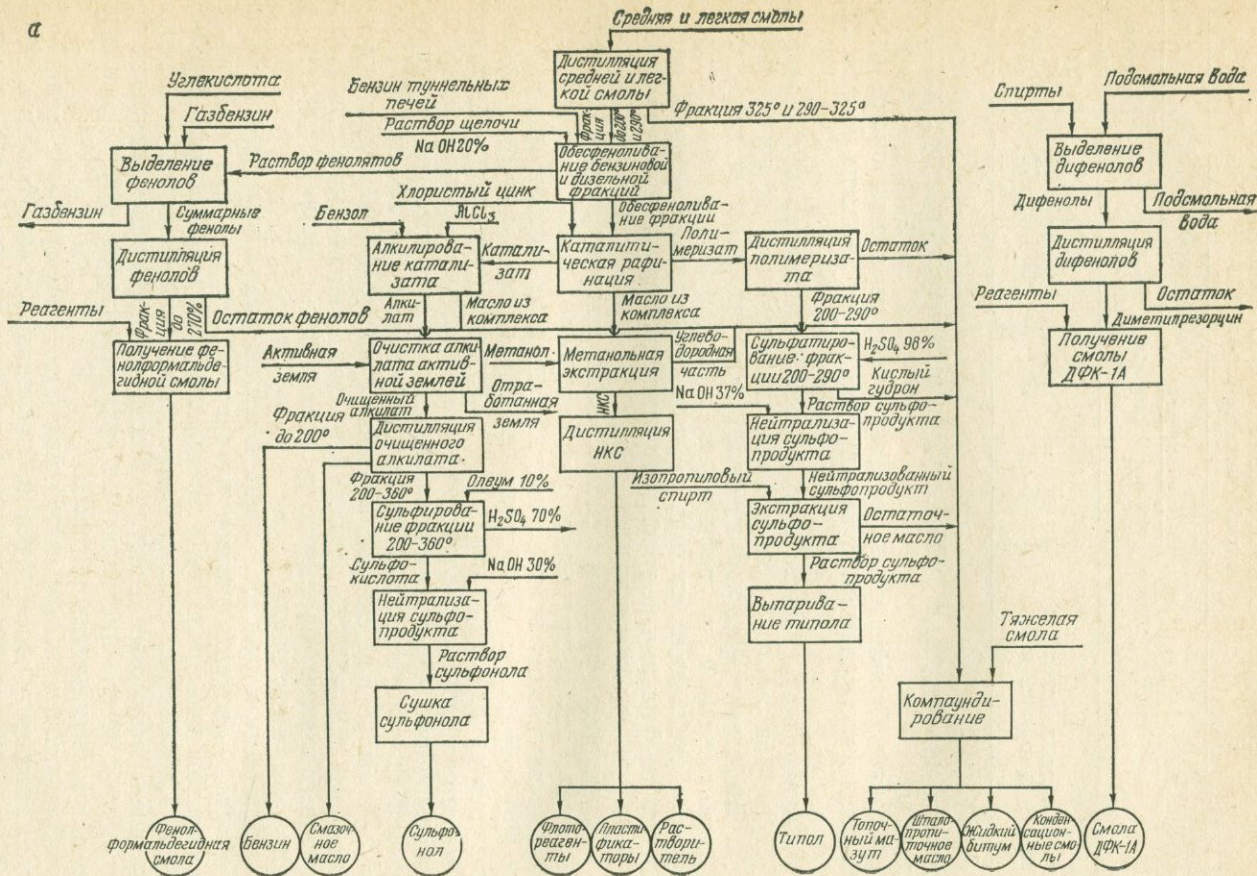
По варианту I (рис. 50, а) первым этапом процесса является дистилляция смолы с последующей дефеноляцией ее легких фракций. Выделение фенолов из более широких фракций затруднено в связи с высокой их плотностью и нецелесообразно из-за чрезмерного увеличения расхода щелочи. Выделенные фенолы разгоняются на фракции, и дистиллят используется для синтеза фенолформальдегидных смол.

Бензиновая фракция смолы подвергается предварительной очистке с целью получения углеводородов, пригодных для синтеза, и выделения нейтральных кислородных соединений.

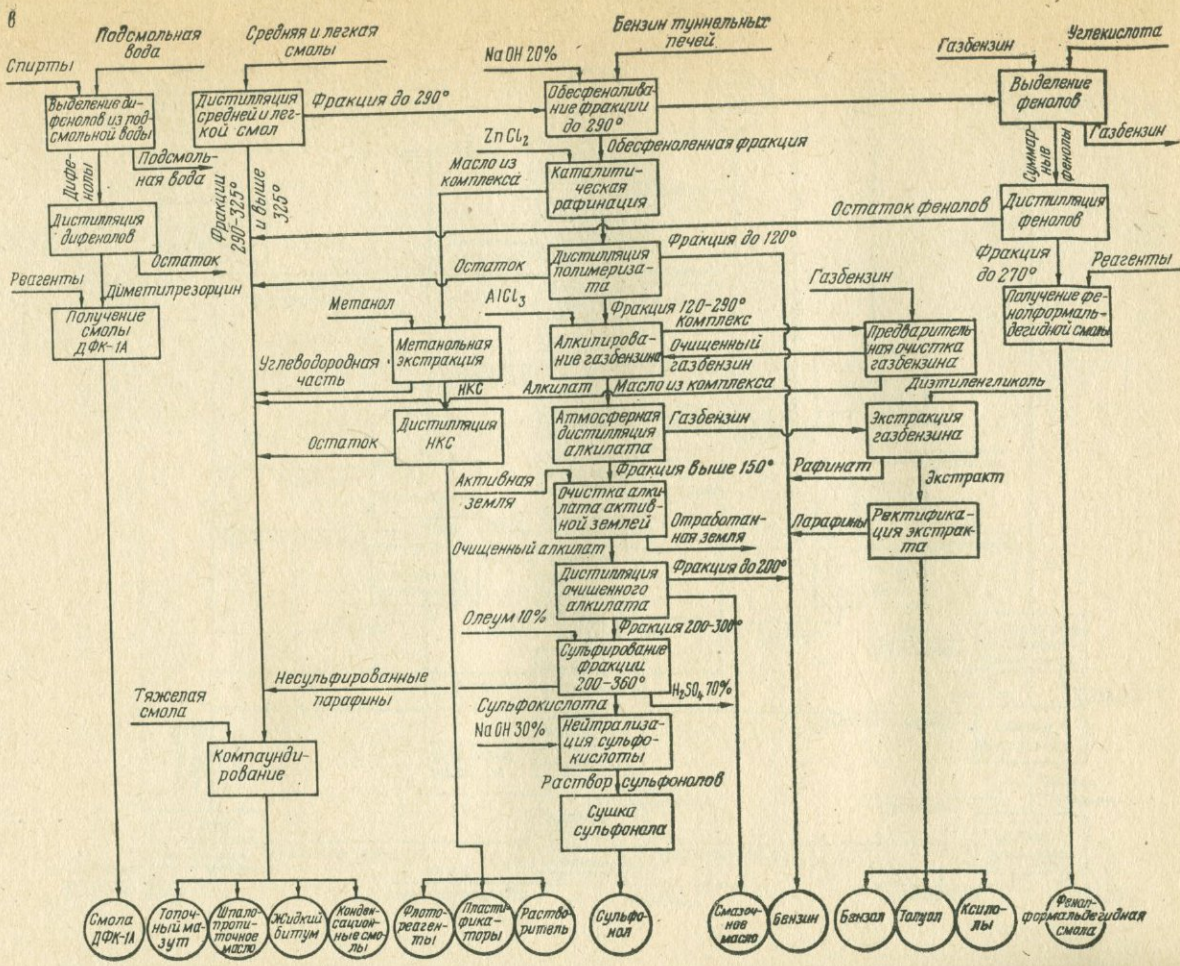
При обработке обесфеноленной фракции хлористым цинком получают два слоя: верхний — катализат и нижний — комплекс хлористого цинка с кислородными соединениями. Катализат после фильтрования через активную землю разделяется на фракции: до 120°С, являющуюся компонентом бензина, и 120—190°С — исходное сырье для синтеза моющих средств и смазочных масел. Фракция 290—380°С может служить смазочным маслом для швейных машин, а остаток дистилляции — в качестве цилиндрического смазочного масла.

Комплекс хлористого цинка и смолы разлагается водой. Нижний слой — водный раствор хлористого цинка — может быть использован для пропитки и антисептирования древесины. Верхний слой — концентрат кислородных соединений — поступает на экстракцию метиловым спиртом. После ректификации экстракта получают легкие дистиллятные кетоны, которые можно использовать в качестве растворителей.

Следующим этапом схемы является алкилирование бензола и ароматических углеводородов, содержащихся во фракции 200—290°С. Алкилат затем поступает на фильтрование через активную землю, а комплекс хлористого алюминия с органическими









соединениями смолы разлагается водой. Масло, выделенное из комплекса, дистиллируется для получения растворенного в нем бензола. Остальная часть комплекса является компонентом для шпалопроточного масла.

Алкилат разделяется атмосферно-вакуумной разгонкой на фракции: до  $200^{\circ}\text{C}$ , являющуюся компонентом бензина и вместе с фракцией катализатора, выкипающей до  $120^{\circ}\text{C}$ , — товарным бензином;  $200\text{—}360^{\circ}\text{C}$  — сырьем для получения алкиларилсульфонатов и остаток, выкипающий при температуре выше  $360^{\circ}\text{C}$ . По своим показателям он соответствует требованиям, предъявляемым моторным смазочным маслам.

Фракция алкилата  $200\text{—}360^{\circ}\text{C}$  подвергается сульфированию олеумом с содержанием 10%-ного свободного серного ангидрида. После нейтрализации 20—30%-ной щелочью получается паста, содержащая активного вещества 40—42%, сульфата натрия 8—10% и воды 50—52%. После выпаривания влаги остается продукт, содержащий 80% активного вещества и 20% сульфата натрия.

Предварительная очистка дизельной фракции с целью получения моющих средств типа вторичных алкилсульфатов осуществляется по той же схеме, что и для бензиновой фракции. Отличие состоит в том, что в данном случае получают нейтральные кислородные соединения с более высокой молекулярной массой, вследствие чего они могут быть использованы в качестве флоторагентов.

Очищенная дизельная фракция подвергается сульфатированию 98%-ной серной кислотой по режиму сульфозэтерификации, в результате чего получается два слоя: кислотный и масляный, подвергающиеся экстракции водным раствором изопропилового спирта. После удаления спирта водный раствор алкилсульфата расфасовывается и становится готовым моющим средством типа вторичных алкилсульфатов. В силу большой гигроскопичности в порошкообразном состоянии этот продукт получить невозможно. Остаточное масло используется как разбавитель для шпалопроточного масла.

В схему включено, кроме того, производство из фенолов подсмольных вод клеевой смолы ДФК.

По варианту II (рис. 50, б) дизельная фракция смолы после соответствующей очистки направляется на алкилирование бензола с целью получения алкиларилсульфонатов по схеме, аналогичной схеме переработки бензиновой фракции (вариант I).

В этом случае отпадает необходимость отдельной переработки легких фракций для получения моющих средств типа вторичных алкилсульфатов.

По варианту III (рис. 50, в) синтез сланцевого сульфанола осуществляется с одновременным получением очищенных ароматических углеводородов: бензола, ксилолов. Экономически такой процесс представляется перспективным, так как вместо обычного

бензола в данном случае употребляется сланцевый газбензин. Ароматизированный газбензин поступает на очистку комплексом хлористого алюминия, получающимся при алкилировании. Отработанный комплекс разлагается водой. Водный раствор хлористого алюминия сбрасывается в канализацию, а выделившееся масло передается в отделение компаундирования. Очищенный газбензин поступает на алкилирование, после чего избыток ароматических углеводородов отгоняется и подается на экстракцию диэтиленгликолем. В экстракте концентрируются ароматические углеводороды, а в рафинаде — парафиновые углеводороды с некоторым количеством ароматических углеводородов. Рафинад используется в качестве компонента бензина, а экстракт направляется на ректификацию, где из него отбираются бензол, ксилолы и другие ароматические углеводороды.

По варианту IV (рис. 50, з) для получения сульфола используется хлорный метод. В этом варианте фракция смолы, содержащая алкилат (компонент, выкипающий при температуре выше 200°С) наряду с алкилароматическими углеводородами имеет в своем составе некоторое количество парафиновых углеводородов, являющихся хорошим сырьем для синтеза алкиларилсульфонатов.

Парафиновые углеводороды подвергаются хлорированию до содержания в хлорпарафинах 20% хлора. Хлорпарафины поступают затем на алкилирование с газбензином по схеме, аналогичной схеме варианта III. Алкилат после отгонки ароматических углеводородов дистиллируется на фракции и остаток, которые перерабатываются по схеме, аналогичной схеме варианта I.

Ассортимент и структура годового объема продуктов комплекса по вариантам схемы переработки смолы представлены в табл. 109.

Как видно из табл. 109, наибольшее количество химических продуктов при одном и том же количестве перерабатываемой смолы дают варианты III и IV. В этих вариантах объем продукции увеличивается в сравнении с вариантом I на 20%. Увеличение объема суммарной продукции произошло благодаря потреблению в процессе алкилирования газбензина вместо бензола. Использование его в производстве сульфола позволяет одновременно получать высококачественные продукты из ароматических углеводородов: бензол, ксилолы. В результате увеличивается объем и повышается доля химических продуктов в комплексе продукции.

В варианте III объем химической продукции возрастает против варианта I на 17%, а в варианте IV — на 15,5%. В варианте IV выпуск мощного средства увеличивается в сравнении с вариантом III на 23,7% и против варианта I — на 130,5%, количество шпалопропиточного масла и выход бензола уменьшаются.

Варианты III и IV за счет использования газбензина дают гораздо большее количество высокооктанового автобензина

Возможный ассортимент и структура годового объема производства продукции на сланцехимических предприятиях по переработке сланцевой смолы

Продукты	Варианты схемы переработки смолы							
	в % к итогу				в % к варианту I			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Топливные:								
автобензин . . . . .	5,25	6,37	14,0	14,1	100,0	125,0	321,2	321,2
топочное масло . . . . .	19,3	14,9	12,8	12,9	100,0	79,5	79,5	79,5
Химические:								
фенолформальдегидная смола . . . . .	3,9	3,8	3,3	3,3	100,0	100,0	100,0	100,0
моющее средство «Типол» . . . . .	1,7	—	—	—	100,0	—	—	—
сульфонол . . . . .	5,6	10,2	8,7	10,8	100,0	186,6	186,6	230,9
смазочное масло . . . . .	3,4	4,0	3,4	3,4	100,0	121,4	121,4	121,4
смола ДФК . . . . .	1,0	1,0	0,87	0,87	100,0	100,0	100,0	100,0
флотореагенты . . . . .	0,24	0,24	0,2	0,2	100,0	100,0	100,0	100,0
растворитель . . . . .	0,12	0,11	0,09	0,09	100,0	100,0	100,0	100,0
пластификаторы . . . . .	0,19	0,18	0,16	0,16	100,0	100,0	100,0	100,0
конденсационные смолы . . . . .	2,9	2,8	2,4	2,43	100,0	100,0	100,0	100,0
битум . . . . .	8,0	7,8	6,65	6,7	100,0	100,0	100,0	100,0
шпалопрпиточное масло . . . . .	48,4	48,6	41,6	40,0	100,0	103,4	103,4	98,9
бензол . . . . .	—	—	4,43	3,65	—	—	—	—
ксилолы и другие ароматические продукты . . . . .	—	—	1,4	1,4	—	—	—	—
Побочные:								
серная кислота остаточная . . . . .	—	—	—	—	100,0	173,0	173,0	178,0
Итого продукции из сланцевой смолы	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	102,9	120,0	120,0
в том числе:								
топливной . . . . .	24,55	21,27	26,8	27,0	100,0	89,1	131,0	131,0
химической . . . . .	75,45	78,73	73,2	73,0	100,0	107,0	117,0	115,5

в сравнении с другими вариантами. В обоих случаях рост против варианта I составляет 221,2%.

Вариант I дает наибольший выход топочного масла, что не может не отразиться на экономике переработки смолы, так как при экономической оценке топочное масло из сланцевой смолы оценивается по себестоимости аналогичного продукта — нефтяного мазута.

Изменение объема производства продуктов комплекса благоприятно сказалось и на их количественном соотношении. Если в варианте I на долю топочного масла приходится 19,3%, то в вариантах III и IV соответственно 12,8 и 12,9%.

Доля основных химических продуктов (сульфонола и смазочных масел) в варианте III составляет 12,1%, а в варианте IV — 14,2%. В варианте IV химических продуктов вырабатывается

Таблица 110

**Ориентировочные капитальные вложения на строительство сланцехимических предприятий по переработке одинакового количества сланцевой смолы по различным вариантам**

Показатели	Варианты схемы переработки смолы			
	I	II	III	IV
Капитальные вложения, % . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0
в том числе:				
здания и сооружения, % . . . . .	34,4	34,7	33,9	34,4
оборудование, % . . . . .	65,6	65,3	66,1	65,6
Удельные капитальные вложения на I т смолы . . . . .	—	—	—	—

Показатели	Варианты схемы переработки смолы			
	в % к варианту I			
	I	II	III	IV
Капитальные вложения, % . . . . .	100,0	104,3	123,5	127,5
в том числе:				
здания и сооружения, % . . . . .	100,0	105,4	122,0	127,5
оборудование, % . . . . .	100,0	103,8	124,2	127,5
Удельные капитальные вложения на I т смолы . . . . .	100,0	104,0	97,5	102,0

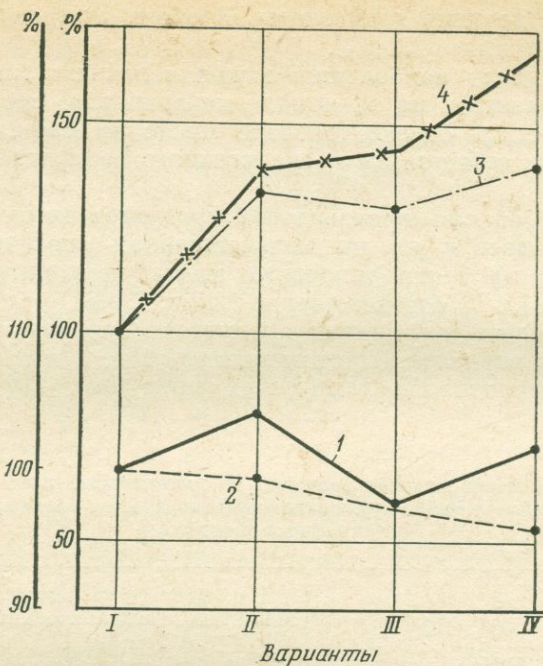


Рис. 51. Показатели переработки сланцевой смолы по вариантам схемы Института химии АН Эстонской ССР

1 — удельные капитальные вложения; 2 — цеховая себестоимость; 3 — производительность труда; 4 — рентабельность

гораздо больше, чем топочного масла. В вариантах III и IV снижается доля шпалопропиточного масла.

Таким образом, наибольший выход химических продуктов дают варианты III и IV.

Анализируемая схема, кроме того, позволяет при всех вариантах использовать остаточную серную кислоту в качестве товарного продукта.

В экономическом исследовании эффективности различных вариантов схемы переработки сланцевой смолы важное значение имеет анализ капитальных вложений.

Данные о капитальных вложениях по вариантам схемы приведены в табл. 110.

Поскольку в вариантах III и IV кроме смолы перерабатывается сланцевый газбензин, то удельные капитальные вложения на 1 т сырья не растут прямо пропорционально увеличению капитальных затрат, а наибольшая сумма их приходится на варианты III и IV, что обусловлено усложнением технологической схемы с целью достижения большего выхода целевых химических про-

дуктов. Поэтому на 1 руб. капитальных вложений по вариантам II, III и IV приходится значительно больше товарной продукции, чем по варианту I. Вместе с тем во всех случаях окупаемость капитальных вложений оказывается выше нормативной по химической промышленности.

Удельные капитальные вложения на 1 т перерабатываемого сырья по варианту III меньше, чем по вариантам I, II и IV (рис. 51).

Данные о снижении цеховой себестоимости сравнимой продукции комплекса по вариантам приведены в табл. 111.

Таблица 111

**Изменение цеховой себестоимости сравнимой продукции по вариантам схемы переработки сланцевой смолы**

Показатель	Варианты схемы переработки смолы			
	I	II	III	IV
Себестоимость, % к варианту I . . .	100,0	99,7	97,5	96,7

Как показывают данные табл. 111, варианты II, III и IV обеспечивают снижение цеховой себестоимости сравнимого ассортимента продукции. При этом наибольшее снижение издержек производства имеют варианты III и IV (рис. 51).

Уменьшение затрат производства на выпуск сравнимой продукции обусловлено снижением себестоимости главным образом сульфанола. Если принять себестоимость его в варианте I за 100%, то в варианте II она снижается на 1,5%, в варианте III — на 10,7% и в варианте IV — на 14,5%.

По величине затрат на производство 1 т сульфанола наиболее экономичными являются варианты III и IV.

Изменение объема производства и затрат на выработку сульфанола привели к изменению соотношений себестоимости отдельных продуктов в себестоимости продукции комплекса переработки смолы. Данные, характеризующие изменения в соотношении себестоимости продукции комплекса, приведены в табл. 112.

Как видно из табл. 112, в вариантах III и IV повысилась доля себестоимости топливных продуктов. Это связано с использованием очищенных фракций газбензина в процессе алкилирования, в результате чего увеличился выход товарного высокооктанового автобензина. Доля себестоимости топочного масла в издержках производства продукции комплекса в этих вариантах уменьшилась.

## Доля себестоимости продуктов сланцехимических предприятий по переработке сланцевой смолы в продукции комплекса

Продукты	Варианты схемы переработки смолы в % к итогу			
	I	II	III	IV
Топливные:	4,1	4,0	7,3	7,1
в том числе:				
бензин . . . . .	2,5	2,8	6,3	6,1
топочный мазут . . . . .	1,6	1,2	1,0	1,0
Химические:	95,9	96,0	92,7	92,9
в том числе:				
фенолформальдегидные смолы . . . . .	11,6	10,3	9,2	8,9
моющее средство «Типод» . . . . .	10,1	—	—	—
сульфонол . . . . .	24,0	39,3	32,0	36,9
смазочное масло . . . . .	2,7	2,9	2,6	2,5
смолаДФК . . . . .	5,2	4,6	4,1	3,9
флотореагенты . . . . .	0,6	0,5	0,5	0,4
пластификаторы . . . . .	0,4	0,4	0,4	0,3
растворитель . . . . .	0,3	0,2	0,2	0,2
конденсационные смолы . . . . .	4,4	3,9	3,6	3,4
жидкий битум . . . . .	0,8	0,7	0,6	0,6
шпалопропиточное масло . . . . .	35,1	32,1	28,6	26,5
бензол . . . . .	—	—	7,5	5,9
ксилолы и другие ароматические продукты . . . . .	—	—	2,5	2,4
Побочные:				
серная кислота остаточная . . . . .	0,7	1,1	0,9	1,0
Себестоимость продукции комплекса	100,0	100,0	100,0	100,0
в том числе затраты на переработку . . . . .	41,0	47,9	38,9	41,0

В группе химических продуктов по вариантам III и IV наблюдается снижение доли себестоимости фенолформальдегидных смол, сульфонола и смазочных масел. Это связано с общим увеличением количества химических продуктов за счет получения товарного бензола, ксилолов. Объем производства основных продуктов — моющих средств и смазочных масел — в вариантах III и IV увеличился.

Значительное уменьшение доли шпалопропиточного масла в себестоимости комплекса продукции обусловлено двумя факторами: увеличением объема химических продуктов и уменьшением количества вырабатываемого шпалопропиточного масла (вариант IV).

В целях выявления факторов, вызвавших изменения в себестоимости продукции комплекса, в табл. 113 приводятся данные

о структуре цеховой себестоимости продукции, вырабатываемой из сланцевой смолы по различным вариантам.

Поскольку в вариантах III и IV кроме смолы перерабатывается и газбензин, доля сырьевой составляющей в этих вариантах увеличивается.

Переход от варианта I к последующим, характеризующийся углублением процесса химической переработки сланцевой смолы, обуславливает увеличение расхода материалов и реагентов. В вариантах III и IV расходы по статье «Материалы» соответственно на 20 и 31,8% выше, чем в варианте I. Основными факторами, оказавшими влияние на рост затрат на производство продукции комплекса в вариантах III и IV по этой статье, явились изменения объема и структуры потребленных материалов и реагентов. Так, в вариантах III и IV почти в 2 раза возрос расход олеума и катализатора (хлористого алюминия), а также появился новый реагент — диэтиленгликоль. Однако рост потребности в дорогостоящем диэтиленгликоле в значительной мере компенсировался устранением затрат на бензол.

В общем увеличение затрат по статье «Материалы» в варианте III по сравнению с вариантом I произошло за счет изменения объема производства на 41% и в варианте IV — на 46,4%. Остальная доля роста себестоимости приходится на фактор изменения структуры потребленных материалов и реагентов.

Большую роль в увеличении издержек производства в вариантах III и IV сыграли такие статьи затрат, как: «Пар», «Амортизация» и «Цеховые расходы», а в варианте IV — также и «Холод». В целом затраты производства по вариантам III и IV увеличились против затрат по варианту I главным образом за счет изменения факторов объема и структуры.

Сравнительная финансовая оценка различных вариантов переработки сланцевой смолы на химические продукты приведена в табл. 114.

Как видно из табл. 114, при любых вариантах схемы производство комплекса продуктов является прибыльным.

Все приведенные данные свидетельствуют о том, что основой повышения экономической эффективности сланцепереработки являются химические продукты, причем любой вариант схемы химической переработки смолы дает положительный эффект.

Результативные финансовые и технико-экономические показатели по вариантам переработки сланцевой смолы приведены в табл. 115.

Как видно из табл. 115, переработка сланцевой смолы на химические продукты является высокодоходным производством.

Данные табл. 115 показывают также, что увеличение выпуска основных продуктов (сульфонола и смазочных масел) по вариантам II, III и IV значительно повышает рентабельность химической переработки смолы. Наиболее высокий процент рентабельности имеют варианты II и IV.

**Структура цеховой себестоимости продукции сланцехимических предприятий  
по переработке сланцевой смолы**

Статья затрат	Варианты схемы переработки смолы			
	в % к итогу			
	I	II	III	IV
Основные расходы:				
сырье . . . . .	58,8	52,1	61,2	59,0
материалы . . . . .	28,9	36,9	27,3	29,0
электроэнергия . . . . .	2,7	2,4	2,3	2,3
пар . . . . .	2,3	2,2	2,6	2,6
вода . . . . .	0,1	0,1	0,1	0,4
холод . . . . .	—	—	—	0,1
заработная плата с отчислениями на социальное страхование	1,7	1,4	1,4	1,4
амортизация . . . . .	2,9	2,6	2,7	2,8
Итого основные расходы . . . . .	97,4	97,7	97,6	97,6
Цеховые расходы . . . . .	2,6	2,3	2,4	2,4
Цеховая себестоимость продукции комплекса . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0

Статья затрат	Варианты схемы переработки смолы			
	в % к варианту I			
	I	II	III	IV
Основные расходы:				
сырье . . . . .	100,0	100,0	132,0	132,0
материалы . . . . .	100,0	143,8	120,0	131,8
электроэнергия . . . . .	100,0	97,0	142,9	113,0
пар . . . . .	100,0	106,5	137,6	146,5
вода . . . . .	100,0	100,0	100,0	585,0
холод . . . . .	—	—	—	—
заработная плата с отчислениями на социальное страхование	100,0	93,2	105,9	112,0
амортизация . . . . .	100,0	104,3	123,5	127,5
Итого основные расходы . . . . .	100,0	113,1	126,7	131,5
Цеховые расходы . . . . .	100,0	100,1	116,4	121,1
Цеховая себестоимость продукции комплекса . . . . .	100,0	112,8	126,8	131,3

## Сравнительные финансовые показатели переработки сланцевой смолы по различным вариантам, %

Показатели и продукты	Варианты схемы переработки смолы			
	I	II	III	IV
Полная себестоимость продуктов комплекса . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0
в том числе:				
стоимость сырья . . . . .	55,9	49,8	58,5	56,5
стоимость переработки . . . . .	42,6	48,7	40,0	42,0
внепроизводственные расходы . . . . .	1,5	1,5	1,5	1,5
Полная себестоимость продуктов комплекса, в % к варианту I . . . . .	100,0	111,2	125,5	129,5
Стоимость товарной продукции по оптовым ценам . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0
Топливные:				
автобензин А-72 . . . . .	2,7	2,7	6,4	5,8
топочное масло . . . . .	3,5	2,3	2,1	1,9
Итого топливные продукты в % к итогу . . . . .	6,2	5,0	8,5	7,7
То же, % к варианту I . . . . .	100,0	98,8	183,5	183,5
Химические:				
фенолформальдегидные смолы . . . . .	12,2	10,0	9,1	8,3
моющее средство «Типол» . . . . .	9,6	—	—	—
сульфонол . . . . .	35,3	53,6	49,0	54,9
смазочное масло . . . . .	3,8	3,8	3,5	3,1
смолаДФК . . . . .	6,6	5,4	4,9	4,5
флотореагенты . . . . .	0,2	0,2	0,2	0,2
пластификаторы . . . . .	0,8	0,7	0,6	0,5
растворитель . . . . .	0,3	0,3	0,2	0,2
конденсационные смолы . . . . .	3,6	2,5	2,3	2,1
жидкий битум . . . . .	1,3	1,2	1,0	0,8
шпалопрпиточное масло . . . . .	19,8	16,8	15,3	13,3
бензол . . . . .	—	—	3,6	2,7
ксилолы и другие ароматические продукты . . . . .	—	—	1,4	1,3
Побочные				
серная кислота остаточная . . . . .	0,3	0,5	0,4	0,4
Итого химические продукты, в % к итогу . . . . .	93,8	95,0	91,5	92,3
То же, % к варианту I . . . . .	100,0	124,0	131,5	146,2
Стоимость товарной продукции, % к варианту I . . . . .	100,0	122,2	134,3	147,9
Результат реализации товарной продукции комплекса, в % к варианту I . . . . .	100,0	132,1	142,8	165,1

## Рентабельность переработки сырой сланцевой смолы по различным вариантам, %

Показатели	Варианты схемы переработки смолы			
	I	II	III	IV
Полная себестоимость продуктов комплекса . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0
в том числе стоимость сырья . . . . .	55,9	49,8	58,5	56,5
Стоимость товарной продукции, % к полной себестоимости . . . . .	205,0	224,2	220,0	234,2
в том числе:				
топливной . . . . .	12,7	11,6	18,6	18,0
химической . . . . .	192,3	212,6	201,4	216,2
Рентабельность продукции, % . . . . .	105,5	124,5	120,8	134,9
Производство товарной продукции на 1 руб. капитальных вложений, % к варианту I . . . . .	100,0	118,3	111,2	116,5
Срок окупаемости капитальных вложений, % к варианту I . . . . .	100,0	79,0	83,5	76,6

Лучшие экономические результаты варианта IV обусловлены тем, что хлорный метод производства сульфонола позволяет получить наибольший выход этого моющего средства из перерабатываемой смолы.

Рентабельность получаемой продукции в результате переработки сланцевой смолы по варианту III на 3,7% меньше, чем по варианту II. Связано это с тем, что при общем росте объема продукции в гораздо большей степени увеличивается доля в топливных продуктах главным образом высокооктанового автобензина.

В известной мере отрицательное влияние на рентабельность (вариант III) оказывает и тот факт, что газбензин учтен при расчете себестоимости продукции комплекса по очень высокой цене. Если расходы на газбензин принять на уровне его себестоимости, то рентабельность получаемой продукции по вариантам II и III будет примерно равной.

Производительность труда по вариантам схемы переработки сланцевой смолы характеризуется данными, приведенными в табл. 116.

Как видно из табл. 116, варианты II, III и IV обеспечивают значительный рост производительности труда. Так, годовая выработка одного рабочего достигает наибольшего уровня по варианту IV, что связано с увеличением объема производства сульфонола и смазочных масел. По варианту III выработка одного рабочего в сравнении с вариантом II на 3% меньше. Сниже-

## Производительность труда в смолоперерабатывающих цехах

Показатели	Варианты схемы переработки смолы			
	I	II	III	IV
Выработка одного рабочего, % к варианту I . . . . .	100,0	131,3	127,2	132,7
Выработка одного трудящегося, % к варианту I . . . . .	100,0	131,0	127,6	134,2

ние производительности труда произошло за счет увеличения числа рабочих, занятых на переработке газбензина.

Анализ данных показывает, что варианты II и III имеют примерно равную экономическую эффективность. Однако из этих двух вариантов необходимо отдать предпочтение варианту III в связи с тем, что при производстве продуктов по этому варианту можно отказаться от использования бензола.

Наиболее высокую рентабельность получаемой продукции при наименьшем сроке окупаемости капитальных вложений имеет вариант IV. По этому варианту по хлорному методу используется парафиновая часть сырья для получения добавочного количества сульфонола.

Хлорный метод имеет большие перспективы. На этом методе было основано первое производство сульфонола за рубежом. Однако впоследствии по мере отработки технологии процесса полимеризации пропилен и освоения технологии производства широкого применение получил бесхлорный метод.

В настоящее время вновь за рубежом преимущественное развитие получает хлорный метод изготовления сульфонола.

В СССР в полупромышленном масштабе также освоено и ведется производство хлорного сульфонола. Осуществляется проектирование и строительство новых промышленных цехов. И, как правило, экономически целесообразно выпуск хлорного сульфонола осуществлять вблизи хлорного производства.

Газы термического разложения горючих сланцев в установках с твердым теплоносителем также могут служить сырьем для получения углеводородных продуктов.

Технической основой переработки углеводородного сланцевого газа, получаемого в установках с твердым теплоносителем, является извлечение из газа смеси содержащихся в нем непредельных углеводородов и разделение их на индивидуальные компоненты: этилен, пропилен и бутилен с последующей переработкой их на полиолефиновые пластические массы и другие полимерные продукты.

Однородность сланцевых газов позволяет перерабатывать их по единой технологической схеме, показанной на рис. 52.

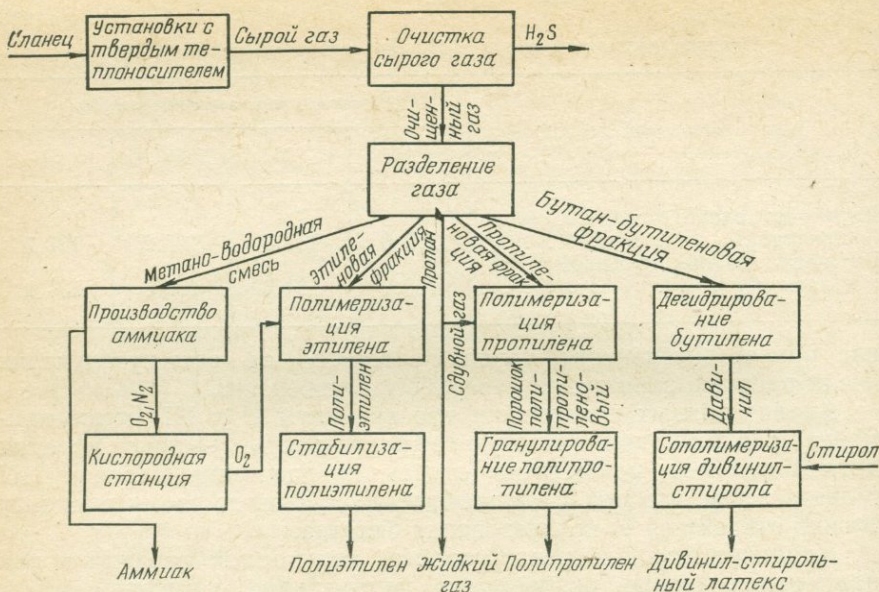


Рис. 52. Принципиальная схема комплексной химической переработки сланцевого газа

Чистота и качество химических продуктов, получаемых на базе углеводородов, в значительной степени зависят от чистоты сырья. Поэтому исходным процессом схемы является очистка газа от сернистых соединений (органических соединений сероводорода) и углекислого газа.

После моноэтаноламиновой очистки газ компримируется до 35—40 кгс/см<sup>2</sup>. При этом давлении оставшееся количество сероводорода, углекислоты и органических соединений серы (сероуглерод, серооксиглерод, меркаптаны и др.) устраняется двухстадийной промывкой газа горячим раствором щелочи.

Разделение очищенного от вредных примесей газа осуществляется методом низкотемпературной конденсации, в результате чего получают фракции: этиленовая, пропиленовая, бутиленовая, сжиженный пропан и остаточный газ.

Этиленовая фракция является сырьем для производства полиэтилена высокого давления и полипропилена путем полимеризации пропилена в присутствии катализатора триэтилалюминия и треххлористого титана. Порошковый полипропилен затем гранулируется.

Бутиленовая фракция содержит более 80% бутилена и около 20% бутана. Это обстоятельство позволяет исключить операцию экстрактивной дистилляции из процесса и, таким образом, упростить технологическую схему переработки бутилена, что учитывается при соответствующих технико-экономических расчетах.

Бутиленовая фракция перерабатывается в дивинил-стирольный латекс.

Остаточный газ после выделения олефиновых углеводородов представляет собой метано-водородную смесь и служит сырьем для производства аммиака методом паро-воздушно-кислородной конверсии. Поскольку в процессе разделения исходного газа проводилось компримирование, то для использования этого давления принят метод высокотемпературной конверсии метана с повышенным давлением.

Жидкий пропан выпускается в качестве товарного продукта.

В установках с твердым теплоносителем при различных режимах работы выдается газ с различным химическим составом и физико-химическими свойствами. Характеристика газа приведена в табл. 117.

Характерные особенности газов, обусловленные содержанием олефиновых углеводородов и распределением отдельных углеводородных компонентов в пределах каждой гомологической группы, оказывают большое влияние на экономические результаты переработки горючего сланца по различным вариантам.

Экономический анализ эффективности термического разложения сланца в установках с твердым теплоносителем осуществляется по линии сопоставления объемов продукции, капитальных вложений, себестоимости продуктов и трудоемкости их производства.

В табл. 118 приведены данные об ассортименте и структуре химических и топливных продуктов комплекса по шести вариантам переработки сланцевого газа, полученного при термическом разложении одинакового количества технологического сланца с условным содержанием органического вещества.

Наибольшая доля химической продукции приходится на варианты VI — 99,8% и V — 99,4%.

Основным фактором, оказавшим решающее влияние на структуру химических продуктов комплекса, является химический состав сланцевого газа.

С точки зрения интересов народного хозяйства важное значение в определении преимуществ того или иного варианта переработки газа имеет вопрос об объеме производства продукции комплекса. Если годовой выпуск продукции по варианту I принять за 100%, то наибольший прирост продукции обеспечивается по варианту VI. Производство полиэтилена возрастает на 95,5% и полипропилена — на 80%, т. е. почти в 2 раза против варианта I. По сравнению с вариантом I выпуск аммиака увеличивается на 19,5%. В целом по группе химических продуктов объем производства по варианту VI возрастает на 33,4%.

Рост объема продукции комплекса неизбежно вызывает увеличение капитальных вложений в химическое производство. О степени изменений капитальных вложений по различным вариантам переработки сланцевого газа можно судить по данным табл. 119,

Физико-химические свойства и химический состав сырого сланцевого газа при различных вариантах термической переработки горючего сланца в установках с твердым теплоносителем \*

Показатели	Варианты производства газа					
	I	II	III	IV	V	VI
Содержание в газе компонентов (объемная доля), % . . . . .						
Суммы олефинов ( $C_nH_m$ ) . . . . .	28,5	28,5	33,8	38,4	34,8	38,1
в том числе:						
этилена . . . . .	17,0	16,0	16,3	24,0	23,2	25,5
пропилена . . . . .	7,2	8,0	13,4	9,2	10,3	9,8
бутилена + $C_5$ . . . . .	4,3	4,5	4,1	5,2	1,3	2,8
Суммы парафинов ( $C_nH_{2n+2}$ ) . . . . .	32,9	30,5	36,5	28,1	32,3	29,1
в том числе:						
метана . . . . .	20,0	22,5	24,7	19,5	27,9	25,5
этана . . . . .	9,7	6,0	8,4	5,2	4,0	3,0
пропана . . . . .	2,3	1,7	2,5	1,8	0,4	0,6
бутана + $C_5$ . . . . .	0,9	0,3	0,9	1,6**	—	—

\* По данным Института химии АН Эстонской ССР.

\*\* В том числе бутана — 0,9%.

Показатели	Варианты производства газа					
	I	II	III	IV	V	VI
Горючего остатка . . . . .	27,5	24,9	23,1	29,6	21,0	25,1
в том числе:						
окси углерода . . . . .	7,8	8,5	10,2	10,1	9,9	9,6
водорода . . . . .	20,2	16,4	12,9	19,5	11,1	15,5
Балластных компонентов . . . . .	11,1	16,1	6,6	3,9	11,9	7,7
в том числе:						
двуокси углерода . . . . .	7,0	13,3	2,6	3,1	9,4	6,3
сероводорода . . . . .	0,5	1,2	0,4	0,1		
кислорода . . . . .	0,3	0,6	0,3	—	0,8	0,4
азота . . . . .	3,3	1,0	3,3	0,7	1,7	1,0
Сумма углеводородов . . . . .	61,4	59,0	70,3	66,5	67,1	67,2
Молярное отношение $C_nH_m : C_nH_{2n} + 2$ .	0,86	0,93	0,92	1,36	1,08	1,31
Плотность газа, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	1,11	1,16	1,20	1,089	1,138	1,092
Теплота сгорания высшая, ккал/м <sup>3</sup> . . . .	10587	10104	11150	11774	10200	10894
Объемный выход газа с 1 т горючего сланца с содержанием органического вещества 33,5%, м <sup>3</sup> . . . . .	120	145	40	112	92	155

## Ассортимент и количественные соотношения продукции комплекса по различным вариантам переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем

Продукты	Варианты переработки газа					
	в % к итогу					
	I	II	III	IV	V	VI
Химические:						
полиэтилен . . . . .	19,1	15,7	17,0	25,0	27,8	29,0
полипропилен . . . . .	11,0	11,0	16,6	13,2	17,4	15,5
латекс . . . . .	14,7	13,4	15,1	14,3	4,2	8,3
аммиак . . . . .	50,6	55,1	46,4	44,5	50,0	47,0
сера . . . . .	0,7	2,0	0,5	0,1	—	—
Итого	96,1	97,2	95,6	97,1	99,4	99,8
Топливные						
пропан жидкий . . . . .	3,9	2,8	4,4	2,9	0,6	0,2
Всего продукции	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Продукты	Варианты переработки газа					
	в % к варианту I					
	I	II	III	IV	V	VI
Химические:						
полиэтилен . . . . .	100,0	85,0	32,0	129,5	105,5	195,5
полипропилен . . . . .	100,0	103,6	53,8	118,3	114,0	180,0
латекс . . . . .	100,0	93,6	36,7	95,9	20,3	72,3
аммиак . . . . .	100,0	113,0	32,8	87,0	72,0	119,5
сера . . . . .	100,0	293,0	26,4	18,4	—	—
Итого	100,0	104,7	35,6	99,5	75,0	133,4
Топливные						
пропан жидкий . . . . .	100,0	74,5	40,5	74,5	8,5	8,5
Всего продукции	100,0	103,5	35,8	99,1	72,6	129,0

в которой приведены данные, характеризующие структуру и динамику капитальных вложений в сланцехимические предприятия.

Как видно из табл. 119, при всех вариантах переработки сланцевого газа структура капитальных вложений остается приблизительно одинаковой. На долю зданий и сооружений приходится от 26,6 до 28,2%, на долю оборудования — от 71,8 до 73,4%. Такое соотношение капитальных вложений обусловлено высокой стои-

Ориентировочные капитальные вложения в химические предприятия  
по переработке сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем

Показатели	Варианты переработки газа					
	в % к итогу					
	I	II	III	IV	V	VI
Капитальные вложения, % . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
в том числе:						
здания и сооружения, % . . . . .	28,0	28,1	28,2	28,1	27,5	26,6
оборудование, % . . . . .	72,0	71,9	71,8	71,9	72,5	73,4
Удельные капитальные вложения на 1 т сланца, % . . . . .	—	—	—	—	—	—
Фондовооруженность труда, тыс. руб. на одного трудящегося	35,6	33,4	24,0	38,0	36,4	43,3

Показатели	Варианты переработки газа					
	в % к варианту I					
	I	II	III	IV	V	VI
Капитальные вложения, % . . . .	100,0	94,0	51,0	107,0	89,0	129,0
в том числе:						
здания и сооружения, % . . . . .	100,0	94,1	51,4	107,2	87,9	122,5
оборудование, % . . . . .	100,0	93,7	50,6	106,6	89,6	131,3
Удельные капитальные вложения на 1 т сланца, % . . . . .	100,0	90,6	76,2	104,8	85,7	128,5
Фондовооруженность труда, тыс. руб. на одного трудящегося	100,0	93,7	67,4	106,6	102,1	121,5

мостью оборудования для производства химических продуктов на базе переработки углеводородных газов.

Данные табл. 119 свидетельствуют о том, что варианты IV и VI в сравнении с другими вариантами требуют значительно больших капитальных вложений в газохимическое производство.

О влиянии количественного выхода газа с 1 т горючего сланца и его качественного состава на объем капитальных вложений по различным вариантам свидетельствуют данные табл. 120.

Таблица 120

Структура и динамика капитальных вложений по переделам газохимического производства по переработке сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем

Производство	Варианты переработки газа					
	в % к итогу					
	I	II	III	IV	V	VI
Очистки газа от CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> S . . .	0,5	0,7	0,4	0,5	0,5	0,5
Разделения газа . . .	10,0	10,7	9,9	9,4	9,1	9,0
Полиэтилена . . .	43,5	39,4	33,0	47,3	48,9	52,7
Полипропилена . . .	10,5	11,3	17,0	10,7	12,9	11,9
Латекса . . . . .	15,3	16,3	17,9	14,3	8,3	9,7
Аммиака . . . . .	20,2	21,6	21,8	17,8	20,3	16,2
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Производство	Варианты переработки газа					
	в % к варианту I					
	I	II	III	IV	V	VI
Очистки газа от CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> S . . .	100,0	120,1	40,8	100,0	78,0	121,2
Разделения газа . . .	100,0	100,0	50,0	100,0	81,2	116,0
Полиэтилена . . .	100,0	85,1	39,8	116,2	100,0	156,3
Полипропилена . . .	100,0	100,0	82,4	109,0	109,0	145,0
Латекса . . . . .	100,0	100,0	60,0	100,0	48,5	82,5
Аммиака . . . . .	100,0	100,0	54,3	94,0	89,3	102,9
Итого	100,0	94,0	51,0	107,0	89,0	129,0

В вариантах III и V выход газа с большим содержанием в нем олефиновых углеводородов составляет соответственно 33,3 и 76,7% против варианта I, что и обусловило в итоге меньшую потребность в капитальных вложениях для химической переработки газа по этим вариантам по сравнению с другими вариантами.

Увеличение суммы капитальных вложений по вариантам IV и VI объясняется тем, что газ здесь содержит самый большой процент олефиновых углеводородов. Размеры производства продук-

тов соответственно возрастают и, следовательно, требуется больше капитальных затрат.

Как видно из табл. 120, по варианту VI 64,6% всех капитальных вложений идет на производство полиэтилена и полипропилена. По вариантам IV и V на долю полиолефиновых пластических масс приходится соответственно 58 и 61,8% капитальных вложений.

Капитальные вложения на разделение и очистку газа от двуокиси углерода и сероводорода имеют примерно равную долю в общей сумме капитальных вложений по всем вариантам.

В связи с меньшим выходом бутилена по вариантам V и VI доля капитальных вложений на производство латекса оказывается ниже, чем по другим вариантам. То же самое относится и к капитальным затратам на производство аммиака.

Эффективность капитальных вложений на химическую переработку газа определяется также удельными капитальными затратами на 1 т перерабатываемого горючего сланца, равного для всех вариантов количества и качества. Из табл. 119 видно, что наиболее высокие удельные капитальные затраты на 1 т потребленного горючего сланца имеют варианты I, IV и VI.

Эффективность текущих затрат при различных вариантах переработки сланцевого газа характеризуется соотношением уровней цеховой себестоимости сравнимой продукции. Данные об ее изменении приведены в табл. 121.

Таблица 121

**Цеховая себестоимость сравнимой продукции по вариантам переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем**

Показатели	Варианты переработки газа					
	I	II	III	IV	V	VI
Себестоимость сравнимого комплекса продуктов, % к варианту I . . . . .	100,0	111,0	106,2	97,8	104,3	96,7

Данные табл. 121 свидетельствуют о явном преимуществе вариантов IV и VI по сравнению со всеми другими вариантами. Самый низкий уровень сравнимой себестоимости — в варианте VI. Наибольшее превышение текущих затрат сравнимого комплекса продуктов против варианта I имеют варианты II и III. Объясняется это тем, что содержание олефиновых углеводородов в газе по вариантам II и III оказывается меньшим по сравнению

с другими вариантами. По варианту III наблюдается самый низкий выход газа. Извлечение углеводородов из меньшего количества перерабатываемого газа увеличивает себестоимость сравнимой продукции.

Уровень текущих расходов по различным вариантам производства газа в установках с твердым теплоносителем при равном количестве перерабатываемого горючего сланца и содержании в нем органического вещества зависит главным образом от химического состава вырабатываемого газа, что обуславливает в итоге выход полезных продуктов и экономическую эффективность организации производства.

В связи с этим целесообразно проанализировать степень влияния выхода продуктов на себестоимость комплекса сланцехимических продуктов. Воздействие этого фактора в условно изолированном виде на такой сложный экономический показатель, как себестоимость, являющийся функцией нескольких переменных, в том числе выхода целевых продуктов, определяется разницей между удельными расходами горючего сланца на 1 т продукта комплекса первого и последующего вариантов, умноженной на количество продукции комплекса в последующем варианте и на себестоимость 1 т горючего сланца. Расчет ведется по формуле

$$\Delta_{вн} = \sum P_n (Y_n - Y_1) C_c, \quad (19)$$

где  $\Delta_{вн}$  — снижение или повышение себестоимости продукции комплекса в последующих вариантах за счет выхода, руб/т;

$P_n$  — количество продукта комплекса в последующих вариантах, т;

$Y_n, Y_1$  — удельный расход горючего сланца на 1 т продуктов комплекса в первом и в последующих вариантах, т;

$C_c$  — себестоимость 1 т горючего сланца, руб.

Результаты расчета сведены в табл. 122, которая наглядно иллюстрирует изменение текущих затрат по вариантам переработки газа в зависимости от выхода продуктов комплекса при одинаковом количестве горючего сланца, переработанного в установках с твердым теплоносителем.

В связи с уменьшением выхода полезных продуктов из переработанного газа по вариантам III и V имеется значительное увеличение эксплуатационных затрат на годовой объем выпускаемой продукции комплекса. В варианте III годовая сумма текущих затрат на сырье увеличилась на 3,0 млн. руб., а в варианте V — на 1,3 млн. руб. в сравнении с вариантом I. Это и обусловило более высокую себестоимость 1 т продуктов комплекса по вариантам III и V и в некоторой степени по варианту IV.

В сравнении с вариантом I наибольшую сумму экономии от более высокого выхода продуктов переработки сланцевого газа имеет вариант VI — 1,4 млн. руб. в год. По этому варианту уве-

Влияние выхода (удельного расхода) на цеховую себестоимость продуктов переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем

Вариант	Удельный расход сланца на 1 т продукции комплекса, т			Снижение (-), увеличение (+) сырьевых затрат в сравнении с первым вариантом, тыс. руб. $\sum P_n (Y_n - Y_1) C_c$
	вариант I $Y_1$	последующие варианты $Y_n$	разница $(Y_n - Y_1)$	
I	8,33	—	—	—
II	—	8,15	-0,18	-102
III	—	23,3	+14,88	+2965
IV	—	8,40	+0,07	+39
V	—	11,43	+3,10	+1258
VI	—	6,44	-1,89	-1362

личение текущих затрат против варианта I наблюдается только по латексу и жидкому пропану. Положительный экономический результат, обусловленный выходом продуктов из переработанного сырья, имеют варианты II и IV. Однако отрицательное воздействие на уровень цеховой себестоимости других факторов, таких, как, например, расход энергии, оказалось большим. В результате себестоимость комплекса сравнимой продукции (см. табл. 121) по этим вариантам гораздо выше, чем по другим.

Характер влияния расхода материалов, энергетических средств и других затрат на себестоимость продукции комплекса можно проанализировать по структуре текущих затрат на продукцию комплекса по различным вариантам переработки газа (табл. 123).

Сумма общезаводских расходов принята одинаковой для всех анализируемых вариантов.

Как видно из табл. 123, доля сырьевой составляющей является наиболее высокой по вариантам I, II и IV, что объясняется двумя обстоятельствами: на уровень сырьевого компонента в себестоимости продукции комплекса оказал влияние метод переработки горючего сланца, количественный выход целевых продуктов от переработанного горючего сланца по варианту VI больше, чем по другим вариантам.

Наименьшая доля сырьевой составляющей наблюдается по варианту V, однако выход полиэтилена и полипропилена здесь ниже, чем по варианту VI. Следует также отметить, что затраты на газ по варианту II на 90,1% больше, чем по варианту I. В известной мере это привело к тому, что выход продуктов из переработанного сырья (см. табл. 122) не вызвал снижения себестоимости сравнимой продукции комплекса по этому варианту (см. табл. 121).

Структура условно сопоставимой фабрично-заводской себестоимости комплекса продукции переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем

Статья затрат	Варианты переработки газа					
	в % к итогу					
	I	II	III	IV	V	VI
Сырье . . . . .	24,4	29,6	20,0	23,8	15,7	21,6
в том числе газ	8,4	15,3	5,7	8,8	10,3	11,5
Материалы . . . . .	33,0	30,5	30,2	33,4	30,5	33,2
Электроэнергия	9,6	9,3	8,1	9,6	11,7	11,3
Вода . . . . .	2,2	2,3	1,8	2,0	2,6	2,4
Пар . . . . .	6,2	5,8	5,5	6,2	5,7	6,2
Прочие энергетические затраты	1,2	1,1	1,1	1,2	0,6	0,9
Заработная плата с отчислениями на социальное страхование	4,0	3,8	7,2	3,9	5,7	3,7
Амортизация и текущий ремонт	14,1	12,6	16,3	14,7	20,0	15,8
Цеховые расходы	2,3	2,2	2,5	2,3	2,5	2,3
Общезаводские расходы . . . . .	3,0	2,8	7,3	2,9	5,0	2,6
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Статья затрат	Варианты переработки газа					
	в % к варианту I					
	I	II	III	IV	V	VI
Сырье . . . . .	100,0	127,2	33,7	99,7	38,6	102,0
в том числе газ	100,0	190,1	27,9	106,5	73,4	157,3
Материалы . . . . .	100,0	98,0	37,8	103,9	56,1	116,5
Электроэнергия	100,0	102,5	34,8	102,4	73,5	136,1
Вода . . . . .	100,0	109,7	34,7	96,0	73,0	129,3
Пар . . . . .	100,0	97,6	36,9	103,0	55,0	115,2
Прочие энергетические затраты	100,0	94,6	38,4	98,0	29,6	83,0
Заработная плата с отчислениями на социальное страхование	100,0	100,0	75,0	100,0	86,7	106,6
Амортизация и текущий ремонт	100,0	93,5	47,4	106,8	85,1	129,0
Цеховые расходы	100,0	97,7	43,7	102,0	65,2	122,0
Общезаводские расходы . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Итого	100,0	105,0	41,2	102,3	60,3	115,0

Затраты на газ (см. табл. 123) по варианту VI в сравнении с вариантом I большие, однако высокий выход продуктов по этому варианту оказал решающее влияние на величину текущих затрат, в результате чего себестоимость сравнимой продукции комплекса оказалась самой низкой.

Доля затрат на материалы почти по всем вариантам примерно одинакова (в пределах 30—33%). В зависимости от объема перерабатываемого газа изменяются затраты на электроэнергию. Аналогичная картина наблюдается и по остальным статьям затрат.

Соотношение других затрат по вариантам показывает, что наибольшая сумма эксплуатационных расходов приходится на варианты II и VI (соответственно 105 и 115% в сравнении с вариантом I).

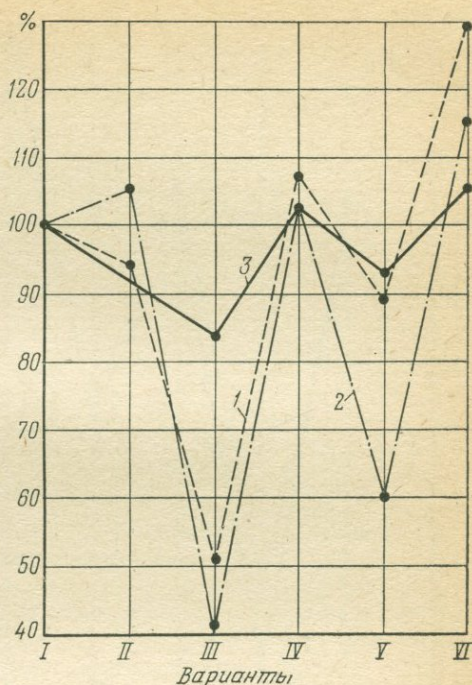


Рис. 53. Изменение капитальных вложений и текущих затрат по вариантам переработки сланцевого газа. Динамика приведенных затрат сравнимого комплекса продукции:

1 — капитальные вложения; 2 — текущие расходы; 3 — приведенные затраты

Таблица 124

Приведенные затраты на химическую продукцию по вариантам переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем при одинаковом объеме производства, %

Продукты	Варианты переработки газа					
	I	II	III	IV	V	VI
Полиэтилен . . . . .	100,0	115,0	119,5	92,8	95,5	87,7
Полипропилен . . . . .	100,0	118,5	120,5	94,4	95,8	89,8
Аммиак . . . . .	100,0	97,8	111,8	100,5	103,4	96,7
Латекс . . . . .	100,0	116,5	120,8	100,3	144,2	103,1
Результат . . . . .	100,0	109,1	117,5	98,5	108,5	95,4

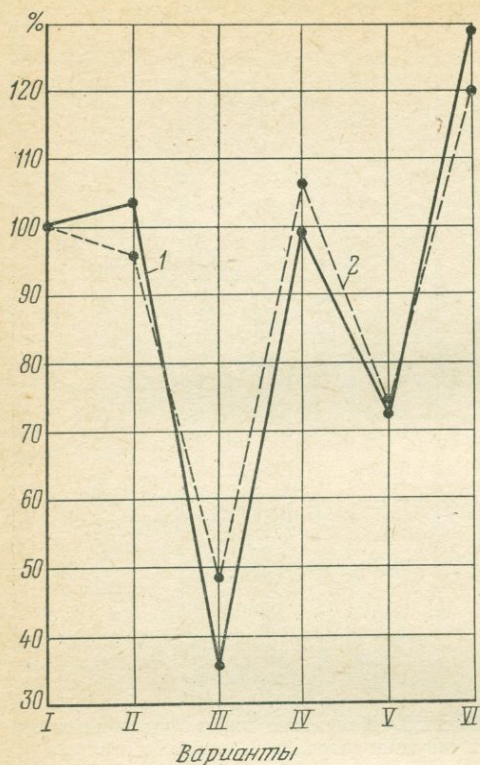


Рис. 54. Изменение годового объема производства продукции и производительности труда в зависимости от вариантов переработки сланцевого газа:

1 — годовой объем производства продукции; 2 — производительность труда

Самую высокую производительность труда промышленно-производственного персонала при определении выработки в сумме приведенных затрат имеет вариант VI (рис. 54).

Таким образом, анализ технико-экономических показателей переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем на комплекс химических продуктов по различным вариантам свидетельствует о преимуществах варианта VI, который в силу этого можно считать оптимальным.

Анализ вариантов переработки сланцевых смолы и газа свидетельствует о том, что с углублением химических процессов с целью наиболее полного извлечения ценных компонентов для производства химических продуктов экономическая эффективность термического разложения горючего сланца возрастает. Это раскрывает широкие перспективы развития сланцехимии.

Для выбора оптимального варианта переработки сланцевого газа на комплекс химических и топливных продуктов равного объема и ассортимента производится определение приведенных затрат на производство продуктов, что позволяет выявить одновременное влияние на результативный показатель как фактора себестоимости, так и фактора удельных капитальных затрат.

Результаты соизмерения приведенных затрат по продуктам и вариантам переработки газа приведены в табл. 124.

Наилучшим вариантом химической переработки газа в установках с твердым теплоносителем является вариант VI (рис. 53).

Данные о производительности труда по вариантам приведены в табл. 125. Оценка объема продукции для определения годовой выработки произведена по приведенным затратам на производство продуктов комплекса по варианту I.

Производительность труда по вариантам химической переработки сланцевого газа в установках с твердым теплоносителем, %

Показатели	Варианты переработки газа					
	I	II	III	IV	V	VI
Годовая выработка одного трудящегося, % к варианту I . . .	100,0	96,0	48,6	106,5	73,8	120,0
Годовая выработка одного рабочего, % к варианту I . . . .	100,0	96,0	51,5	106,8	75,7	119,5

**ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОХИМИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ**

Термическое разложение горючего сланца в промышленных агрегатах и сжигание его в топках электростанций обусловили существующую схему раздельного использования сланца.

В результате теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского, испытаны схемы комплексного энергохимического использования топлив [122, 123].

Энергохимическое потребление горючего сланца — это научно обоснованное комбинирование энергетики и технологии, позволяющее интенсифицировать все основные процессы, включенные в энергохимическую схему, значительно повысить коэффициенты извлечения тепла из горючего сланца, обеспечить наиболее высокую степень освоения температурного потенциала и с максимальной эффективностью и высоким энергетическим к. п. д. использовать составные части полезного ископаемого.

Простейшей энергохимической схемой эффективной переработки топлива является организация термического разложения органического вещества топлива для получения газа и жидких продуктов и сжигание горючего остатка в энергоустановках. Для многих видов топлива осуществление подобной схемы предполагает органическое сочетание установки термического разложения с котельным агрегатом. В таких условиях достигается возможность сведения к минимуму потери тепла в процессе полукоксования и одновременной утилизации горючего остатка в виде горячего полукокса.

Для таких видов топлива, как бурый и каменный уголь, торф, в энергохимической схеме мощность установки термического

разложения вполне корреспондируется с мощностью котельного агрегата.

Применительно к горючим сланцам картина несколько меняется. В каменных или бурых углях содержится 30—40% летучих веществ (смолы и газа), в прибалтийском сланце — более 80%. Это приводит к тому, что при переработке его по комбинированным энергохимическим схемам (если принять во внимание полное выделение летучих веществ) на долю энергетической части комплекса остается совершенно незначительная доля теплоты сгорания исходного горючего сланца.

При термическом разложении горючего сланца в установках с твердым теплоносителем (режим полукоксования) в смолу, газбензин и газ переходит 80% потенциального химического тепла полезного ископаемого. Следовательно, за вычетом расхода тепла на процесс полукоксования для энергетических целей (для сжигания под котлами) остается примерно  $\frac{1}{4}$  теплоты сгорания горючего сланца (700—800 ккал/кг).

Кроме того, остаточный полукокк содержит в себе очень большое количество золы (88—89%), что затрудняет сжигание его в котельных топках.

С целью увеличения относительной доли тепла горючего сланца для энергетических целей при его термической обработке можно процесс разложения не доводить до полного выделения летучих веществ и частично сохранять их в полукоксе. Такое искусственное сохранение летучих веществ несколько повышает теплоту сгорания полукокса, но зольность его остается довольно высокой (73—75%). Сжигание остатка сланца с высокой зольностью потребует значительного снижения производительности котлов.

Весьма высокое количество летучих веществ в горючем сланце и относительно небольшое содержание нелетучей горючей части в сланцевом остатке обуславливают возможность применения энергохимической схемы без жесткой связи установки термического разложения и котельного агрегата.

В случае переработки бурых и каменных углей, торфа и других видов топлива, в полукоксе которых остается значительная доля тепла исходного топлива, необходимость жестких связей между блоком полукоксования и котлом predetermined невозможностью длительного хранения и передачи на расстояние, превышающее несколько десятков метров, горячего полукокса. При таких условиях органическая связь технологического и энергетического блоков неизбежна.

При переработке горючего сланца необходимость в жесткой связи технологического блока с котельной установкой отпадает. Энергетический блок может быть расположен отдельно. Блоки термического разложения горючего сланца и энергоустановки должны быть соединены между собой гибкой связью в виде энергоносителя — топочного масла, поступающего в качестве одного

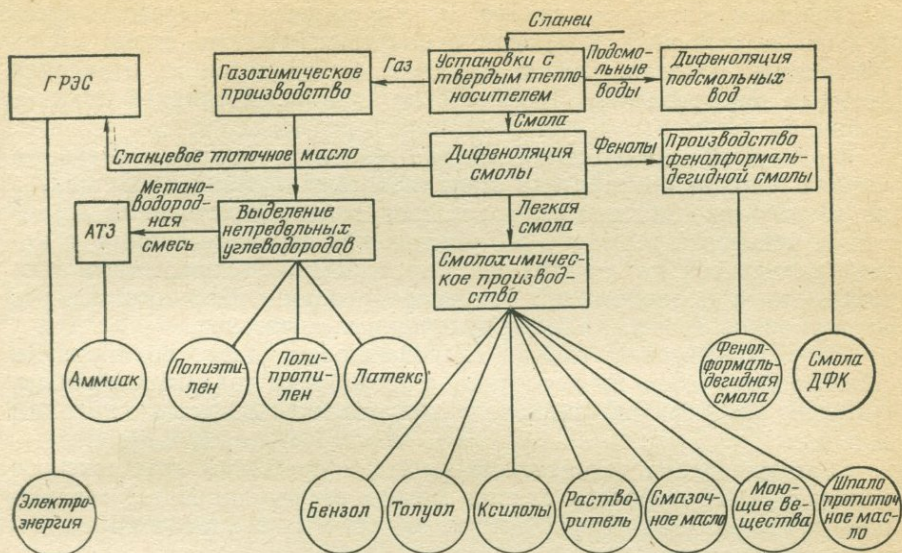


Рис. 55. Схема комплексного энергохимического использования горючего сланца

из продуктов переработки горючего сланца из химико-технологической части комплекса в энергетическую.

На основании этой важнейшей предпосылки схема энергохимического использования горючего сланца может быть построена следующим образом (рис. 55).

Сланцевая мелочь поступает в блок термического разложения в установках с твердым теплоносителем, работающих в режиме полукоксования. Выделившийся при термической обработке горючего сланца газ после очистки компримируется и поступает в химические цеха, где из него выделяются олефиновые углеводороды с целью получения полиэтилена, полипропилена и латекса. Остаточная часть газа используется в производстве аммиака.

Пары смолы, выходящие из реакторов установок с твердым теплоносителем, подвергаются ступенчатой конденсации. Низкокипящие фракции — легкое масло — передаются на химическую переработку для получения моющих веществ, смазочных масел и других продуктов; остаточные фракции — топочное масло — поступают на склад. Туда же подаются из конденсаторов так называемые среднее и тяжелое масла.

Тепло горячих дымовых газов с температурой 900—950°С, отходящих из топок установки термической перегонки и зольной установки вместе с сланцевой пылью из сушилки, используется в котлах-утилизаторах. Генерируемый пар направляется в турбины небольшой электростанции, служащей для удовлетворения нужд комбината в электроэнергии.

Топочное масло со склада по трубопроводу перекачивается в емкости основной, входящей в энергохимическую схему электростанции, которая, таким образом, переводится с отопления твердым многозольным топливом на высококалорийное жидкое топливо.

При такой гибкой связи химико-технологического и энергетического блоков потребитель энергоносителя — сланцевого мазута не обязательно должен располагаться в непосредственной близости от установок термического разложения горючего сланца, а может находиться на расстоянии, определяемом техническими возможностями и экономикой транспортирования топочного мазута по трубопроводам или в железнодорожных цистернах.

Энергохимическая схема, следовательно, дает возможность облагородить такое низкосортное, с громадным содержанием золы, топливо, как горючий сланец, и сжигать его с весьма высоким к. п. д.

С точки зрения технического решения проблемы комплексного использования горючего сланца можно сформулировать следующие преимущества энергохимической схемы переработки полезного ископаемого.

1. Непосредственное получение в мощных установках с высоким энергетическим к. п. д. из многозольного низкокалорийного горючего сланца значительного количества жидкого топлива с большой теплотой сгорания, эффективно используемого в энергетической части комплекса.

2. Обеспечение смоло- и газохимического производств высокоценным углеводородным сырьем в виде легкой смолы и газа с целью получения полиэтилена, полипропилена, латекса, аммиака, моющих веществ, смазочных масел и других продуктов.

3. Отсутствие жесткой связи между установками термического разложения горючего сланца с твердым теплоносителем и энергетическим блоком позволяет включать в энергохимический комплекс без изменения технологической схемы различные промышленные энергоустановки, удаленные от технологического блока.

Технико-экономическая сопоставительная оценка комплексного энергохимического и отдельного использования горючего сланца для технологических и энергетических целей осуществляется в максимально сравнимых условиях.

Ниже приведены условные данные, характеризующие количество и структуру продукции анализируемого энергохимического комплекса.

Топливные продукты, т	
автобензин А-72 . . . . .	74 300
пропан жидкий . . . . .	12 730
Химические продукты, т:	
фенолформальдегидные смолы . . . . .	5 400
шпалопрпиточное масло . . . . .	63 160
смазочное масло . . . . .	4 300

сульфонол (100%-ный) . . . . .	26 300
смола ДФК . . . . .	4 200
растворитель . . . . .	22 450
бензол . . . . .	12 400
ксилолы . . . . .	3 945
полиэтилен . . . . .	49 100
полипропилен . . . . .	47 800
латекс . . . . .	43 800
аммиак . . . . .	134 000
сера . . . . .	1 540
серная кислота остаточная (70%-ная) .	30 600
Электроэнергия, млн. кВт·ч . . . . .	3 740,02

Как видно из этих данных, преобладающей в комплексе является химическая продукция, главным образом аммиак, полиэтилен, полипропилен, латекс, сульфонол и шпалопропиточное масло.

Данные о соотношении капитальных вложений по различным вариантам приведены в табл. 126.

Таблица 126

**Соотношение ориентировочных капитальных вложений на производство сопоставимого комплекса продукции, %**

Производство	Схемы использования горючего сланца	
	комплексная энерго-химическая	раздельная
Смолохимическое . . . . .	100	100
Газохимическое . . . . .	100	101
Энергетическое . . . . .	100	109
Всего . . . . .	100	105

Как видно из табл. 126, изменения капитальных вложений при комплексном и раздельном потреблении горючего сланца на микро-технологические и энергетические цели имеют место в газохимическом производстве и в производстве электроэнергии. Некоторое превышение капитальных вложений в газохимическом производстве при раздельном использовании горючего сланца обусловлено химическим составом перерабатываемого газа, который получается при трехступенчатой схеме работы установок с твердым теплоносителем: полукоксование сланца с термоконтактным и окислительным пиролизом продуктов термического разложения ископаемого. Объем газа, необходимого для газохимического производства, определен по содержанию в нем наиболее ценного химического продукта — полипропилена. Для получения одного и того же количества полипропилена при раздельном потреблении горючего сланца перерабатывается 310 млн.  $\text{нм}^3$  и при энергохимическом — 268 млн.  $\text{нм}^3$  газа.

При раздельном использовании горючего сланца капитальные вложения на производство электроэнергии оказываются на 9% выше, чем по энергохимической схеме, что объясняется большими трудностями сжигания натурального сланца.

Сжигание горючего сланца, одного из наиболее многозольных видов минерального топлива, связано с большим зольным хозяйством, требующим значительных материальных и трудовых затрат. Капитальные вложения в трубопроводы гидрозолоудаления и багерную насосную Прибалтийской ГРЭС составляют 1 млн. руб. Огромные капитальные затраты приходятся на транспортирование, подготовку и подачу топлива. Общая сумма капитальных вложений в эти объекты на Прибалтийской ГРЭС превышает 5 млн. руб. При переходе на энергохимическую схему использования горючего сланца эти расходы отпадают, и в результате общие капитальные вложения на энергетический блок оказываются меньше.

Капитальные затраты на транспортирование, подготовку и подачу горючего сланца учитываются в затратах химико-технологического блока, который располагается близ места добычи полезного ископаемого.

Следует также указать на возможность использования аэрофонтанных сушилок установок термического разложения горючего сланца с твердым теплоносителем в качестве агрегатов обогащения полезного ископаемого. В период работ на опытной установке комбината «Кивийли» в аэрофонтанной сушилке происходило довольно четкое разделение измельченных частиц горючего сланца и породы. Следовательно, использование аэрофонтанных сушилок для обогащения горючего сланца может позволить высвободить капитальные вложения, предназначенные на сооружение обогатительных фабрик на сланцевых шахтах.

Внедрение в практику энергохимической схемы использования прибалтийского горючего сланца оказывает влияние на уровень текущих затрат производства сопоставимой продукции комплекса.

Изменение себестоимости сравнимого комплекса продукции при энергохимическом и раздельном потреблении горючего сланца характеризуется данными табл. 127.

Как видно из табл. 127, себестоимость продукции газохимического производства при использовании горючего сланца по раздельной схеме оказывается на 3,5% выше, чем по энергохимической схеме. Объясняется это тем, что при трехступенчатой схеме переработки горючего сланца в установках с твердым теплоносителем себестоимость газа, используемого для производства химической продукции, увеличивается на 49% в сравнении с себестоимостью газа, получаемого при одноступенчатом смоляном режиме работы установок.

Из данных табл. 127 также видно, что уменьшение текущих затрат при использовании горючего сланца по раздельной схеме наблюдается только в производстве электроэнергии. Обусловлено

Себестоимость сравнимой продукции комплекса при комплексном энергохимическом и раздельном использовании горючего сланца

Продукция	Схема	
	комплексная энерго-химическая	раздельная
Смолохимического производства . . .	100,0	100,0
Газохимического производства . . . . .	100,0	103,5
Электроэнергия . . . . .	100,0	92,0
Всего . . . . .	100,0	99,7

это главным образом более высокими затратами на топливо при сжигании сланцевого топочного масла. В себестоимости электроэнергии затраты на топливо при переходе на сланцевое топочное масло возрастают на 34,5%. Это обусловлено следующими обстоятельствами. При переводе паровых котлов с горючего сланца на сланцевое топочное масло к. п. д. их повышается с 84—85 до 90%. Удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч электроэнергии в связи с этим уменьшается с 0,446 до 0,421 кг, т. е. на 5,7%. Себестоимость же 1 т условного топлива при замене горючего сланца топочным маслом возрастает на 42,5%.

При энергохимическом использовании горючего сланца сокращаются расходы на вспомогательные материалы. Значительно уменьшаются расходы на оплату труда в связи с уменьшением количества промышленно-производственного персонала.

Сжигание горючего сланца в топках котельных агрегатов связано со значительными трудностями из-за зольной перегрузки и быстрого износа хвостовых поверхностей нагрева. При сжигании натурального горючего сланца некоторые элементы хвостовых поверхностей нагрева котла выходят из строя через 800—1000 ч эксплуатации, что требует значительные суммы на проведение работ по текущему планово-предупредительному ремонту.

Использование сланцевого топочного масла для сжигания в топках электростанций по энергохимической схеме дает возможность резко снизить зольную нагрузку на котельные агрегаты, в связи с чем расходы на текущий ремонт уменьшаются.

Анализ капитальных вложений и текущих затрат на производство сравнимой продукции показывает, что внедрение энергохимической схемы снижает объем капитальных затрат, однако себестоимость продукции при этом возрастает.

Синтетическим показателем экономичности комплексного энергохимического и раздельного использования сланца являются приведенные затраты на производство сравнимой продукции.

Сумма приведенных затрат при энергохимической схеме использования горючего сланца составляет 96,2 млн. руб. При отдельной схеме использования горючего сланца на технологические и энергетические цели сумма приведенных затрат увеличивается до 97,3 млн. руб. Следовательно, положительный экономический эффект при энергохимической схеме использования сланца выражается в сумме 1,12 млн. руб.

Однако соизмерение приведенных затрат только на производство сопоставимого комплекса продуктов не отражает еще общего экономического эффекта.

Различные схемы использования горючего сланца, по-разному используя топливо, требуют большей или меньшей добычи горючего сланца, а следовательно, и соответствующих капитальных вложений.

При использовании горючего сланца по отдельной схеме сумма капитальных вложений в сопряженные производства — добычу и переработку полезного ископаемого — составляет 60,4 млн. руб., по энергохимической схеме — 70 млн. руб., или на 16% больше. Это объясняется тем, что по отдельной схеме используется многоступенчатый вариант работы установок с твердым теплоносителем, при котором выдается наибольшее количество газа и олефиновых углеводородов, а следовательно, требуется меньше капитальных вложений. По энергохимической схеме предусмотрен смоляной вариант работы установок с наименьшим выходом газа, но с большим выходом смолы, необходимой энергетическому и химическому блокам.

Таким образом, сланцеперерабатывающая промышленность, осуществляя энергохимическую схему использования горючего сланца с целью извлечения из него необходимого количества сырья для химического производства и жидкого топлива для энергетики, требует на 9,7 млн. руб. больше капитальных вложений в сопряженные производства по сравнению с использованием отдельной схемы. Вместе с тем энергохимическая схема производства сопоставимого комплекса продукции в то же время потребляет горючего сланца примерно на 1 млн. т меньше, что, в свою очередь, освобождает сланцедобывающую промышленность от необходимости дополнительных капитальных вложений.

Следовательно, с народнохозяйственной точки зрения превышение капитальных вложений в сопряженные производства по энергохимической схеме выразится в сумме 1,7 млн. руб. С учетом этой суммы приведенные затраты по энергохимической схеме использования ископаемого будут равны 96,5 млн. руб. В таком случае положительный экономический эффект от энергохимической схемы составит 0,8 млн. руб.

Следует также отметить, что при отдельной схеме использования сланца попутно с получением необходимого количества легко-средней фракции сланцевого топочного масла производится примерно 240 тыс. т топочного мазута, который в качестве товар-

ного продукта не может конкурировать с дешевым нефтяным топочным мазутом.

Все эти обстоятельства свидетельствуют об экономическом преимуществе комплексного использования горючего сланца по энергохимической схеме.

Производительность труда промышленно-производственного персонала по различным схемам использования сланца определяется как отношение приведенных затрат при энергохимической схеме потребления топлива к количеству работающих при комплексной энергохимической и раздельной схемах.

При энергохимическом использовании горючего сланца на одного работающего приходится примерно 39,1 тыс. руб. приведенных затрат, при раздельной схеме — 24,9 тыс. руб. Следовательно, производительность труда промышленно-производственного персонала при раздельной схеме использования горючего сланца оказывается на 37% ниже, чем при комплексной энергохимической схеме.

Результаты исследования экономичности комплексной энергохимической и раздельной схем использования прибалтийского горючего сланца-кукерсита позволяют сделать вывод об экономическом преимуществе энергохимической схемы перед раздельной как по приведенным затратам, так и по производительности труда.

Выявленная экономичность использования прибалтийского горючего сланца по энергохимической схеме открывает широкие возможности для промышленного освоения многих месторождений с относительно бедными сланцами, которые весьма трудно, а часто и невозможно сжечь в котельных установках электростанций или подвергнуть термическому разложению их в различных агрегатах.

Для успешного решения задачи освоения новых месторождений горючих сланцев СССР намечена промышленная проверка технической и экономической эффективности применения энергохимической схемы для переработки необогащенного прибалтийского горючего сланца с теплотой сгорания 1700—1900 ккал/кг.

Проектная проработка энергохимической схемы выполнена проектными и научно-исследовательскими организациями в двух вариантах.

По варианту I на энергетические нужды передаются из технологического блока тяжелая и средняя фракция смолы, остаточный (после выделения олефиновых углеводородов) сланцевый газ, а также отходы от пиролиза и процесса термической переработки горючего сланца.

Легкое масло и олефины, отобранные из газа, служат сырьем для получения химической продукции. В этом случае в химические продукты переходит примерно 24% потенциального тепла горючего сланца, переработанного на комбинате, а в энергетические — более 60%.

По варианту II на энергетические нужды передаются практически все жидкие и газообразные продукты полукоксования горючего сланца. Для получения химических продуктов используется только газбензин, который энергетика пока не потребляет. Газбензин подвергается пиролизу с целью выделения из него ароматических углеводородов, а пирогаз направляется на сжигание. На химическое производство в таком случае расходуется менее 0,5% потенциального тепла горючего сланца, а для энергетики — более 90% (в расчете по низшей теплоте сгорания).

Таблица 128

Основные технико-экономические показатели энергохимического использования прибалтийского горючего сланца по двум вариантам [122]

Показатели	Варианты	
	I	II
Количество используемого горючего сланца в год, млн. т . . . . .	16,0	16,0
Доля потенциального тепла горючего сланца в энергетических продуктах (по низшей теплоте сгорания), % . . . . .	65,6	91,1
Установленная расчетная электрическая мощность, МВт . . . . .	1440	2290
Выдача мощности в систему, МВт . . . . .	1246	2113
Отпуск электроэнергии в год, млрд. кВт·ч . . . . .	6,6	11,3
Выработка тепловой энергии, млн. Гкал . . . . .	3,4	—
Доля потенциального тепла горючего сланца в химических продуктах, % . . . . .	24,3	0,5
Годовая выработка химических продуктов, тыс. т:		
этилена . . . . .	210,0	—
пропилена . . . . .	140,0	—
бутилена и дивинила . . . . .	110,0	—
бензола . . . . .	50,0	3,7
метилбензола . . . . .	42,5	3,5
сольвента . . . . .	39,0	9,2
электродного кокса . . . . .	22,7	—
фенолов легких . . . . .	2,5	2,5
серы . . . . .	4,5	—
пропана жидкого . . . . .	25,0	—

В табл. 128 приведены основные технические показатели обоих вариантов энергохимической схемы для условий промышленного комбината мощностью 16 млн. т горючего сланца с теплотой сгорания 2000 ккал/кг (теплота сгорания на сухую массу составляет 2600 ккал/кг) [110].

Кроме анализируемых вариантов распределения потенциального тепла перерабатываемого горючего сланца между химией и энергетикой могут быть осуществлены практически любые промежуточные варианты с большим или меньшим отбором сырья для производства химических продуктов в зависимости от потребности в них.

Сопоставление технико-экономических показателей комплексного энергохимического (вариант I) и отдельного использования горючих сланцев для производства электроэнергии и химических продуктов при максимальной их сравнимости показало некоторую экономию по энергохимической схеме. Например, энергохимическая схема требует капитальных вложений на 1,1% меньше, чем отдельная. По нашим расчетам, для условий включения в энергохимическую схему Прибалтийской ГРЭС сумма капитальных вложений оказалась несколько выше в сравнении с затратами на производство сопоставимой продукции по отдельной схеме. Это обусловлено тем, что технологический блок при отдельной схеме оказывается менее капиталоемким, поскольку в этой схеме может быть использован многоступенчатый вариант термической переработки горючего сланца, при котором выдается наибольшее количество газа и олефиновых углеводородов. По эксплуатационным затратам использование горючего сланца по энергохимической схеме оказывается дешевле в сравнении с использованием его по отдельной схеме на 4,9%.

Сопоставление экономических показателей прямого сжигания горючего сланца для производства электроэнергии с его энергохимическим использованием (вариант II) также показывает экономическую эффективность. Это обусловлено значительно большими капитальными вложениями и эксплуатационными расходами электростанции, работающей непосредственно на горючем сланце, по сравнению со станцией, сжигающей жидкое топливо и газ, а также относительно низкой стоимостью термической переработки горючего сланца в установках с твердым теплоносителем.

Для энерготехнологического комбината, выдающего в энергосистему около 11,3 млрд. кВт·ч электроэнергии, в сравнении с электростанцией, сжигающей горючий сланец и выдающей в энергосистему такое же количество электроэнергии, экономия суммарных капитальных вложений составляет 11,2%, эксплуатационных затрат — 14,5%.

С использованием в качестве технологического сырья небогатого горючего сланца экономическая эффективность энергохимической схемы значительно возрастет. При этом затраты тепла на процесс термического разложения горючего сланца оказыва-

ются лишь немногим больше неизбежных потерь горючей массы при обогащении горючего сланца.

### ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Наряду с термическим разложением горючих сланцев в последние годы как за рубежом, так и в СССР исследуются процессы окислительной деструкции органического вещества этого полезного ископаемого. Развитие данного направления обусловлено тем, что сухая перегонка горючего сланца в различных агрегатах является довольно сложным процессом перестройки, разложения и обуглероживания исходного сырья, требующим больших материальных и трудовых затрат.

Институтом химии АН Эстонской ССР разработан и подготовлен к промышленному внедрению способ получения насыщенных кислот (преимущественно дикарбоновых — от янтарной до себациновой включительно) и попутного биологически активного вещества — стимулятора роста растений — окислением органического вещества прибалтийского горючего сланца — керогена азотной кислотой и кислородом воздуха [114, 115, 117].

Промышленное производство смеси насыщенных дикарбоновых кислот из керогена прибалтийского горючего сланца призвано заменить дефицитные индивидуальные дикарбоновые кислоты при изготовлении синтетических и полимерных материалов.

В ближайшей перспективе промышленность СССР все еще будет испытывать острый дефицит в производстве и потреблении индивидуальной адипиновой кислоты. Себестоимость производства 1 т адипиновой кислоты по существующей технологии составляет в настоящее время примерно 700 руб.

Таблица 129

Характеристика пластификаторов, полученных на базе кристаллических кислот  $C_5 - C_{10}$

Показатели	Вид пластификатора	
	I	II
Цвет по иодометрической шкале . . . . .	0,5	1,0
Плотность при 20° С, г/см <sup>2</sup> . . . . .	0,9212	0,9355
Температура застывания, °С . . . . .	-57,5	-56,5
Содержание летучих веществ, % . . . . .	0,09	0,09

Янтарная и себациновая кислоты также производятся из дефицитных видов сырья, таких, как бензол, фенол, импортное касторовое масло и др. Себестоимость 1 т себациновой кислоты в настоящее время достигает 6 тыс. руб. Другие, индивидуальные дикарбоновые кислоты наша промышленность не выпускает.

Промышленная схема производства дикарбоновых кислот предусматривает механическое обогащение сланцевой мелочи до получения концентрата с 85—90%-ным содержанием органического вещества.

Концентрированный кероген затем подвергается деструкции комбинированным окислителем, азотной кислотой и кислородом воздуха, при относительно невысоких температурах, позволяющих получать исходные структурные элементы керогена в виде органических насыщенных кислот.

Непосредственной химической переработкой керогена горючего сланца можно получать как кислоты, так и их производные, в частности кристаллическую янтарную кислоту, смесь кристаллических кислот  $C_5-C_{10}$ . Янтарная кислота  $C_4H_6O_4$  отвечает требованиям ГОСТа 6341—62. Кристаллические кислоты  $C_5-C_{10}$  (концентрат кислот  $C_6-C_8$ ) могут служить сырьем для изготовления пластификаторов, характеристика которых приведена в табл. 129.

Кристаллические кислоты  $C_5-C_{10}$  могут широко использоваться не только для получения пластификаторов, но и для других промышленных целей.

Таблица 130

Характеристика жестких пенных материалов, полученных на базе твердых кислот  $C_4-C_{10}$

Показатели	Образцы материалов			
	I		IV	
	18Т	18НТ	20Т	20НТ
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,073	0,056	0,057	0,052
Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	5,84	3,93	4,14	3,02
Температурная усадка, линейная, %, при:				
130°С . . . . .	—	—	0,20	0,30
143°С . . . . .	—	0,40	—	—
161°С . . . . .	0,25	—	—	—
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	0,015	0,012	0,095	0,082
Температура размягчения, °С . . . . .	171	153	151	133

Смесь твердых кислот  $C_4-C_{10}$  является сырьем для синтеза жестких пенных материалов.

В табл. 130 приведены некоторые показатели физико-химических испытаний жестких пенных материалов на основе смеси твердых кислот  $C_4-C_{10}$ .

Потребность в жестких пенных материалах в СССР в ближайшие годы возрастет примерно в 9—10 раз. Покрытие ее вполне возможно организацией переработки керогена горючих сланцев.

Проверка качества сланцевого ростового вещества была начата еще в 1964 г. Кафедрой земледелия Эстонской сельскохозяйственной академии были проведены биологические испытания ростового вещества методами колеоптильных отрезков и замачивания семян. Специалистами в области сельского хозяйства было испытано ростовое вещество применительно к различным видам культур и почвенно-климатическим зонам СССР.

Сланцевое ростовое вещество применялось в виде водных растворов концентраций от 0,0001 до 0,1%.

По данным многочисленных опытов расход ростового вещества в зависимости от семян составляет 0,2—1,0 кг на 1 га. Исследования показали, что сланцевое ростовое вещество стимулирует рост не только корневой, но и наземной части растений. При использовании сланцевого ростового вещества прибавка урожая в среднем составляет 15—20%.

Положительные результаты были получены при использовании ростового вещества для опрыскивания им виноградных лоз и абрикосовых деревьев. Трехлетние виноградные лозы с оборванными корнями были посажены и политы 0,04—0,05%-ным раствором

Таблица 131

Продукты окислительной деструкции керогена горючих сланцев  
Эстонского месторождения

Продукты	Выход продуктов		
	от исходного керогена, %	опытные условия, т/г	промышленные условия, тыс. т/г
Основные:			
янтарная кислота чистая . . . . .	2,2	220	2,2
фракция дикарбоновых кислот $C_5-C_{10}$ . . . . .	6,2	620	6,2
фракция дикарбоновых кислот $C_4-C_{10}$ . . . . .	16,7	1670	16,7
Попутные:			
сланцевое ростовое вещество, 100%-ное . . . . .	18,4	1840	18,4

сланцевого ростового вещества. В течение всего вегетационного периода эти лозы развивались великолепно. В период цветения с целью привлечения пчел для успешного опыления обычно применяют в качестве опрыскивателя водный раствор меда. При опрыскивании виноградных лоз водным раствором сланцевого ростового вещества в указанных выше концентрациях происходило усиление нектаровыделения самими цветами винограда. Пчелы посещали опрысканные лозы в течение всего периода цветения. Кроме того, опрысканные цветы винограда имели более интенсивную окраску и более сильный аромат.

На опрысканных абрикосовых деревьях наблюдался равномерный рост плодов, в то время как на контрольном дереве плоды имели различную величину. При созревании значительная часть плодов с контрольного дерева осыпалась, а на дереве, опрысканном ростовым веществом, — прочно держались на ветвях. Кроме того, плоды на опрысканных деревьях были не только гораздо крупнее, чем на контрольном, но и имели еще более высокие вкусовые качества.

В Эстонской ССР в ближайшие годы намечается строительство цехов по получению концентрата керогена горючего сланца

Таблица 132

**Ориентировочные технико-экономические показатели производства дикарбоновых кислот и сланцевого ростового вещества в промышленных условиях**

Показатели	Величина показателя
Выработка дикарбоновых кислот, тыс. т/г . . . . .	25,0
Расход концентрата керогена с учетом производства сланцевого ростового вещества, тыс. т/г . . . . .	110,0
Расход азотной кислоты (мнг), тыс. т/г . . . . .	132,0
Энергетические расходы на 1 т кислот:	
электроэнергии, тыс. кВт·ч . . . . .	0,95
тепла, Гкал . . . . .	17,67
воды (оборотная), тыс. м <sup>3</sup> . . . . .	1,47
Капитальные вложения на 1 т кислот, руб. . . . .	220
Капитальные вложения с учетом сопряженных производств, руб. . . . .	795
Заводская себестоимость, руб/т:	
янтарной кислоты чистой . . . . .	274
фракции C <sub>4</sub> —C <sub>10</sub> . . . . .	297
фракции C <sub>5</sub> —C <sub>10</sub> . . . . .	657
сланцевого ростового вещества, 100%-ного . . . . .	111

Эстонского месторождения, дикарбоновых кислот и сланцевого ростового вещества. Возможные объемы производства продукции в промышленных условиях приведены в табл. 131.

Ориентировочные капитальные вложения для опытного производства составляют 5,1 млн. руб. Для промышленного цеха эта сумма увеличивается примерно до 20 млн. руб. В комплекс промышленных цехов входят также получение азотной кислоты и производство аммиака.

Ориентировочные технико-экономические результаты производства дикарбоновых кислот и сланцевого ростового вещества по данным Института химии АН Эстонской ССР приведены в табл. 132.

Экономия, получаемая народным хозяйством от замены 24 тыс. т дикарбоновых кислот смесью сланцевых дикарбоновых кислот  $C_4$ — $C_{10}$  в производстве жестких пенных материалов, по данным Института химии АН Эстонской ССР составит более 7 млн. руб. в год. В расчетах не учтен экономический эффект от применения янтарной кислоты и сланцевого ростового вещества. Замена 16,7 тыс. т искусственной смеси адипиновой и себациновой кислот эквивалентным количеством сланцевых дикарбоновых кислот  $C_4$ — $C_{10}$  при производстве жестких пенополиуританов даст экономию более 6 млн. руб. в год.

Применение 6,2 тыс. т сланцевых дикарбоновых кислот  $C_5$ — $C_{10}$  в производстве морозостойких пластификатов покрывает дефицит на себациновую кислоту в СССР и даст народному хозяйству более 4 млн. руб. экономии.

Предварительные расчеты показывают, что даже без учета экономического эффекта от применения янтарной кислоты и сланцевого ростового вещества капитальные вложения могут окупиться в течение 2 лет.

В настоящее время Институтом химии АН Эстонской ССР проводятся лабораторные работы по получению индивидуальных диметиловых эфиров дикарбоновых кислот на базе смеси сырых дикарбоновых кислот.

Получены чистые индивидуальные диметиловые эфиры янтарной, глутаровой, адипиновой, пимелиновой кислот; имеются в перспективе данные для получения индивидуальных эфиров пробковой, азелаиновой и себациновой кислот. Общий выход эфиров, по предварительным данным, составит для промышленных условий 38,8 тыс. т на 100 тыс. т концентрата керогена. Ориентировочная себестоимость 1 т эфиров в промышленных условиях составит примерно 500—600 руб.

Индивидуальные эфиры являются высококачественным сырьем для промышленности органического синтеза. Особое значение имеет эфир пимелиновой кислоты, применяющийся для синтеза лизинаминокислоты, используемой для облагораживания кормов в сельском хозяйстве, и себациновой кислоты — в производстве высококачественных смазочных масел.

Ориентировочный экономический эффект от применения сланцевых дикарбоновых кислот в производстве эфиров выражается примерно в сумме 9,8 млн. руб. в год, без учета экономического эффекта от применения янтарной кислоты, диметиловых эфиров индивидуальных дикарбоновых кислот и сланцевого стимулятора роста растений.

Технология производства дикарбоновых кислот, сланцевого ростового вещества и диметиловых эфиров дикарбоновых кислот позволяет изменять пропорции указанных конечных продуктов соответственно с потребностями народного хозяйства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ развития сланцевой промышленности СССР и зарубежных стран показывает, что в ближайшей перспективе многочисленные месторождения горючих сланцев могут стать колоссальным источником энергии и сырьевой кладовой химической промышленности.

Насущной задачей настоящего времени является дальнейшее развитие поисковых и геологоразведочных работ с целью выявления новых и определения оптимальных запасов месторождений горючего сланца по горно-геологическим, технико-экономическим факторам и качеству полезного ископаемого: глубине залегания, мощности рабочих пластов, химическому составу, физическим свойствам и другим параметрам.

Технико-экономическая оценка месторождений горючих сланцев должна учитывать возможные направления комплексного использования полезных ископаемых.

В СССР впервые в мире организовано производство электроэнергии на базе горючих сланцев. Прибалтийская и Эстонская ГРЭС являются самыми мощными теплоэлектростанциями, работающими на сланце и обеспечивающими потребности крупного Северо-Западного экономического района СССР. Вместе с тем опыт, накопленный в СССР и зарубежных странах, в частности в ФРГ, свидетельствует о том, что экономичность энергетического использования горючих сланцев значительно возрастает с утилизацией минеральной части полезного ископаемого в качестве вяжущих веществ для производства цементов и строительных материалов или комбинированием производства энергии с получением цементного клинкера из зольной части горючего сланца в топках с жидким шлакоудалением.

Следует также отметить, что горючие сланцы являются одним из наиболее многозольных видов твердых минеральных топлив и сжигание его в котельных установках электростанций экономично только близ разрабатываемых месторождений. Транспортирование горючих сланцев на большие расстояния нерационально.

Прямое энергетическое использование горючих сланцев затруднено также тем, что до настоящего времени не решена задача очистки дымовых газов от зольной летучей пыли и от сернистого газа.

Горючие сланцы в сравнении с другими твердыми видами топлива содержат самый высокий процент летучих веществ. Поэтому во всех странах мира горючие сланцы подвергаются термическому разложению с целью получения сырья для производства искусственного жидкого топлива и разнообразных химических продуктов.

Развитие методов сухой перегонки горючих сланцев обусловило разработку в СССР и зарубежных странах высокоинтенсивного способа термического разложения мелкозернистого полезного ископаемого в установках с твердым теплоносителем. По своим технико-экономическим показателям этот метод позволит в недалеком будущем выдавать жидкие продукты переработки горючих сланцев с затратами, примерно равными затратам на добычу нефти.

Горючие сланцы большинства месторождений мира имеют небольшие содержание органического вещества и теплоту сгорания, что ограничивает возможность прямого сжигания их на современных мощных электростанциях. Термическая переработка таких низкокалорийных горючих сланцев в установках с твердым теплоносителем технически вполне осуществима.

Мировой опыт переработки горючих сланцев показывает, что зольный остаток вполне пригоден для производства цемента и строительных материалов.

Высокоэкономичным и перспективным направлением является комплексное использование горючего сланца, совмещающее термическое разложение полезного ископаемого и сжигание остаточных тяжелых сланцевых масел и газа, а также утилизацию избыточного тепла процесса для получения электроэнергии. Этот метод, как правило, значительно повышает эффективность использования горючих сланцев и экономичность процесса по сравнению с раздельным производством энергии и химических продуктов.

Технически и экономически обоснованным направлением использования горючих сланцев является метод окислительной деструкции высококонцентрированного горючего сланца с целью получения насыщенных органических кислот, необходимых для химического синтеза.

Развитие новых направлений использования горючих сланцев уже в настоящее время выдвигает как одну из актуальнейших задач необходимость расширения научно-исследовательских работ, полупромышленных и промышленных исследований по определению наиболее рациональных по технико-экономическим показателям способов использования горючих сланцев в соответствии с их химическим составом, физическими и техническими свойствами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аарна А. Я., Липпмаа Э. Т. О структуре керогена прибалтийского горючего сланца. Таллин, 1955. (Таллинский политехнический ин-т. Труды. Серия А, № 63), с. 3—50.
2. Аарна А. Я. Об образовании горючих сланцев Эстонского месторождения.— В кн.: «Генезис твердых горючих ископаемых». М., Изд-во АН СССР, 1960, с. 57—68.
3. Абрамов В. П., Дембовская Г. И. Новые сведения о мезозойских отложениях северной части Печорской депрессии.— В кн.: «Материалы по геологии полезных ископаемых северо-востока Европейской части СССР». М., Госгеолтехиздат, 1961, с. 42—48.
4. Агроскин А. А. Исследование сланцев как сырья для термической переработки.— В кн.: «Доклады на энергетическом совещании по горючим сланцам». М., «Научная литература», 1948, с. 43—61.
5. Аллик А. М. Штанговая крепь на сланцевых шахтах. Л., «Недра», 1964. 219 с.
6. Арефьев В. А. Сланцевый кокс — ценное сырье для цементной промышленности.— В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостоптехиздат, 1955, вып. 3, с. 219—228.
7. Арутюнова Ж. Е., Жузе Б. И. Горючие сланцы восточной части Азербайджанской ССР.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 399—414.
8. Баженов И. И., Леоненко И. А., Харченко А. К. Угольная промышленность Китайской Народной Республики. М., Госгортехиздат, 1959. 479 с.
9. Опыты по сжиганию горючих сланцев Израиля на пилотной установке.— В кн.: «Доклады на IV Международном нефтяном конгрессе». Т. IV. М., Гостоптехиздат, 1956, с. 481—490. Авт.: И. Е. Базев, Е. Л. Кларк, О. Шехтер и др.
10. Бакинов Г. П. Совершенствование разработки горючих сланцев. М., Углетехиздат, 1959. 158 с.
11. Бакинов Г. П., Петров А. П. Промышленные испытания новой системы разработок для шахт Эстонии. Таллин, изд. ГНТК ЭССР, 1959, вып. II. 64 с.
12. Барщевский М. М., Безмозгин Э. С., Шапиро Р. Н. Справочник по переработке горючих сланцев. Л., Гостоптехиздат, 1963. 238 с.
13. Бауков С. С. Об удельном весе прибалтийских горючих сланцев. Изв. АН ЭССР. Т. IV, Таллин, Эстгосиздат, 1955, № 1, с. 65—76.
14. Бауков С. С. О геолого-промышленной оценке горючих сланцев Прибалтики.— В кн.: «Сланцезольные материалы в строительстве», Таллин, Эстгосиздат, 1955, с. 7—13.
15. Бауков С. С. Закономерности вещественного состава горючих сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна. Таллин, 1958. (Ин-т геологии АН ЭССР. Труды № 2), с. 49—72.

16. Баум В. Вступительное слово.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин. «Валгус», 1970, с. 17—22.
17. Безмозгин Э. С., Синельников А. С. Сланцевые газогенераторы повышенной производительности.— В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостоптехиздат, 1955, вып. 4, с. 63—84.
18. Беловолов В. Т. Системы разработки месторождений горючих сланцев Прибалтийского бассейна. М., Углетехиздат, 1958. 70 с.
19. Беловолов В. Т. Разработка горючих сланцев. М., Углетехиздат, 1953. 216 с.
20. Белянкин Л. Ф. Месторождения горючих сланцев Казахской ССР.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. II. М., «Недра», 1968, с. 419—455.
21. Богданов В. В. Ижемский сланценосный район.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. II. М., «Недра», 1968, с. 163—172.
22. Валдек Р. Г., Луцковская Н. Л., Эйзен Ю. О теплоте разложения органического вещества эстонских горючих сланцев. Изв. АН ЭССР. Серия техн. и физ.-мат. наук. Т. X, Таллин. Газетно-журнальное изд-во, 1961, № 2, с. 158—165.
23. Виторович Д. К. Исследование керогена югославских горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 202—209.
24. Газизов М. С. Карст и его влияние на горные работы. М., «Наука», 1971. 204 с.
25. Газизов М. С. Некоторые данные о строении, составе и условиях образования горючих сланцев Эстонской ССР.— «Технический информационный бюллетень ЭСНТО — Горное». Таллин, 1957, № 1, с. 5—8.
26. Газизов М. С., Аллик А. М. Сланцедобывающая промышленность Эстонской ССР. М., Углетехиздат, 1959. 134 с.
27. Галака А. И., Котлуков В. А. Болтышское месторождение.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. II. М., «Недра», 1968, с. 341—354.
28. Гейрот К. Ж. История, технология и экономика использования горючих сланцев в Швеции.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 236—247.
29. Гейрот К. Ж., Шанберг Е. Промышленность сланцевых масел в Швеции.— В кн.: «Доклады на IV Международном нефтяном конгрессе». Т. IV. М., Гостоптехиздат, 1956, с. 463—468.
30. Гольцер Г. Ф. Залежи горючих сланцев в Австрии.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 50—52.
31. Гринсмит Д. Т. Палеогеография и ритмичные отложения в Шотландской группе.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 53—59.
32. Губергриц М. Я., Эпштейн С. Л. Влияние крупности кусков и способа загрузки на гидродинамическое сопротивление слоя сланца в вагоне туннельной печи.— В кн.: «Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев». Л., Гостоптехиздат, 1957, вып. I, с. 157—162.
33. Губергриц М. Я. О размерной характеристике кускового сланца. Изв. АН ЭССР. Т. II, Таллин, Эстгосиздат, 1953, № 3, с. 384—391.
34. Дилакторский Н. Л. К вопросу о строении керогена.— Изв. АН ЭССР. Серия техн. и физ.-мат. наук, IX, Таллин, 1960, № 2, с. 130—133.
35. Состав горючих сланцев Грин-Ривер.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин,

«Валгус», 1970, с. 172—181. Авт.: Г. Ю. Диннин, Д. У. Смит, П. Р. Тизот, В. Е. Робинсон.

36. Разработка технологии переработки гринриверских горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 261—271. Авт.: Г. Ю. Диннин, К. Е. Стэнфилд, Г. Л. Кук, Г. В. Сонс.

37. Добрянский А. Ф. Горючие сланцы СССР. Л., Гостоптехиздат, 1947, 232 с.

38. Добыча и переработка горючих сланцев в Швеции. М., ГОСИНТИ, 1960, 15с.

39. Дункан Д. К., Свонсон В. Е. Геология и запасы горючих сланцев США.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 36—41.

40. Ефимов В. М., Роккс И. Х. Усовершенствование сланцевых газогенераторов с поперечным потоком теплоносителя.— «Газовая промышленность», 1961, № 12, с. 18—20.

41. Загребельная В. С. Вопросы добычи и переработки горючих сланцев в иностранной литературе. М., Углетехиздат, 1955, 104 с.

42. Запасы углей и горючих сланцев СССР (Краткая сводка результатов подсчета 1956 г.). Под ред. Н. В. Шаброва и А. В. Тыжнова. М., Геолтехиздат, 1958. (М-во геологии и охраны недр СССР), 179 с.

43. Зеленин Н. И., Семенов С. С. Сравнительная характеристика генераторной и туннельной смолы полукоксования прибалтийских сланцев.— В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостоптехиздат, 1955, вып. 4, с. 130—136.

44. Кабаньков В. Я. Оленекский сланцевый бассейн.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 545—565.

45. Кальбертсон У. Ч. Геология и минеральные ресурсы формации Грин-Ривер в штате Вайоминг США.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 69—73.

46. Камерон Р. Д., Пайпер Е. М., Бруни К. Е. Опытная установка по перегонке горючих сланцев месторождения Ирати.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 303—310.

47. Кивисельг Ф. П. Сланцезольный пенобетон.— В кн.: «Сланцезольные материалы в строительстве». Таллин, Эстгосиздат, 1955, с. 138—150.

48. Кикас В. Х., Когерман Э. Э. О промышленной сепарации летучей золы пылевидного сжигания сланца.— «Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита». Таллин, Эстгосиздат, 1961, вып. II, с. 3—24.

49. Клубов В. А. Об одной генетической классификации каустиобиолитов.— Вест. МГУ, 1949, № 10, с. 131—137.

50. Коган Л. С., Гольдштейн Л. Я. О некоторых свойствах плавляемых цементов.— «Цемент», 1960, № 2, с. 7—13.

51. Когерман П., Лутс К., Хюссе И. Химия эстонских сланцев. М—Л., Госхимтехиздат, 1934, 139 с.

52. Когерман Э. Э. Улучшение вяжущих свойств пылевидной сланцевой золы при помощи воздушной сепарации.— «Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита». Таллин, Эстгосиздат, 1959, вып. I, с. 79—99.

53. Когерман П. К. Кероген сланцев как высокомолекулярное вещество и происхождение сланцев.— В кн.: «Химия и генезис твердых горючих ископаемых». М., изд-во АН СССР, 1953, с. 368—375.

54. Кожевников А. В. Горючие сланцы. Тарту, «Научная литература», 1947, вып. I, 66 с.

55. Конивец В. И. Горючие сланцы Иркутской области. Горючие сланцы Забайкалья. Горючие сланцы Грузинской ССР. Горючие сланцы Армянской ССР.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968.

56. Корнилова Ю. И., Семенов С. С. Исследования органического вещества сланцев Кашпирского месторождения. М., Гостоптехиздат, 1959, (Труды ВНИИТ. вып. 8), с. 4—13.

57. Котлуков В. А. Горючие сланцы Белорусской ССР.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 331—340.

58. Геология и перспективы освоения месторождений горючих сланцев СССР.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 25—35. Авт.: В. А. Котлуков, В. И. Конивец, Л. Е. Люфанов и др.

59. Котлуков В. А., Ларищев А. А. Горючие сланцы Кузнецкого бассейна и Минусинской котловины.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 479—490.

60. Коффер Г. Ф., Хиггинс Г. Х. Применение ядерных взрывов для увеличения выходов смолы и газа из горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 358—368.

61. Крёпелин Г. К. К вопросу перегонки и газификации посидонских сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 369—373.

62. Кузнецов Д. Т. Комплексное использование месторождений горючих сланцев СССР. М., изд. ВНИТИ, 1970. 13 с.

63. Кузнецов Д. Т. Очерки развития сланцевой промышленности Эстонской ССР. Л., Гостоптехиздат, 1960, 200 с.

64. Кузнецов Д. Т. Распределение затрат и оценка экономической эффективности в комплексных производствах. М., «Экономика», 1971, 124 с.

65. Кузнецов Д. Т., Тягунов Б. И. Техничко-экономическая оценка переработки сланца в установке с твердым теплоносителем.— В кн.: «Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев». Л., Гостоптехиздат, 1959, вып. 2, с. 384—398.

66. Кузнецов Д. Т., Каганович И. З., Мийль Х. Р. Сравнительная технико-экономическая характеристика промышленных методов полукоксования сланца с точки зрения содержания в нем органического вещества.— «Технический бюллетень ЭСНТО — Горное», Йыхви, 1958, № 4, с. 50—57.

67. Кэши В. Б., Доннел Д. Р. Горючий сланец и его залежи у озера Уинта (эоцен) в северо-западной части Колорадо и северо-восточной части Юта.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 74—76.

68. Кыльль А. Т., Степанов И. И. О составе газа промышленного полукоксования сланца-кукерсита. Изв. АН ЭССР. Т. III. Таллин, Эстгосиздат, 1954, № 3, с. 414—421.

69. Кыльль А. Т., Степанов И. И. Характеристика газа сланцевых шахтных генераторов.— В кн.: «Горючие сланцы. Химия и технология». Таллин, Эстгосиздат, 1956, вып. 2, с. 117—123.

70. Ласи И. И., Дилакторский Н. Л. Об использовании сланцевольных шлаков в качестве строительного вяжущего. Изв. АН ЭССР. Серия техн. и физ.-мат. наук. Т. XII, Таллин, 1963, № 1, с. 81—90.

71. Левыкин В. В. Горючие сланцы Прибалтики. Л., Гостоптехиздат, 1947. 98 с.

72. Маддисон О. А. Использование сланцевольных вяжущих в строительстве Эстонской ССР.— В кн.: «Сланцевольные материалы в строительстве». Таллин, Госиздат, 1955, с. 95—117.

73. Мак-Ки Х. Р. Сланцы. М.—Л., изд. ОНТИ, 1934.
74. Миль Х. Р. Потери сланцев при его добыче. М., Углетехиздат, 1959.
- 92 с.
75. Митрашинович М., Дьюканович А., Иеремич С.—«Гласник хем. друштва». Белград, т. 19, 1954; т. 21, 1956.
76. Митюрев А. К., Барщевский М. М. Влияние крупности сланца на эксплуатационные показатели и износ кладки каменных печей сланцеперерабатывающего комбината в г. Кохтла-Ярве.—В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостоптехиздат, 1955, вып. 3, с. 183—190.
77. Мяндрметс Х. Я. Свойства сланцевольных строительных вяжущих веществ.—В кн.: «Сланцевольные материалы в строительстве». Таллин, Госиздат, 1955, с. 47—57.
78. Никитина Н. А. Горючие сланцы Южно-Таджикской депрессии, В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 465—476.
79. Никонов А. Ф. Закладочные работы в Фушунском каменноугольном месторождении Китайской Народной Республики. М., Углетехиздат, 1956. 35 с.
80. Горючие сланцы Узбекской ССР.—В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968. Авт.: Н. Л. Николаев, Р. А. Волхонская, Е. В. Глушенкова, С. С. Семенов, И. М. Озеров, В. Ф. Полозов, с. 456—464.
81. Озеров И. М., Полозов В. Ф. Основы промышленной классификации горючих сланцев.—В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 167—171.
82. Падула В. Т. Горючий сланец пермской формации Ирати.—В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 60—68.
83. Панков Г., Джамбов Г., Ценков Ц.—«Годичник НИИ технол. исслед. поривата», 1959, № 5.
84. Петров А. П. Пути повышения производительности труда и улучшения работы шахт треста Эстонсланец.—«Технический бюллетень ЭСНТО—Горное». Иыхви, 1958, № 4, с. 4—6.
85. Петров А. П. Перспективы развития промышленности горючих сланцев в СССР.—В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 93—98.
86. Раммлер Р. Перегонка мелкозернистого сланца с применением процесса Лурги-Рургаз.—В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 418—430.
87. РAUDСЕПП Х. Т. О генезисе эстонского горючего сланца-кукерсита.—В кн.: «Генезис твердых горючих ископаемых». М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 69—76.
88. Рорбах Р. Производство цемента и использование горючих сланцев в качестве энергетического топлива.—В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 441—446.
89. Русчев Д. Получеване на течни горива от битуминозни шисти. «Природе», (Белг.), 5, 1956, № 6.
90. Санчес Р., Журадо Д. Р. Гидрогенизационная очистка сланцевых масел в Испании.—В кн.: «Доклады на IV Международном нефтяном конгрессе». Т. IV. М., «Недра», 1965, с. 469—480.
91. Сарест К. Р. Экономическая эффективность применения штанговой крепи в подготовительных выработках сланцевых шахт.—В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостоптехиздат, 1962, вып. 11, с. 102—109.

92. Семенов С. С. К вопросу о генетической классификации горючих ископаемых.— В кн.: «Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки». Л., Гостонтехиздат, 1955, вып. 4, с. 18—56.
93. Серебрянников Н. Д. Производство бытового газа из сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 327—335.
94. Серебрянников Н. Д. Влияние качества на переработку сланца. «Технический бюллетень ЭСНТО — Горное», Иыхви, 1958, № 4, с. 58—60.
95. Сиверцев А. П. Качество гдовского горючего сланца в пласте.— «Труды ВНИИТ». Л., Гостонтехиздат, 1959, вып. 8, с. 21—27.
96. Сонс Г. В., Руарк Д. Р. Газосжигательный процесс Горного Бюро США.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 294—302.
97. Стил Г. Б. Оценка экономической целесообразности производства синтетического жидкого топлива из колорадских горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 579—587.
98. Страхов Н. М. Доманиковая фация Южного Урала.— «Труды Института геологических наук». Серия геол. (6). М., Изд-во АН СССР, 1939, вып. 16.
99. Страхов Н. М. Проблема распределения накопления основных химических компонентов в осадках современных и древних водоемов.— Доклады. М., Изд-во АН СССР, 1952, вып. 1, с. 188—218.
100. Стюарт Д. История, технология и экономика использования горючих сланцев в Великобритании.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 248—260.
101. Султанов А. Д., Султанов Р. Г. Материалы по горючим сланцам Азербайджана. Изв. АН Азербайджанской ССР. Баку, 1947, вып. 1, № 2, с. 19—24.
102. Тагер С. А. Об использовании минеральной части топлива на электростанциях.— «Электрические станции», 1965, № 12, с. 10—15.
103. Сжигание прибалтийского сланца с жидким шлакоудалением и получением цемента из минеральной части топлива.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 447—454. Авт.: С. А. Тагер, Г. И. Мотин, А. А. Книга и др.
104. Талве Л. Г. Извлечение штанговой крепи в добычных камерах с целью ее повторного использования.— В кн.: «Материалы конференции». Таллин, БТИ СНХ ЭССР, 1963, с. 22—35.
105. Талве Л. Г. Камерно-столбовая система разработки на сланцевых шахтах Эстонского месторождения.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 128—129.
106. Терентьев В. К. Опытные данные по удалению шлака в жидком виде при сжигании сланца на полупромышленной установке. Изв. ВТИ, 1935, № 5.
107. Термическая переработка сланца-кукерсита. Под ред. проф., д-р. техн. наук М. Я. Губергрица. Таллин, «Валгус», 1966. 356 с.
108. Труу Х. К. О природе и свойствах сланца-кукерсита. Изв. АН ЭССР. Т. III. № 3. Таллин. Эстгосиздат, 1954, с. 389—390.
109. Тыжнов А. В. Геологический очерк Барзасского района Кузнецкого бассейна.— В кн.: «Материалы по геологии Западной Сибири», 1938, вып. 3, (45).
110. Тягунов Б. И. Энерготехнологическое использование прибалтийских сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 394—400. Авт.: Б. И. Тягунов, И. С. Галынкер, М. Я. Губергриц и др.

111. Уоткинс Д. У., Сонс Г. В. Подземная перегонка горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 338—347.

112. Фирер Г. М., Чернявский Г. В. Стратиграфия и нефтегазоносность мезозойских отложений северо-западной части Тимано-Печорской провинции (район г. Нарьян-Мара).— В кн.: «Материалы по геологии нефти и газа северо-восточной Европейской части СССР». М., Госгеолтехиздат, 1963, вып. 1, с. 151—162.

113. Флоренсов Н. А. Горючие сланцы Забайкалья. В сб. «Минеральные ресурсы Восточной Сибири». (Труды Восточно-Сибирского геологического управления). Т. I, 1937.

114. Фомина А. С., Побуль Л. Я., Дегтярева З. А. Природа керогена прибалтийского горючего сланца-кукерсита и его химические сырьевые качества. Изв. АН ЭССР. Таллин, 1965, 215 с.

115. Химический состав керогенов прибалтийских горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 184—194. Авт.: А. С. Фомина, Л. А. Наппа, Л. Я. Побуль.

116. Характеристика эксплуатационных проб сланца шахтных полей Кивиыли и Кюттейюд.— В кн.: «Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев». Л., Гостоптехиздат, 1957, вып. 1, с. 20—27. Авт.: А. С. Фомина, Х. Т. Раудсепп, Б. К. Торпан, Х. К. Норман.

117. Получение насыщенных дикарбонowych кислот и стимулятора роста растений окислением керогена кукерсита азотной кислотой и кислородом воздуха.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 217—219. Авт.: А. С. Фомина, Р. Э. Вески, З. А. Дегтярева и др.

118. Халлик О. Использование сланцевой золы для повышения урожая.— Бюлл. науч.-техн. информации «Горючие сланцы». Таллин, 1962, № 4, с. 40—46.

119. Хилали Е. А. Дискуссия по докладам секции II.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 227—228.

120. Хисин Я. И. Термическое разложение горючих сланцев. Л., Гостоптехиздат, 1948. 199 с.

121. Черняк Л. М. Сланцеперерабатывающая промышленность Швеции.— Бюлл. науч.-техн. информации «Горючие сланцы», Таллин, 1962, № 3, с. 48—56.

122. Чуханов З. Ф., Хитрин Л. Н. Энерготехнологическое использование топлива. М., Изд-во АН СССР, 1956. 128 с.

123. Чуханов З. Ф., Хитрин Л. Н., Голубцов В. А. Комплексное энерготехнологическое использование топлива.— Вест. АН СССР, 1956, № 1, с. 27—37.

124. Шахова Е. Г. Ленинградское (Гдовское месторождение), Веймарское, Чудово-Бабинское месторождения.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11, М., «Недра», 1968, с. 115—145.

125. Шелоумов В. В., Михелис К. А., Эпштейн С. Л. Обзор конструктивного развития сланцеперегонных туннельных печей.— В кн.: «Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев». Л., Гостоптехиздат, 1957, с. 65—90.

126. Шлаттер Л. Е. Месторождения горючих сланцев Западной Европы.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 42—49.

127. Шлаттер Л. Е. Определение, образование и классификация горючих сланцев.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев». Таллин, «Валгус», 1970, с. 161—166.

128. Шопов Г. Дискуссия по докладам секции II.— В кн.: «Доклады на Симпозиуме ООН по разработке и использованию запасов горючих сланцев.» Таллин, «Валгус», 1970, с. 226—227.
129. Эпштейн С. Л. Полукоксование горючих сланцев в Китайской Народной Республике.— Бюлл. науч.-техн. информации «Горючие сланцы». Таллин, 1961, № 1, с. 74—77.
130. Опыт технико-экономического сравнения промышленных агрегатов полукоксования сланца.— В кн.: «Вопросы техники и экономики промышленного полукоксования горючих сланцев». Л., Гостоптехиздат, 1959, вып. 2, с. 33—52. Авт.: С. Л. Эпштейн, В. В. Шеломов, Д. Т. Кузнецов, И. З. Каганович.
131. Эпштейн С. Л. Есть ли будущее у горючих сланцев?— Бюлл. науч.-техн. информации «Горючие сланцы», Таллин, 1963, № 4, с. 3—8.
132. Явтуха Г. В. Приуральская группа месторождений; Озинковская группа месторождений; Орловско-Пугачевская группа месторождений; Общесыртовский сланцевый район; Мантуровская группа месторождений; Сызранская группа месторождений.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР», Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 225—230, 248—301.
133. Кировская группа месторождений.— В кн.: «Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР». Т. 11. М., «Недра», 1968, с. 219—224. Авт.: Г. В. Явтуха, И. М. Озеров, Ю. Д. Мотин, Р. А. Волхонская.
134. Badak I., Gudzien I., Zeszyty Nauk Akad., Goriszko—Hutnischej Kra-  
kowie. Ged. N 5, 1963.
135. Bitterli P. Studien an bituminoesen Gesteinen aus Oesterreich und benachbarten Gebieten. Zeitschrift f. Bohrtechnik, 78, Wien, 1962, p. 405—416.
136. Cane R. F. Oil shale. Petroleum Refiner, v. 44, N 9, 1965.
137. Donnell I. R., Culbertson W. C. and Cashion W. B. Oil shale in the Green River Formation, in Proceedings of Seventh World Petroleum Congress, v. 2, 1967, p. 699—722.
138. Dunkan D. C., Swanson V. E. Organic-rich shale of the United States and World Land Areas. United States Geological Survey Circular 523 (Washington, D. C., 1965).
139. East I. H., Gardner E. D. Oil—shale Mining. Bur. Min. Bull. 6 11, 1964.
140. Forbes C. F., Somerville W. B. The retorting of South African torbanites. Ibid, p. 428—440.
141. Hartmann H., Schölzel K., Ebrahim G. A. Untersuchungen über den Kerogen—Gehalt des Posidonien—Schiefers in Schwabischen Jura. Erdöl u. Kohle. № 10, 1963.
142. Haug P., Schnoes H. K. and Burlingame A. L. Science, 1958, 772 (1967). 62 p.
143. Klosky S. Index of oil shale patents: 1946—1956. Part I. US Patents. Bur. Min. Bull. 574, 1958. 134 p. Part II, UK Patents. 1958. 79 p. Part III. European Patents and classification, 1959. 62 p.
144. Kraemer A. I., Thorn H. M. Oil shale Operations in New South Wales, Australia. BM Rept. Vnv., 1951.
145. Pailer M., Oesterreicher W., Simonitsch E. Untersuchungen über die Geruchsträger des Seefilder Schieferöles. Mn. Chem., b. 96, h. 4, 1965.
146. Robertson G. G. The refining of South African torbanite crude Oil. Ibid, p. 571—584.
147. Sander B. Bemerkungen zur Petrographie der Haeringer Bitumenmergel. Jahrb. Geol. Bundesanst., 72, Wien, 1922, p. 147—150.
148. Tertit S. Uzytkowa klasyfikacja zloz lupkow bitumicznych Prace Inst. Ministerstwa Hutnictwa., 8, 1956.
149. Utilization of oil shale progress and prospects, Department of Economic and Social Affairs. United Nations, New York, 1967.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
--------------------	---

### РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

#### ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Глава I. Горючие сланцы, условия их образования и залегания . . . . .	7
Глава II. Состав и классификация горючих сланцев . . . . .	14
Генетические виды горючих сланцев . . . . .	14
Технические свойства горючих сланцев . . . . .	16
Химический состав органического вещества горючих сланцев . . . . .	17
Химический состав минеральной части горючих сланцев . . . . .	24
Глава III. Запасы горючих сланцев . . . . .	28
Глава IV. Горно-геологическая и технико-экономическая характеристика месторождений горючих сланцев . . . . .	33
СССР . . . . .	34
Прибалтийский сланцевый бассейн . . . . .	34
Волжский сланцевый бассейн . . . . .	53
Сызранская группа месторождений . . . . .	55
Кировская группа месторождений . . . . .	57
Мантуровская группа месторождений . . . . .	58
Мордовская группа месторождений . . . . .	59
Ульяновская группа месторождений . . . . .	59
Свияжско-Сурская группа месторождений . . . . .	62
Общесыртовский сланцевый район . . . . .	63
Орловско-Пугачевская группа месторождений . . . . .	67
Озинковская группа месторождений . . . . .	69
Приуральская группа месторождений . . . . .	71

Оленекский сланцевый бассейн . . . . .	74
Тимано-Печорская область горючих сланцев . . . . .	77
Горючие сланцы Кузнецкого бассейна . . . . .	80
Горючие сланцы Иркутской области . . . . .	81
Горючие сланцы Забайкалья . . . . .	83
Горючие сланцы доманиковой фации . . . . .	86
Горючие сланцы Белорусской ССР . . . . .	89
Горючие сланцы Украинской ССР . . . . .	90
Горючие сланцы Грузинской ССР . . . . .	93
Горючие сланцы Армянской ССР . . . . .	95
Горючие сланцы Азербайджанской ССР . . . . .	97
Горючие сланцы Казахской ССР . . . . .	99
Горючие сланцы Узбекской ССР . . . . .	105
Горючие сланцы Таджикской ССР . . . . .	106
Западная Европа . . . . .	107
Австрия . . . . .	108
Федеративная Республика Германии . . . . .	113
Испания . . . . .	115
Франция . . . . .	115
Великобритания . . . . .	116
Болгария . . . . .	119
Польша . . . . .	120
Югославия . . . . .	120
Швеция . . . . .	121
Америка . . . . .	122
Соединенные Штаты Америки . . . . .	122
Месторождение Грин-Ривер . . . . .	122
Месторождения Монтерей и Сискуок . . . . .	127
Месторождение Фосфория . . . . .	127
Месторождения Аляски . . . . .	128
Месторождения центральной и восточной частей США . . . . .	128
Месторождения кеннельских горючих сланцев . . . . .	128
Бразилия . . . . .	130
Формация Ирати . . . . .	131
Месторождение Парайба . . . . .	134
Азия . . . . .	135
Китайская Народная Республика . . . . .	135
Месторождение Фушунь . . . . .	135
Маоминское и другие месторождения . . . . .	137
Турция . . . . .	138

Ливан . . . . .	138
Израиль . . . . .	139
Африка . . . . .	139
Марокко . . . . .	140
Сомали . . . . .	140
Мали . . . . .	140
Заир . . . . .	141

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

### РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Глава I. Общая характеристика способов и систем добычи горючих сланцев в зарубежных странах . . . . .	142
Глава II. Развитие и современное состояние сланцедобывающей промышленности в СССР . . . . .	148
Совершенствование способов подземной добычи горючих сланцев и их технико-экономическая оценка . . . . .	155
Организация и перспективы разработки месторождений горючих сланцев открытым способом . . . . .	169
Проблема обогащения горючих сланцев . . . . .	183
Сокращение потерь горючего сланца при его добыче . . . . .	193

## РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Глава I. Общая характеристика развития сланцеперерабатывающей промышленности . . . . .	198
Глава II. Основные методы термической переработки горючих сланцев в зарубежных странах . . . . .	205
Глава III. Системы и агрегаты термического разложения горючих сланцев в СССР и их сопоставительная технико-экономическая оценка . . . . .	212
Технико-экономическая оценка туннельных печей различных типов . . . . .	212
Технико-экономическая оценка шахтных генераторов различных типов . . . . .	220
Технико-экономическая оценка газификации горючих сланцев в камерных печах . . . . .	230
Сравнительная химико-технологическая и экономическая оценка промышленных агрегатов . . . . .	233
Технико-экономическая оценка новых агрегатов переработки горючих сланцев . . . . .	247
Технико-экономическое сопоставление новых высокопроизводительных шахтных генераторов и установок с твердым теплоносителем . . . . .	262
	365

## РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

### ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Глава I. Основные направления использования горючих сланцев в зарубежных странах и их технико-экономическая оценка . . . . .	271
Глава II. Основные проблемы перспективного использования горючих сланцев в СССР и их технико-экономическая оценка . . . . .	289
Энергетическое использование горючих сланцев . . . . .	291
Проблема комплексного производства электроэнергии и цемента на базе горючих сланцев . . . . .	301
Технологическое использование горючих сланцев . . . . .	304
Проблема энергохимического использования горючих сланцев . . . . .	335
Окислительная деструкция органического вещества горючих сланцев . . . . .	346
Заключение . . . . .	352
Список литературы . . . . .	355

Дмитрий Трофимович Кузнецов

**ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ МИРА**

Редактор издательства Л. И. Игнатьева

Переплет художника А. Я. Гладышева

Технический редактор В. В. Соколова

Корректор Л. И. Окронгло

---

Сдано в набор 28/VIII 1974 г. Подписано в печать  
17/IV 1975 г. Т-06699. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага № 3.  
Печ. л. 23,0. Уч.-изд. л. 24,59. Тираж 1300 экз.  
Заказ 554/5368-13. Цена 1 р. 39 к.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва К-12,  
Третьяковский проезд, 1/19  
Ленинградская типография № 8  
«Союзполиграфпрома» при Государственном  
комитете Совета Министров СССР по делам  
издательств, полиграфии и книжной торговли.  
190000. Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

## *Уважаемый товарищ!*

**В издательстве «Недра»  
готовятся к печати новые книги**

**МАКСАКОВСКИЙ В. П.** Топливная промышленность социалистических стран Европы. 12 л. 65 к.

В работе дан научный анализ развития топливной промышленности социалистических стран Европы. Освещены сущность и пути решения топливно-энергетической проблемы стран-членов СЭВ. Приведена характеристика развития ведущих топливных отраслей: угольной, нефтяной и газовой, причем наряду с показом общих тенденций указаны особенности и специфика отдельных стран. Рассказано о международном социалистическом разделении труда и процессе межгосударственной экономической интеграции в топливной промышленности стран-членов СЭВ.

Книга написана на основе использования обширного круга источников и является результатом многолетних исследований автора в области топливного хозяйства Польши, ГДР, Чехословакии, Венгрии, Румынии, Болгарии и Югославии. В ней затронуты также вопросы развития топливной промышленности Советского Союза.

Книга рассчитана на экономистов, инженерно-технических работников хозяйственных и плановых органов, научных работников, преподавателей и студентов вузов.

**РАЙХЕЛЬ Б. Л., ПЕТРЕНКО Е. В.** Техничко-экономические обоснования проектов горных предприятий. 12 л. 65 к.

В книге обобщен опыт составления технико-экономических обоснований проектов для производства горных и капитальных работ на действующих, реконструируемых и строящихся шахтах. Рассмотрены процесс составления проектов и методы принятия решений по развитию, реконструкции и строительству шахт, а также методы технико-экономических обоснований проектов и критерии экономической оценки в расчетах при проектировании. Дано развернутое изложение технико-экономических обоснований проектов.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников горной промышленности.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «книга — почтой» магазинов:*

№ 17 — 199178. Ленинград, В. О., Средний проспект, 61

№ 59 — 127412. Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»**